

Das Fitts'sche Gesetz in der Partnerinteraktion

– Emergente Koordinationsmuster und systematische Interaktionseffekte beim Lösen kooperativer Aufgaben –

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde (Dr. phil.)
der Fakultät für Naturwissenschaften der
Universität Paderborn

vorgelegt von

Timo Klein-Soetebier
geb. am 20.11.1984 in Bielefeld

WS 2013/2014

Die vorliegende Arbeit entstand in der Zeit von Juni 2010 bis Januar 2014 in der Arbeitsgruppe unter der Leitung von Prof. Dr. Matthias Weigelt. Bis zum Oktober 2011 im Arbeitsbereich Sportpsychologie und Bewegungswissenschaft am Sportwissenschaftlichen Institut an der Universität des Saarlandes und von Oktober 2011 bis Januar 2014 im Arbeitsbereich Sportpsychologie im Department Sport und Gesundheit an der Universität Paderborn.

1. Gutachter: Prof. Dr. Matthias Weigelt, Universität Paderborn

2. Gutachter: Prof. Dr. Günther Knoblich, Eötvös Loránd University Budapest

Datum des Promotionsbeschlusses: 08.01.2014

Inhaltsverzeichnis

Verzeichnisse.....	VI
Zusammenfassung.....	X
1 Einleitung.....	1
2 Handlungen aus Sicht der Informationsverarbeitung.....	5
2.1 Informationsverarbeitungstheorien	5
2.2 Das Fitts'sche Gesetz	9
2.3 Erklärungsansätze zum Fitts'schen Gesetz.....	15
2.4 Erweiterung der Gültigkeit des Fitts'schen Gesetzes.....	18
3 Handlungen im Kontext von Partnerinteraktionen.....	26
3.1 Wahrnehmungs-Handlungskopplung	26
3.1.1 Effekte perzeptueller Resonanz.....	29
3.1.2 Effekte motorischer Resonanz.....	31
3.2 Handlungssimulation	34
3.3 Nicht-intendierte Koordination	38
3.3.1 Phasenkopplungen	38
3.3.2 Gemeinsamer Aufforderungscharakter.....	42
3.4 Intendierte Koordination	44
3.4.1 Gemeinsame Repräsentationen und Aufgabenteilungen.....	46
3.4.2 Gemeinsame Wahrnehmungsprozesse	52
3.4.3 Kompetitive versus kooperative Aufgabenbearbeitung	53
4 Das Fitts'sche Gesetz im Interaktionskontext	56
4.1 Interaktionsmuster unter intra-personellen Bedingungen.....	56
4.2 Interaktionsmuster unter inter-personellen Bedingungen.....	57
4.3 Motivation der eigenen Studien	61
5 Hypothesen.....	63
5.1 Experimentalreihe 1 - „Scheibentransferaufgabe“	63
5.2 Experimentalreihe 2 - „Wurfaufgabe“	64
5.3 Experimentalreihe 3 - „Basketballpassaufgabe“	65
5.4 Gesamtbetrachtung - Experimentalreihen 1 bis 3.....	66

6	Experimentalreihe 1 – „Scheibentransferaufgabe“	67
6.1	Experiment 1	67
6.1.1	Methode	68
6.1.2	Ergebnisse	76
6.1.3	Diskussion	79
6.2	Experiment 2	81
6.2.1	Methode	81
6.2.2	Ergebnisse	82
6.2.3	Diskussion	88
6.3	Experiment 3	90
6.3.1	Methode	92
6.3.2	Ergebnisse	93
6.3.3	Diskussion	97
6.4	Diskussion – Experimentalreihe 1	98
7	Experimentalreihe 2 – „Wurfaufgabe“	101
7.1	Experiment 4	101
7.1.1	Methode	102
7.1.2	Ergebnisse	105
7.1.3	Diskussion	110
7.2	Experiment 5	112
7.2.1	Methode	112
7.2.2	Ergebnisse	113
7.2.3	Diskussion	122
7.3	Experiment 6	124
7.3.1	Methode	124
7.3.2	Ergebnisse	126
7.3.3	Diskussion	131
7.4	Diskussion – Experimentalreihe 2	133
8	Experimentalreihe 3 – „Basketballpassaufgabe“	136
8.1	Experiment 7	137
8.1.1	Methode	137
8.1.2	Ergebnisse	139
8.1.3	Diskussion	144

8.2 Experiment 8.....	146
8.2.1 Methode	146
8.2.2 Ergebnisse	148
8.2.3 Diskussion.....	153
8.3 Experiment 9.....	154
8.3.1 Methode	154
8.3.2 Ergebnisse	156
8.3.3 Diskussion.....	160
8.4 Diskussion – Experimentalreihe 3	162
9 Gesamtbetrachtung der Experimentalreihen 1-3	163
9.1.1 Methode	163
9.1.2 Ergebnisse	163
9.1.3 Diskussion.....	164
10 Diskussion	166
10.1 Gemeinsamkeiten und Unterschiede zu früheren Studien	170
10.2 Kritik an der vorliegenden Arbeit.....	173
10.3 Ausblick auf weiterführende Studien.....	174
10.4 Implikationen für die Sportpraxis	176
10.5 Fazit.....	179
11 Literatur.....	180
12 Anhang.....	191
13 Eidesstattliche Erklärung	226
14 Danksagung.....	227

Verzeichnisse

Abkürzungsverzeichnis (alphabetisch)

A = Amplitude / Distanz / Entfernung

ANOVA r. m. = mehrfaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung

aV = abhängige Variable

BF = Bewegungsfehler

BZ = Bewegungszeit

df = Freiheitsgrade (degrees of freedom)

d.h. = das heißt

EB = Einzelbedingung

Exp. = Experiment

FG = Fitts'sche Gesetz

fps = Bilder pro Sekunde (frames per second)

HD = Hochauflösend (High Definition)

i.S.v. = im Sinne von

KR = Ergebnisrückmeldung (Knowledge of results)

M = Mittelwert

ms = Millisekunden

N = Anzahl

p = Irrtumswahrscheinlichkeit / Signifikanzniveau

P1 = Partner 1 / Personengruppe, die mit der Einzelbedingung begann

P2 = Partner 2 / Personengruppe, die mit der Paarbedingung begann

PB = Paarbedingung

SD = Standardabweichung (Standard Deviation)

Sek. = Sekunde

s.g. = so genannte

SI = Schwierigkeitsindex (in Einheiten/Sekunde)

uV = unabhängige Variable

v.a. = vor allem

Vpn = Versuchspersonen

VP = Versuchspaare

vs. = versus

W = Zielgröße oder Fehlertoleranz

z.B. = zum Beispiel

Abbildungsverzeichnis

<i>Abbildung 1:</i> Übersicht der neun Experimente dieser Arbeit mit verschiedenen Leseleitfäden.....	4
<i>Abbildung 2:</i> Das Informationsprozessmodell aus Schmidt & Lee (2005)	8
<i>Abbildung 3:</i> Schematische Darstellung der Fitts'schen Tipp-Aufgabe (Fitts, 1954, Experiment 1).....	11
<i>Abbildung 4:</i> Schematische Darstellung der Fitts'schen Scheibentransfer-Aufgabe (Fitts, 1954, Experiment 2) ..	12
<i>Abbildung 5:</i> Schematische Darstellung der Fitts'schen Pintransfer-Aufgabe (Fitts, 1954, Experiment 3).....	13
<i>Abbildung 6:</i> Exemplarische Darstellung der Daten der Fitts'schen Tipp-Aufgabe (Fitts, 1954).....	14
<i>Abbildung 7:</i> Modell der vektorbasierten Integration des Endpunktes einer Bewegung (VITE).....	21
<i>Abbildung 8:</i> Stimuli aus Grosjean et al. (2007): menschlichen Akteur vs. humanoider Roboter	24
<i>Abbildung 9:</i> Vereinfachte Darstellung der Kopplung von Wahrnehmung und Handlung aus Prinz (1997).....	27
<i>Abbildung 10:</i> Das 2-Stufenmodell der emergenten Handlungskontrolle von Elsner und Hommel (2001).....	28
<i>Abbildung 11:</i> Motorische vs. perzeptuelle Resonanz aus Schütz-Bosbach & Prinz (2007)	29
<i>Abbildung 12:</i> Experimentalaufbau aus Oullier und Kollegen (2008).....	40
<i>Abbildung 13:</i> "Minimales Architektur-Model" des gemeinsamen Handelns aus Vesper et al. (2010).....	44
<i>Abbildung 14:</i> Versuchsaufbau und ERP-Daten aus Sebanz et al. (2006b).....	47
<i>Abbildung 15:</i> Versuchsaufbau der Simon-Task aus Sebanz et al. (2003).....	49
<i>Abbildung 16:</i> Reaktionszeiten der Simon-Task aus Sebanz et al. (2003).....	50
<i>Abbildung 17:</i> Schematische Darstellung des Versuchsaufbaus aus Vesper et al. (2013a).....	60
<i>Abbildung 18:</i> Versuchsaufbau Experimentalreihe 1 („Scheibentransferaufgabe“)	69
<i>Abbildung 19:</i> Exemplarische Darstellung eines Bewegungsvollzyklusses ($BZ_{Vollzyklus}$).....	71
<i>Abbildung 20:</i> Exemplarische Darstellung eines kompletten Versuchsdurchgangs (BZ_{Gesamt})	72
<i>Abbildung 21:</i> BZ für den Transfer einer einzelnen Scheibe in Abhängigkeit vom SI in Experiment 1	77
<i>Abbildung 22:</i> BZ in Abhängigkeit von der Distanz und dem Lochdurchmesser in Experiment 1	79
<i>Abbildung 23:</i> BZ für den Transfer einer einzelnen Scheibe in Abhängigkeit vom SI in der EB in Experiment 2 ..	84
<i>Abbildung 24:</i> BZ für den Transfer einer einzelnen Scheibe in Abhängigkeit vom SI in der PB in Experiment 2 ..	85
<i>Abbildung 25:</i> BZ für den Transfer einer einzelnen Scheibe in Abhängigkeit vom SI in der EB und PB.....	86
<i>Abbildung 26:</i> BZ in Abhängigkeit von der Distanz und dem Lochdurchmesser in der EB in Experiment 2.....	87
<i>Abbildung 27:</i> BZ in Abhängigkeit von der Distanz und dem Lochdurchmesser in der PB in Experiment 2.....	88
<i>Abbildung 28:</i> Vorhersagemodelle zum Verlauf der BZ in Experiment 3.	91
<i>Abbildung 29:</i> BZ für den Transfer einer einzelnen Scheibe in Abhängigkeit vom SI in Experiment 3	95
<i>Abbildung 30:</i> BZ für den Transfer einer einzelnen Scheibe in Abhängigkeit vom SI_{Max} in Experiment 3.....	96
<i>Abbildung 31:</i> Versuchsaufbau Experimentalreihe 2 („Wurfaufgabe“).....	103
<i>Abbildung 32:</i> BZ für das Werfen eines Balles in Abhängigkeit vom SI in Experiment 4.....	106
<i>Abbildung 33:</i> BF für das Werfen eines Balles in Abhängigkeit vom SI in Experiment 4.....	108
<i>Abbildung 34:</i> BZ in Abhängigkeit von der Distanz und der Kistengröße in Experiment 4.....	109
<i>Abbildung 35:</i> BF in Abhängigkeit von der Distanz und der Kistengröße in Experiment 4.....	110
<i>Abbildung 36:</i> BZ für das Werfen eines Balles in Abhängigkeit vom SI in der EB in Experiment 5	114
<i>Abbildung 37:</i> BZ für das Werfen eines Balles in Abhängigkeit vom SI in der PB in Experiment 5	116
<i>Abbildung 38:</i> BZ für das Werfen eines Balles in Abhängigkeit vom SI in der EB und PB	117

<i>Abbildung 39:</i> BF für das Werfen eines Balles in Abhängigkeit vom SI in der EB und PB	118
<i>Abbildung 40:</i> BZ in der EB in Experiment 5 in Abhängigkeit von der Distanz und der Kistengröße.....	119
<i>Abbildung 41:</i> BZ in der PB in Experiment 5 in Abhängigkeit von der Distanz und der Kistengröße.....	120
<i>Abbildung 42:</i> BF in der EB in Experiment 5 in Abhängigkeit von der Distanz und der Kistengröße.....	121
<i>Abbildung 43:</i> BF in der PB in Experiment 5 in Abhängigkeit von der Distanz und der Kistengröße.....	122
<i>Abbildung 44:</i> BZ für das Werfen eines Balles in Abhängigkeit vom SI in Experiment 6.....	127
<i>Abbildung 45:</i> BZ für das Werfen eines Balles in Abhängigkeit vom SI_{Max} in Experiment 6	128
<i>Abbildung 46:</i> BF für das Werfen eines Balles in Abhängigkeit vom SI in Experiment 6.....	129
<i>Abbildung 47:</i> BZ für einen Wurf in Experiment 6 in Abhängigkeit von der Distanz und der Kistengröße.	130
<i>Abbildung 48:</i> BF bei einem Wurf in Experiment 6 in Abhängigkeit von der Distanz und der Kistengröße.....	131
<i>Abbildung 49:</i> Exemplarische Darstellung einer Spielsituation im Basketball.....	136
<i>Abbildung 50:</i> Versuchsaufbau in Experiment 7 (Basketballpass „Breite“).....	138
<i>Abbildung 51:</i> BZ für einen Basketballpass zum Partner in Abhängigkeit vom SI in Experiment 7	141
<i>Abbildung 52:</i> BF bei einem Basketballpass zum Partner in Abhängigkeit vom SI in Experiment 7.....	142
<i>Abbildung 53:</i> BZ für einen Pass in Experiment 7 in Abhängigkeit von der Distanz und der Korridorbreite	143
<i>Abbildung 54:</i> BF bei einem Pass in Experiment 7 in Abhängigkeit von der Distanz und der Korridorbreite.....	144
<i>Abbildung 55:</i> Versuchsaufbau in Experiment 8 (Basketballpass „Höhe“).....	147
<i>Abbildung 56:</i> BZ für einen Basketballpass zum Partner in Abhängigkeit vom SI in Experiment 8	149
<i>Abbildung 57:</i> BF bei einem Basketballpass zum Partner in Abhängigkeit vom SI in Experiment 8.....	150
<i>Abbildung 58:</i> BZ für einen Pass in Experiment 8 in Abhängigkeit von der Distanz und der Korridorhöhe	151
<i>Abbildung 59:</i> BF bei einem Pass in Experiment 8 in Abhängigkeit von der Distanz und der Korridorhöhe.....	152
<i>Abbildung 60:</i> Versuchsaufbau von Experiment 9 (Basketballpass „Tiefe“)	155
<i>Abbildung 61:</i> BZ für einen Basketballpass zum Partner in Abhängigkeit vom SI in Experiment 9	157
<i>Abbildung 62:</i> BF bei einem Basketballpass zum Partner in Abhängigkeit vom SI in Experiment 9.....	158
<i>Abbildung 63:</i> BZ für einen Pass in Experiment 9 in Abhängigkeit von der Distanz und der Korjordtiefe.....	159
<i>Abbildung 64:</i> BF bei einem Pass in Experiment 9 in Abhängigkeit von der Distanz und der Korjordtiefe	160
<i>Abbildung 65:</i> BZ für einen Bewegungszyklus in Abhängigkeit vom SI in den Experimenten 1, 4 und 9	164

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: <i>Ergebnisse aus Knoblich und Jordan (2003) als durchschnittliche Abweichung vom Ziel.</i>	34
Tabelle 2: <i>Ergebnisse aus Sebanz und Kollegen (2006b) nach Bedingung, Reaktionszeiten und ERP's.</i>	48
Tabelle 3: <i>Zusammenfassung der anthropometrischen Daten der Versuchspersonen aus Experiment 1.</i>	68
Tabelle 4: <i>Durchschnittliche Bewegungszeit aus Experiment 1 sortiert nach Schwierigkeit.</i>	76
Tabelle 5: <i>Zusammenfassung der anthropometrischen Daten der Versuchspersonen aus Experiment 2.</i>	81
Tabelle 6: <i>Durchschnittliche Bewegungszeit in der EB aus Experiment 2 sortiert nach Schwierigkeit</i>	83
Tabelle 7: <i>Durchschnittliche Bewegungszeit in der PB aus Experiment 2 sortiert nach Schwierigkeit</i>	84
Tabelle 8: <i>Zusammenfassung der anthropometrischen Daten der Versuchspersonen aus Experiment 3.</i>	92
Tabelle 9: <i>Versuchsbedingungen als Kombination von Distanz und Lochdurchmesser in Experiment 3.</i>	93
Tabelle 10: <i>Durchschnittliche Bewegungszeit aus Experiment 3 sortiert nach Schwierigkeit</i>	94
Tabelle 11: <i>Zusammenfassung der anthropometrischen Daten der Versuchspersonen aus Experiment 4.</i>	102
Tabelle 12: <i>Versuchsbedingungen der Experimentalreihe 2 „Wurfaufgabe“ sortiert nach Schwierigkeit</i>	104
Tabelle 13: <i>Durchschnittliche Bewegungszeiten aus Experiment 4 sortiert nach Schwierigkeit.</i>	105
Tabelle 14: <i>Zusammenfassung der anthropometrischen Daten der Versuchspersonen aus Experiment 5.</i>	112
Tabelle 15: <i>Durchschnittliche Bewegungszeiten in der EB aus Experiment 5 sortiert nach Schwierigkeit</i>	114
Tabelle 16: <i>Durchschnittliche Bewegungszeiten in der PB aus Experiment 5 sortiert nach Schwierigkeit</i>	115
Tabelle 17: <i>Durchschnittliche Anzahl der Bewegungsfehler in den EB und PB in Experiment 5.</i>	117
Tabelle 18: <i>Zusammenfassung der anthropometrischen Daten der Versuchspersonen aus Experiment 6.</i>	124
Tabelle 19: <i>Versuchsbedingungen als Kombination aus Distanz und Kistengröße in Experiment 5.</i>	125
Tabelle 20: <i>Durchschnittliche Bewegungszeiten aus Experiment 6 sortiert nach Schwierigkeit</i>	126
Tabelle 21: <i>Zusammenfassung der anthropometrischen Daten der Versuchspersonen aus Experiment 7.</i>	137
Tabelle 22: <i>Durchschnittliche Bewegungszeiten aus Experiment 7 sortiert nach Schwierigkeit</i>	140
Tabelle 23: <i>Zusammenfassung der anthropometrischen Daten der Versuchspersonen aus Experiment 8.</i>	146
Tabelle 24: <i>Durchschnittliche Bewegungszeiten aus Experiment 8 sortiert nach Schwierigkeit</i>	148
Tabelle 25: <i>Zusammenfassung der anthropometrischen Daten der Versuchspersonen aus Experiment 9.</i>	154
Tabelle 26: <i>Durchschnittliche Bewegungszeiten aus Experiment 9 sortiert nach Schwierigkeit</i>	156

Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit untersucht die Hypothese, dass sich die *Koordinationsmuster* zweier Partner beim Lösen kooperativer Aufgaben über das Fitts'sche Gesetz (Fitts, 1954) abbilden lassen. Dazu wurde in drei Experimentalreihen die Komplexität der Aufgaben sukzessive erhöht. Versuchspaare führten gemeinsam eine *einfache Objektmanipulation* (Scheibentransferaufgabe; Experimente 1-3), eine *Objektmanipulation mittlerer Komplexität* (Wurfaufgabe; Experimente 4-6) und eine *komplexe sportspielspezifische Fertigkeit* (Basketballpassaufgabe; Experimente 7-9) aus. Die experimentellen Randbedingungen der Aufgaben wurden so manipuliert, dass deren Anforderungen über eine Spanne unterschiedlicher Schwierigkeitsindizes variierten. Die Ergebnisse zeigen hypothesenkonform, dass die *Koordinationsmuster* der Partner sowohl beim wechselseitigen Transfer von Scheiben, beim wechselseitigen Werfen von Bällen als auch bei der isolierten Betrachtung der drei Raumdimensionen „Breite“, „Höhe“ und „Tiefe“ beim Passen eines Basketballs durch die experimentellen Randbedingungen bestimmt werden und sich quantitativ über das Fitts'sche Gesetz abbilden lassen: Mit steigenden Aufgabenanforderungen gingen längere Bewegungszeiten und zunehmend mehr Bewegungsfehler einher. Weiterhin fanden sich *emergente Interaktionsmuster* zwischen den Partnern, die sich in längeren Bewegungszeiten (d.h. Interaktionskosten) in Paarbedingungen im Vergleich zu Einzelbedingungen äußerten. Bei der Ausführung zweier Handlungen von unterschiedlicher Schwierigkeit ließen sich insofern *gerichtete Interaktionseffekte* nachweisen, als dass sich der Partner mit der leichteren Aufgabe an die Anforderungen des Partners mit der schwereren Aufgabe anpasste. Dies stärkt die Annahme, dass Interaktionspartner Ko-Repräsentationen bilden und die jeweilige Aufgabenanforderung des Partners mitrepräsentieren. Dadurch können Partner ihre Handlungen in sozialen Kontexten aufeinander abstimmen. Aus dieser Perspektive werden auch die technischen und taktischen Implikationen für die Sportpraxis diskutiert.

1 Einleitung

„Warum spielt er denn nicht?“ In Sportsportarten lässt sich häufig das Phänomen beobachten, dass Spieler und Spielerinnen¹ den (für Trainer und Publikum offensichtlichen) riskanten Pass zu einem Mitspieler nicht spielen und stattdessen eine sicherere Anspielvariante wählen oder den riskanten Pass nur sehr ungenau spielen, der dann den Mitspieler nicht erreicht. Dabei kann man den Akteuren teilweise ansehen, dass sie zögern und für kurze Zeit hin und her gerissen sind, ob sie den riskanten Pass spielen sollen oder nicht. Hingegen nimmt sich ein Golf-, Darts- oder Billardspieler relativ viel Zeit für die Erfüllung der (Bewegungs-)Aufgabe, ohne sich aus der Ruhe bringen zu lassen. Wenn eine bestimmte Aufgabe ein Höchstmaß an Präzision erfordert (z.B. einen Golfball zu Putten, den Dartpfeil ins Bull's eye zu werfen oder eine Billardkugel zu versenken), scheinen die Sportler mehr Zeit für die Planung und Ausführung der Bewegungshandlung zu benötigen. Müssen bestimmte Entscheidungen – wie in den Sportsportarten – jedoch unter Zeitdruck getroffen und damit die Planung und Ausführung der Bewegungshandlung schnell abgeschlossen werden, dann leidet oftmals die Präzision und die Spieler begehen tendenziell mehr Fehler. Die Ursachen dafür liegen u.a. in der limitierten Kapazität, multisensorische (Umwelt-)Informationen zu verarbeiten und komplexe Handlungsmuster entsprechend anzupassen.

Nicht nur in sportlichen Kontexten, sondern auch im Alltag, sind die Fähigkeiten des Menschen, die vielen Ereignisse in der Umwelt innerhalb eines kurzen Zeitfensters verarbeiten zu können und die eigenen Handlungen daran anzupassen, limitiert. Oftmals ist es deshalb nicht möglich gleichzeitig sehr schnell, aber auch genau zu agieren. Es ist z.B. schwierig einen vollen Kaffeebecher ruhig zu halten, während man auf einen freien Platz in der ansonsten überfüllten Mensa zusteuert. Bewegen wir uns in dieser Situation zu schnell, dann laufen wir Gefahr den Kaffee zu verschütten. Lassen wir uns zu viel Zeit, dann ist der Platz vielleicht nicht mehr frei. Wir müssen uns also zwischen der Geschwindigkeit, mit der wir diese Handlung ausführen, und der Genauigkeit, mit der wir die Aufgabe bewältigen wollen, entscheiden.

Dieser so genannte Geschwindigkeits-Genauigkeits-Abgleich wurde erstmal von Paul Fitts (Fitts, 1954) beschrieben. Das nach ihm benannte *Fitts'sche Gesetz* formuliert die Abhängigkeit zwischen den Leistungsparametern der Bewegungsgeschwindigkeit und -genauigkeit bei der Ausführung einfacher motorischer Handlungen. Danach geht eine Erhöhung der Geschwindigkeit auf Kosten der Genauigkeit (d.h. die Präzision sinkt, während der Bewegungsfehler steigt). Im Gegensatz dazu kann eine hohe (Ziel-)Präzision in der Regel nur erreicht werden, indem die Bewegung langsamer ausgeführt wird (d.h. die Geschwindig-

¹ Im Folgenden wird aus Gründen der besseren Lesbarkeit auf die gleichzeitige Verwendung männlicher und weiblicher Sprachformen verzichtet. Sämtliche Personenbezeichnungen gelten gleichwohl beiden Geschlechtern.

keit nimmt ab). Nach Fitts (1954) lässt sich die Schwierigkeit einer Aufgabe vor allem über die Faktoren *Distanz* (A) und *Zielgröße* (W) direkt berechnen, was sich in einem spezifischen Schwierigkeitsindex der Aufgabe widerspiegelt. In den letzten Dekaden wurde dieses Gesetz unter verschiedenen Rahmenbedingungen für unterschiedlichste Personengruppen geprüft. Es stellte sich heraus, dass der Geschwindigkeits-Genauigkeits-Abgleich eines der wenigen robusten Gesetzmäßigkeiten darstellt, mit dessen Hilfe (zielgerichtete) menschliche Verhaltensmuster quantitativ erfasst und nachvollziehbar beschrieben werden können (Kapitel 2).

In den meisten sportlichen Situationen stehen die Spieler jedoch in direkter Interaktion mit anderen Individuen (z.B. in den Individualsportarten bei einer Gruppenkür im Turnen, beim Synchronspringen im Schwimmen oder beim Doppel im Tennis, aber auch im Mannschaftssport bei einem Pass zum Mitspieler im Basketball, Fußball oder Handball). Aktuelle Studien der s.g. *Joint-Action-Forschung* (Knoblich et al., 2011) legen nahe, dass sich einzelne Personen gegenseitig an ihre Verhaltensweisen anpassen, wenn sie in Paaren oder Gruppen agieren. Dies setzt die Fähigkeiten der Interaktionspartner voraus, (1) *Handlungsrepräsentationen zu teilen* (d.h. Ko-Repräsentationen zu bilden), (2) *die Handlungen anderer vorherzusagen* (d.h. fremde Handlungen zu antizipieren) und (3) *die vorhergesagten Effekte (der fremden und der eigenen Handlung) in das eigene Handlungsschema aufzunehmen* (d.h. zu integrieren), um erfolgreich zusammenzuarbeiten (Sebanz et al., 2006a). In diesem Zusammenhang werden ideomotorische Ansätze, die eine gemeinsame Repräsentation von Wahrnehmungs- und Handlungsleistungen vorsehen (Prinz, 1990, 1997; Hommel et al., 2001) und so die Simulation fremder Handlungen erlauben (Jeannerod, 2001; Wilson & Knoblich, 2005), vorgestellt, die über den rein sensomotorischen Ansatz von Fitts (1954) hinausgehen. Somit lassen sich sowohl spontan auftretende (nicht-intendierte) als auch geplante (intendierte) Abstimmungsprozesse zweier Partner im Interaktionskontext erklären (Kapitel 3).

Nur wenige Studien (Mottet et al., 2001; Vesper et al., 2013) beschäftigten sich bisher mit der Gültigkeit des Fitts'schen Gesetzes innerhalb von Partnerinteraktionsaufgaben. Hier stellt sich die Frage, ob sich das Fitts'sche Gesetz auf Situationen übertragen lässt, in denen zwei Aufgaben gleichzeitig bearbeitet werden. Zunächst ergab sich aus Studien zur bimanuellen Koordination, dass das Fitts'sche Gesetz verletzt wird, wenn unter intrapersonellen Bedingungen die linke und rechte Hand zwei Aufgaben von unterschiedlicher Schwierigkeit gleichzeitig bearbeiten (Kelso et al., 1979, 1983). Für Aufgaben von gleicher Schwierigkeit scheint das Gesetz allerdings zuzutreffen. Zu einem ähnlichen Ergebnis kam eine aktuelle Untersuchung zur Koordination zweier Aufgaben unter interpersonellen Bedingungen, in denen zwei Personen gleichzeitig Fitts'sche Aufgaben durchführten (Fine & Amazeen, 2011). Es ist demnach bisher unklar, ob und unter welchen Bedingungen das

Fitts'sche Gesetz die Koordinationsmuster zweier Partner abbilden kann. Dies bildet den Ausgangspunkt und die Motivation der vorliegenden Arbeit (Kapitel 4).

Es wird zuerst der Frage nachgegangen, ob sich emergente Koordinationsmuster quantitativ über das Fitts'sche Gesetz abbilden lassen (Forschungsfrage 1). Danach soll die Frage nach gerichteten Interaktionen bzw. systematischen Interaktionsmustern zwischen den Partnern (im Sinne von *joint action*) beim Lösen der jeweiligen kooperativen Aufgabe beantwortet werden (Forschungsfrage 2). Die abschließende Betrachtung widmet sich der Frage, ob sich vergleichbare Koordinations- und Interaktionsmuster für Aufgaben unterschiedlicher Komplexität finden (Forschungsfrage 3). Diese Forschungsfragen werden in Kapitel 5 in empirische Hypothesen überführt.

Innerhalb von insgesamt drei Experimentalreihen sollten die Versuchspaare gemeinsam *einfache Objektmanipulationen* (eine Scheibentransferaufgabe in Experimentalreihe 1, Experimente 1-3, Kapitel 6), *Objektmanipulationen mittlerer Komplexität* (eine Wurf Aufgabe in Experimentalreihe 2, Experimente 4-6, Kapitel 7) und eine *komplexe sportspielspezifische Fertigkeit* (eine Basketballpassaufgabe in Experimentalreihe 3, Experimente 7-9, Kapitel 8) durchführen. Mit Hilfe des Fitts'schen Gesetzes werden in den einzelnen Untersuchungen unterschiedliche experimentelle Randbedingungen über den s.g. Schwierigkeitsindex (als Kombination verschiedener Distanzen und Zielgrößen) operationalisiert. Dies soll es u.a. ermöglichen, den spezifischen Einfluss der jeweiligen Aufgabenschwierigkeit auf die Koordinationsmuster aus einer informationstheoretischen Perspektive für unterschiedliche experimentelle Bedingungen über alle Aufgaben hinweg zu vergleichen.

In Kapitel 9 wird auf die Frage eingegangen, ob sich vergleichbare Koordinations- und Interaktionsmuster für Aufgaben unterschiedlicher Komplexität (Experimentalreihen 1-3) finden. Dazu werden die Experimente 1, 4 und 9 rein deskriptiv miteinander verglichen. Eine generelle Diskussion der Ergebnisse, deren Einordnung in die aktuelle Forschungslage, Kritik der eigenen Arbeit, ein Ausblick auf weiterführende Studien und Implikationen für die Sportpraxis sowie ein Fazit schließen die vorliegende Arbeit ab (Kapitel 10).

Den Lesern dieser Arbeit bieten sich verschiedene Leseleitfäden, so z.B. die Möglichkeit, die drei Forschungsfragen für die einzelnen Aufgaben nacheinander über die neun Experimente hinweg zu betrachten (*Abbildung 1*, Pfeile). Dieser Logik folgt auch der generelle Aufbau der Arbeit.

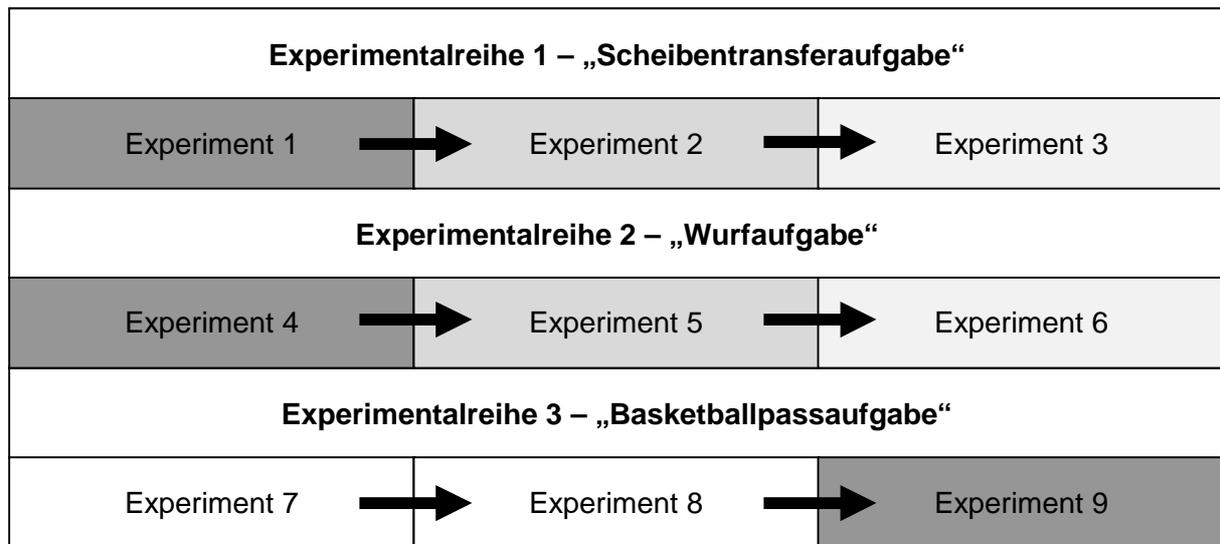


Abbildung 1: Übersicht der neun Experimente mit verschiedenen Leseleitfäden. Die Pfeile entsprechen dem Aufbau dieser Arbeit und richten sich nach der *Komplexität* der zu bearbeitenden kooperativen Aufgabe. Die Betrachtung der Experimente 1, 4 und 9 (dunkelgrau) ermöglicht den Vergleich gleicher *experimenteller Designs*. Experiment 2 und 5 (grau) unterscheiden zwischen Einzel- und Paarbedingung wohingegen die Paare in Experiment 3 und 6 (hellgrau) mit unterschiedlichen Aufgabenanforderungen innerhalb des Paares konfrontiert werden.

Alternativ lassen sich die Experimente auch nach ihren *experimentellen Designs* sortieren. In den Experimenten 1, 4 und 9 kann speziell der Forschungsfrage 1 nachgegangen werden, ob sich emergente Koordinationsmuster zweier Partner quantitativ über das Fitts'sche Gesetz abbilden lassen (*Abbildung 1*, dunkelgraue Felder). Durch diese Betrachtung kann die Generalisierbarkeit früherer Befunde aus Untersuchungen zum Fitts'schen Gesetz innerhalb von Einzelbedingungen (z.B. Fitts & Peterson, 1964; Klapp, 1975; Crossman & Goodeve, 1963/1983; Welford, 1960) auf Paarbedingungen erweitert werden. Gleichzeitig kann mit diesem Leseleitfaden die Gültigkeit des Fitts'schen Gesetzes über Aufgaben unterschiedlicher Komplexität hinweg geprüft werden (Forschungsfrage 3). Setzt man den Fokus auf Unterschiede in den Koordinationsmustern der Partner zwischen *Einzel- und Paarbedingungen* (Forschungsfrage 2), dann empfehlen sich die Experimente 2 und 5 einen Vergleich (*Abbildung 1*, graue Felder). Folgt man hingegen der Argumentation von Fine und Amazeens (2011), nachdem gerichtete Interaktionseffekte vor allem dann auftreten, wenn zwei Interaktionspartner mit individuell unterschiedlich schwierigen Aufgaben (innerhalb eines Paares) konfrontiert werden, dann bieten die Experimente 3 und 6 die Möglichkeit diese Effekte für eine einfache geführte und eine komplexere ungeführte Objektmanipulationsaufgabe nachzuvollziehen (*Abbildung 1*, hellgraue Felder). Schließlich bietet sich für die Leser in der Experimentalreihe 3 die Möglichkeit, die Gültigkeit des Fitts'schen Gesetzes anhand einer komplexen Fertigkeit für sportspielspezifische Kontexte zu betrachten und dessen Implikationen für die Sportpraxis nachzuvollziehen (*Abbildung 1*, untere Felderreihe).

2 Handlungen aus Sicht der Informationsverarbeitung

2.1 Informationsverarbeitungstheorien

Aus Sicht der Informationsverarbeitungstheorie ist der Mensch in seiner Fähigkeit, mehrere Informationen parallel aufzunehmen, limitiert (Shannon & Weaver, 1949, Theorem 17). Dabei können Informationen unterschiedliche Wertigkeiten besitzen und beanspruchen dadurch unterschiedlich viele (kognitive) Ressourcen. Beispielsweise können wir uns das Geschlecht eines Menschen leichter merken als dessen Namen. Begründet ist dies durch die erhöhte Anzahl an möglichen Alternativen. In diesem Beispiel kann das Geschlecht nur zwei Zustände (männlich/weiblich), der Name jedoch deutlich mehr annehmen. Zur mathematischen Beschreibung dieses Informationsgehalts nutzten Shannon und Weaver (1949) ein logarithmisches Modell, in dem der Informationsgehalt (die „*entropy*“) monoton mit der Anzahl an Handlungsalternativen steigt. Dies bietet den Vorteil, dass der Logarithmus additiv bleibt, während die Handlungsalternativen multipliziert werden, d.h. dass große Anstiege übersichtlicher dargestellt werden können:

$$(1) \quad H(x) = (\sum p_x) * \log_2 (1/p_x)$$

Der Logarithmus zur Basis „2“ ermöglichte es im einfachsten Fall (wie oben beschrieben), ja-/nein-Entscheidungen treffen zu können. Darüber hinaus bot sich die Nähe zur binären Kodierung technischer Systeme (z.B. Computern) an. Besitzt ein Ereignis eine Auftretenswahrscheinlichkeit (p_x) von 50 %, dann ist ihr Informationsgehalt (H_x) gleich dem negativen Logarithmus von „1“ geteilt durch die Auftretenswahrscheinlichkeit von 50 %. Das Ergebnis „2“ wird logarithmiert und besitzt danach einen Informationsgehalt von „1“, welcher typischerweise in „bit²“ angegeben wird. Es genügt also 1 bit, um diese Information zu kodieren. Die Auftretenswahrscheinlichkeit „ p_x “ ist die Wahrscheinlichkeit mit der eine Variable „ x “ in einer Grundgesamtheit im Mittel auftritt. Die Negativität der Formulierung (negativer Logarithmus) gewährleistet mathematisch einen positiven Informationsgehalt. „H“ wird häufig auch als ein *Maß der Unsicherheit* in Abhängigkeit der Handlungsalternativen interpretiert (Krippendorff, 1986). Bei keiner Handlungsalternative (also $p = 1$) ergibt sich ein Informationsgehalt von 0 bit. Mit jeder Verdoppelung der Alternativen steigt H um eine Einheit (z.B. bei 4 Alternativen ist $p = .25$ und $H = 2$; bei 8 Alternativen ist $p = .125$ und $H = 3$; bis n Alternativen mit $p = 1/n$ und $H = \log_2 n$).

² Die Bezeichnung „bit“ (Kurzform für *binary digit*) resultiert aus der Wahl der Basis „2“ für den Logarithmus (bei einer Basis von „3“ spräche man von „trits“, usw.).

Von der Annahme ausgehend, dass Informationen nicht ohne eine gewisse Störgröße (so genanntes "Rauschen"³) übertragen werden, entwickelten Shannon und Weaver (1949) ihr 17. Theorem, welches die Limitationen eines beliebigen Informationskanals in Abhängigkeit zur Signalstärke, zur Amplitude (Breite des Intervalls) und einer Störgröße berücksichtigte:

$$(2) \quad C = W \cdot \log [(P + N)/N]$$

Die *effektive Informationskapazität* (C) (in bits/Sekunde) eines Übertragungskanals war danach bedingt durch die Breite des Intervalls „W“ multipliziert mit dem Quotienten aus Signalstärke „P“ plus die Stärke des Rauschens „N“ geteilt durch ebendiese Störung (Shannon & Weaver, 1949, S. 100). Mit steigender Stärke des Rauschens sank der Signal-Rauschen-Quotient und damit auch die effektive Informationskapazität (Plamondon & Alimi, 1997).

Frühe Arbeiten von Donders (1869) bestätigten, dass die benötigte Zeit zur Auswahl einer Reaktion direkt mit der Anzahl an Alternativen, zwischen denen die Person wählen kann, zusammenhängt. In Reaktionszeitexperimenten konnte er zeigen, dass die Dauer bis zur Reaktion proportional zur Anzahl an „mental Operationen“ verlief. Versuchspersonen (Vpn) sollten dazu in einer der Versuchsbedingungen auf eine *angekündigte* Stimulation des Fußes schnellstmöglich mit einer Reaktion der korrespondierenden Hand antworten. In einer anderen Versuchsbedingung wurde die Person im Unklaren darüber gelassen, welcher Fuß in Kürze stimuliert wird. Es stellte sich heraus, dass die mentale Operation, nämlich die Auswahl der korrespondierenden Hand und die Planung der Bewegung, Zeit benötigte (Vpn reagierten in der zweiten Bedingung durchschnittlich 67 ms langsamer). Donders wiederholte dieses Experiment mit visuellen und akustischen Stimuli und postulierte abschließend einen klaren proportionalen Anstieg der Reaktionszeiten über drei Stufen, die er als (A) *Erkennungsaufgaben*, (B) *Erkennungs-, Erinnerungs- und Antwortauswahlaufgaben* und (C) *Erkennungs- und Erinnerungsaufgaben* definierte.

Sternberg (1969) modifizierte Donders Methoden dahingehend, dass er auch auf mögliche Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Stufen hinwies. Er kombinierte dazu eine Aufgabe von Stufe A (*Erkennung*) mit einer Aufgabe von Stufe B (*Erkennung, Erinnerung, Antwort*). Vpn sollten so schnell und genau wie möglich auf einen starken Lichtreiz oder einen schwachen Lichtreiz reagieren (Stufe A). Zusätzlich konnte die Reaktion mit der

³ Neuromotorisches „Rauschen“ (engl. *neuromotor noise*), als Metapher aus der Physik und Telekommunikation übertragen, beschreibt eine Störgröße, die den Austausch von Informationen behindert. Osborne, Lisberger und Bialek (2005) belegten, dass die Varianz in menschlichen Bewegungen nicht durch eine ungenaue motorische Ansteuerung der Muskeln oder fehlerhafte Bewegungsplanung begründet sind, sondern durch die Wahrnehmungsfähigkeit unseres Gehirns limitiert ist. Indem die Autoren langsame Folgebewegungen des Auges bei Primaten untersuchten, konnten sie zeigen, dass nahezu 92 % der Abweichung der Blickbewegung durch sensorische Fehler in der Einschätzung der Geschwindigkeit, der Richtung und des Timings zu erklären sind.

Hand entweder kompatibel oder inkompatibel sein. Mittels einer *Simon-Aufgabe*⁴ (Stufe B) stimmte die Position des Lichtreizes entweder mit der geforderten Handreaktion überein (kompatibel) oder war entgegengesetzt zur geforderten Handreaktion (inkompatibel). Entgegen der Erwartungen addierten sich die beiden „erschwerenden“ Faktoren nicht nur, d.h. die Intensität des Lichtreizes und die Kompatibilität des Reiz-Reaktions-Musters, sondern interagierten miteinander. Demnach waren die Reaktionszeiten in den kompatiblen und inkompatiblen Bedingungen abhängig von der Reizintensität (schwacher vs. starker Lichtreiz), sodass diese nicht parallel anstiegen, sondern ein schwacher Lichtreiz in der inkompatiblen Bedingung mehr als die Summe beider Stufen war. Aus dem rein additiven Ansatz von Donders wurde eine Interaktion der Verarbeitungsprozesse abhängig von der Aufgabenkomplexität und des Versuchsdesigns (vgl. Sternberg, 1969).

Eine mathematische Beschreibung der Beziehung zwischen der Reaktionszeit und der Anzahl an Reiz-Antwort-Alternativen beschreibt das Hick-Hyman-Gesetz (Hick, 1952 & Hyman, 1953). Vpn sollten in den Experimenten von Hick und Hyman auf Lichtreize mit korrespondierenden Reaktionen auf einer Tastatur reagieren. Dabei wurden die Anzahl der Lichtreize sowie die entsprechenden Antwortmöglichkeiten systematisch variiert. Es zeigte sich ein konstanter Anstieg der Reaktionszeiten bei einer Verdoppelung der Handlungsalternativen. Dies spricht für einen logarithmischen Zusammenhang zwischen der Reaktionszeit und der Anzahl der Reiz-Antwort-Alternativen, den sie im Hick-Hyman Gesetz als

$$(3) \quad RT = a + b \cdot (\log_2 n)$$

formulierten. Es handelt sich bei „a“ und „b“ um empirische Konstanten, die vom experimentellen Design und den Vpn abhängen. Die Anzahl „n“ stellt die möglichen Handlungsalternativen dar. Eine alternative Formulierung sieht den Logarithmus von n+1 vor. Diese approximiert die Reaktionszeit vor allem dann besser, wenn die Vpn nicht über den Zeitpunkt des Erscheinens des Signals informiert werden (vgl. Hyman, 1953). Entscheidet die Vpn selber über den Zeitpunkt des Erscheinens, entfällt die Ungewissheit (teilweise auch als n = 0 bezeichnet). Es gilt hier zu beachten, dass diese Formulierung nur die benötigte Reaktionszeit zur Auswahl einer Handlung beschreibt. Die Reaktionszeit zur (motorischen) Ausführung einer Handlung kann individuell sehr unterschiedlich ausgeprägt sein. Zwar können aus empirischen Untersuchungen Richtwerte (bspw. für die Hände 110-150 ms; für die Füße 140-180 ms) abgeleitet werden, allerdings werden diese durch verschiedene Faktoren (wie zum Beispiel die Sinnesmodalität) beeinflusst. Reaktionen auf akustische Signale, Berührungen und elektrische Stromschläge sind beispielsweise schneller als auf Lichtreize (visuelle

⁴ Bei einer (räumlichen) Simon-Aufgabe werden Vpn mit einem relevanten Reiz konfrontiert, der entweder auf der Seite erscheint auf der auch die Reaktion erfolgen soll oder nicht. Obwohl die Position des Reizes irrelevant für die Lösung der Aufgabe ist, reagieren Vpn in der Regel schneller in kompatiblen als in inkompatiblen Bedingungen.

Stimuli: ca. 180 ms; taktile: ca. 140 ms; akustische ca. 160 ms; kinästhetische ca. 120 ms; vgl. Chernikoff & Taylor, 1952). Begründet wird dies durch unterschiedliche Nervenleitgeschwindigkeiten und photochemische Prozesse (Fitts & Posner, 1968).

Der Ansatz linearer Informationsverarbeitungsprozesse geht auf Donders (1869) zurück und wurde später von Sternberg (1969) und schließlich Sanders (1980) aufgegriffen. In *Abbildung 2* ist eine simplifizierte Darstellung des Informationsverarbeitungsprozesses dargestellt. Mit dem Modell wurde versucht zu erklären, wie Bewegungsinformationen kodiert und gespeichert werden, wie Handlungen im Bewegungsgedächtnis repräsentiert und wie Informationen über Fehler verarbeitet werden, um eine Bewegungskorrektur durchführen zu können. Grundsätzlich werden Informationen verarbeitet und eine beobachtbare motorische Aktivität produziert. Das Modell beschränkt sich nach einem *Stimulus Input* (bspw. das Sehen eines Balles) auf die (1) *Stimulus Identifikation*, die (2) *Antwortauswahl*, die (3) *Antwortprogrammierung* und einen *Bewegungsoutput* (bspw. das Fangen eines Balles):

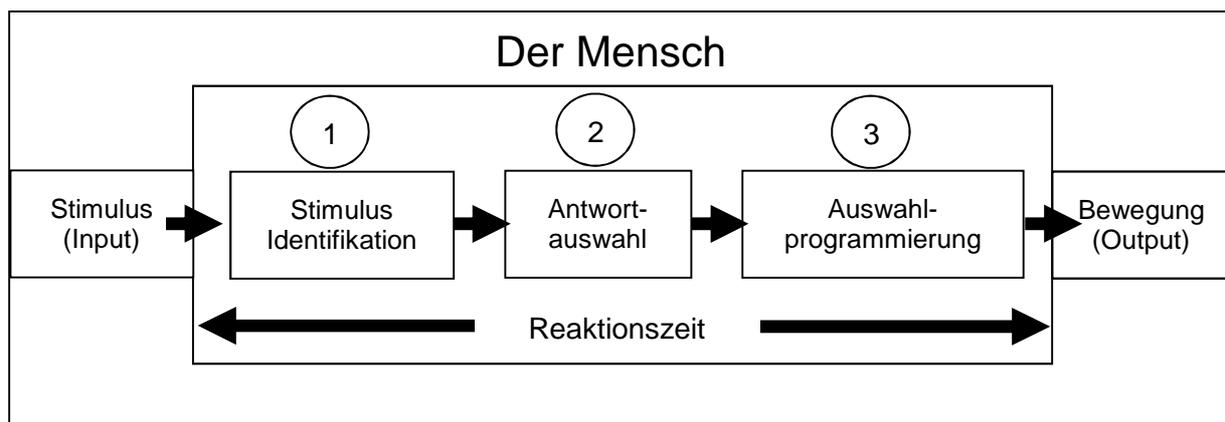


Abbildung 2: Das Informationsprozessmodell (aus Schmidt & Lee, 2005) als simplifizierte Darstellung eines kognitiven Verarbeitungsprozesses von der Reizaufnahme (Stimulusinput) bis zur Bewegungsantwort (Bewegungsoutput). Die drei Phasen der Stimulus Identifikation, der Antwortauswahl und der Auswahlprogrammierung beeinflussen demnach maßgeblich die Reaktionszeit (zwischen Input und Output).

Beim Erscheinen eines *Stimulus* werden mit Hilfe sensorischer Systeme die benötigten Informationen aus der Umwelt erfasst (*identifiziert*) und in ein für das zentrale Nervensystem verständliches Signal transformiert (d.h. in neuronale Impulse umgewandelt). Dabei erfolgt die Trennung von relevanten und irrelevanten Reizen (bewusst und unbewusst) sowie der Vergleich gefilterter Signale mit bekannten Mustern, um die bestmögliche (2) *Antwortauswahl* zu gewährleisten. In der Phase der (3) *Auswahlprogrammierung*, nachdem der Stimulus identifiziert und die Reaktion ausgewählt wurde, muss die geplante Handlung in muskuläre Aktivität umgesetzt werden. Ein Experiment von Henry und Rogers (1960) lieferte erste Erkenntnisse darüber wie lange die Planung einer spezifischen Bewegung dauert. In einer Reihe von Telexperimenten, in denen der Inputreiz und die Anzahl an Antwortmöglichkeiten konstant gehalten und ausschließlich die Art der Bewegung variiert wurde (von einer

einfachen Fingerbewegung bis zu einer komplexen Bewegung der Hand und des Armes mit der Manipulation eines Objektes), zeigte sich, dass mit einer höheren Komplexität der Aufgabe eine längere Bewegungszeit einher geht, aber auch die Reaktionszeit mit jeder Komplexitätsstufe anstieg. Da die beiden Faktoren der (1) *Stimulus Identifikation* und der (2) *Antwortauswahl* konstant blieben, ließen sich somit die erhöhten Reaktionszeiten direkt auf die (3) *Programmierung* der Handlung zurückführen. Mit einer komplexeren Bewegung schienen also mehr kognitive Ressourcen zur Planung dieser Handlung beansprucht zu werden. Dies benannten Henry und Rogers (1960) als eine zusätzliche *Programmierungszeit*. Relativ simple Aufgaben können dabei gelöst werden, ohne signifikant mehr kognitive Ressourcen zu verbrauchen (siehe auch Theorien zur *Automatisierung in Doppeltätigkeitsaufgaben*).

Das Informationsprozessmodell schließt mit der Ausführung der geplanten motorischen Handlung durch die Muskulatur, sodass ein beobachtbarer Output generiert wird. Es gilt zu berücksichtigen, dass es sich bei diesem Informationsprozessmodell um eine simplifizierte Darstellung eines Handlungsprozesses von einem informationsverarbeitungstheoretischen Standpunkt aus handelte. Intra- und interindividuelle Unterschiede bei der Ausführung von Bewegungen (bspw. Reaktionszeiten), kognitive Verarbeitungszeiten, motivationale Unterschiede, Muskelspannungen oder gewisse Voraktivierungen fanden darin keine Beachtung.

Aufbauend auf den Vorarbeiten von Donders (1869), Shannon und Weaver (1949) sowie Hick und Hymen (1953) konnte Fitts (1954) einfache motorische Bewegungen über das Fitts'sche Gesetz mathematisch erklären. Im Folgenden wird die Entwicklung dieser Gesetzmäßigkeit genauer beschrieben.

2.2 Das Fitts'sche Gesetz

Pionierarbeiten von Woodworth (1899) deuteten erstmals auf einen Zusammenhang zwischen der Geschwindigkeit, der Entfernung (zum Ziel) und der Genauigkeit bei der Ausführung einer motorischen Handlung hin. Vpn sollten eine Reihe einfacher motorischer Aufgaben mit visuellen Rückmeldungen ausführen. Eine Aufgabe davon war es, Linien auf einer rotierenden Papiertrommel mit einem Stift zu ziehen, die jeweils genauso lang sein sollten wie die gerade zuvor gezeichnete Linie. Stand den Vpn die visuelle Rückmeldung zur Verfügung, zeigte sich ein Anstieg der Bewegungsvariabilität (d.h. größere Varianzen) zum einen bei einer Vergrößerung der zu überwindenden Entfernung (also bei längeren Linien) als auch bei steigender Ausführungsgeschwindigkeit (höhere Rotationsfrequenz). Der Zeitdruck wurde durch ein Metronom induziert, mit dessen Taktschlag die Zeichnungen absolviert werden mussten. Mit zunehmender Geschwindigkeit (von 20 bis zu 200 Linien pro Minute) ergab sich ein bis zu sechsfacher Anstieg der Varianz. Woodworth (1899) differenzierte während

einer Bewegung eine initiiierende Adjustierungsphase (*initial impulse*) und eine laufende Kontrollphase (*current control*). Die Kontrollphase war dabei für die Genauigkeit der Ausführung verantwortlich und die Initiierungsphase wurde ausschließlich durch die individuell unterschiedlichen Reaktionszeiten und Bewegungseigenschaften der Vpn reglementiert (vgl. Woodworth, 1899). In einem weiteren Experiment wurden Vpn gebeten, mit einem Stift in einem über ein Metronom vorgegebenen Takt, vor und zurück zu tippen. Dabei stand den Vpn in einer Bedingung visuelles Feedback zur Verfügung, in der anderen nicht. Als abhängige Variable wurden die Abweichung vom Zielbereich, der in dem vorgegebenen Takt getroffen werden sollte, und die Bewegungsgeschwindigkeit gemessen. Bei visuellem Feedback (Augen geöffnet) stieg die Abweichung mit steigender Geschwindigkeit an, wohingegen die Ungenauigkeiten in der Bedingung ohne Feedback (Augen geschlossen) konstant blieben. Woodworth schlussfolgerte, dass Bewegungen in der Bedingung ohne Feedback vorprogrammiert und allein über die initiiierende Adjustierungsphase gesteuert wurden, wohingegen die Vpn in der Bedingung mit Feedback kleine Bewegungskorrekturen vornehmen konnten. Bei einer hohen Bewegungsgeschwindigkeit, gelang es den Vpn allerdings nicht mehr, das Feedback in den Handlungsplan zu integrieren. Zusammengefasst war es also nicht möglich, „sowohl schnell als auch genau zu agieren“ (vgl. Woodworth, 1899, S.58).

Jede motorische Leistung wird primär durch die Kapazitäten des motorischen Systems begrenzt. Dabei spiegelt sich die Informationskapazität des motorischen Systems in der Fähigkeit wider, eine bestimmte Klasse von Bewegungen konsistent auszuführen:

„The information capacity of the motor system is specified by its ability to produce consistently one class of movement from among several alternative movement classes. The greater the number of alternative classes, the greater is the information capacity of a particular type of response.“ (vgl. Fitts, 1992, S. 262).

Das heißt, je größer die Anzahl an alternativen Klassen ist, desto größer ist die Informationskapazität der einzelnen Bewegungsantworten. Von der Grundannahme ausgehend, dass eine motorische Aufgabe einen sensorisch-motorischen Kanal durchläuft, welcher in seiner Kapazität begrenzt ist, versuchten Fitts und Posner (1968) quantitativ zu ergründen, welche Beziehung zwischen den Faktoren *Entfernung*, *Dauer* und *Variabilität* einer Bewegung besteht.

Die Dauer einer Bewegung ist abhängig von der Bewegungsdistanz (Amplitude) und der erlaubten Variabilität (Genauigkeit). Dabei scheinen die Bewegungsgeschwindigkeiten den Genauigkeitsanforderungen einer Aufgabe entgegen zu arbeiten. Dieser so genannte Geschwindigkeits-Genauigkeitsausgleich kann am Beispiel des Schreibens verdeutlicht werden: Versuchen wir an einer Tafel möglichst schnell einen Satz zu schreiben, dauert dies tendenziell länger im Vergleich zum Schreiben auf einem Blatt Papier, da die Bewegungs-

amplitude an der Tafel größer ist. Schreibt man jedoch auf einem winzigen Stück Papier dauert dies ebenfalls länger als auf einem normal großen Papier. Dies ist dadurch begründet, dass die Geschwindigkeit aufgrund der höheren Präzisionsanforderung stark reduziert werden muss (Fitts & Peterson, 1964).

Das wohl bekannteste Experiment, das mit der Fitts'schen Gesetzmäßigkeit in Verbindung gebracht wird, ist die so genannte Tipp-Aufgabe (im Original: *Tapping-Task*). Paul Fitts konstruierte eine metallische Apparatur, die zwei rechteckige Zielfelder (Toleranzbereiche) vorsah. Diese Zielfelder variierten in der Breite und konnten in verschiedenen Distanzen zueinander angeordnet werden. Vpn sollten innerhalb von 20 Sekunden die beiden Felder im Wechsel möglichst schnell, aber auch zielgenau mit einem metallischen Stift berühren. Die Zielfelder wurden von Sensorflächen begrenzt, um die Anzahl zu kurzer Bewegungen (*Undershoots*) und zu langer Bewegungen (*Overshoots*) zu registrieren (siehe *Abbildung 3*).

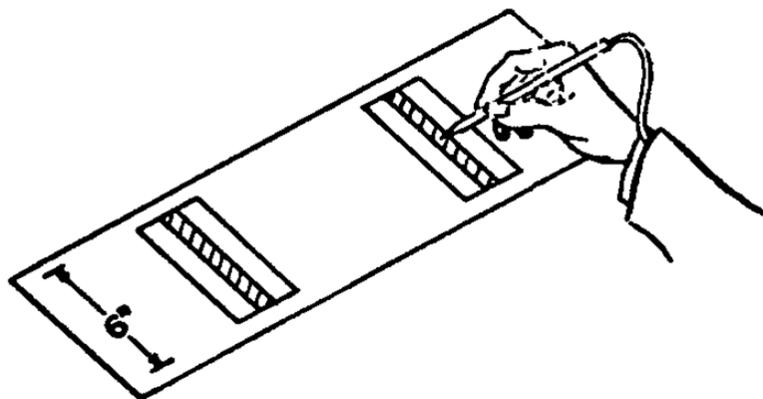


Abbildung 3: Schematische Darstellung der Fitts'schen Tipp-Aufgabe (Fitts, 1954, Experiment 1). Mittels eines metallischen Stiftes sollten die schraffierten Zielbereiche möglichst schnell und genau im Wechsel berührt werden. Elektroden um den Zielbereich herum erfassten die Berührungen über das Zielfeld hinaus (*Overshoots*) und vor das Ziel (*Undershoots*). Die Distanz zwischen den Zielfeldern (5, 10, 20 cm von Zielmitte zu Zielmitte) und deren Breite (5, 2,5, 1,25, 0,64 cm) wurde systematisch variiert.

Durch die orthogonale Kombination aus vier Zielgrößen (Breite: 5, 2,5, 1,25 und 0,64 cm; Höhe: 15 cm) und vier Distanzen (5, 10 und 20 cm von Zielmitte zu Zielmitte) ergaben sich 16 Versuchsbedingungen. Fitts nahm an, dass es tendenziell leichter sein sollte die Ziele zu treffen, welche größer sind und näher beisammen liegen. Vpn sollten hier mehr Treffer pro Zeit realisieren können. Er definierte einen Schwierigkeitsindex (SI), der sich in Abhängigkeit von der *Distanz* der Mittelpunkte der Zielbereiche und deren *Zielgröße* ergab.

Das zweite Originalexperiment – die Scheiben-Transfer-Aufgabe (Fitts, 1954, Experiment 2) – ist in *Abbildung 4* dargestellt. Die Vpn sollten schnellstmöglich acht Plastikscheiben (Dicke: 3 mm; Durchmesser: 38 mm) von einem Stab (Durchmesser: 3 mm) auf einen anderen Stab umsetzen. Die Scheiben besaßen runde Aussparungen in der Mitte (4, 5, 6, 9

und 15 mm). Die Distanz zwischen den Stäben wurde ebenfalls systematisch variiert (100, 200, 400 und 800 mm). Die Vpn drückten vor dem Transport der ersten Scheibe einen Zeitmesser neben der Apparatur und beendeten einen Durchgang nach dem Ablegen der letzten Scheibe ebenfalls über diesen Zeitmesser.

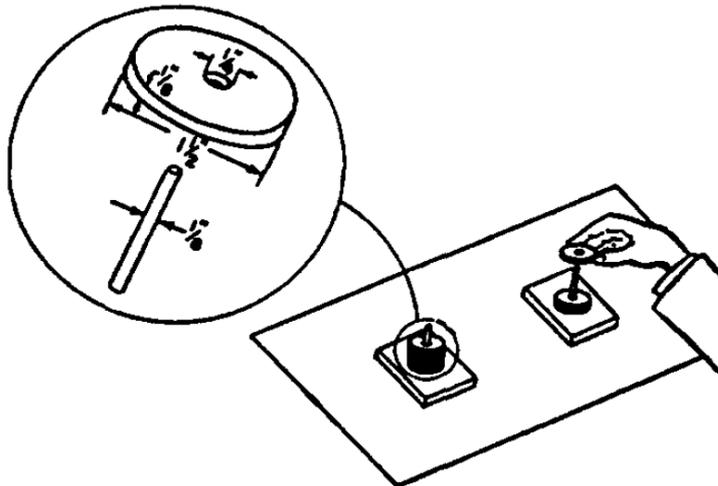


Abbildung 4: Schematische Darstellung der Fitts'schen Scheiben-Transfer-Aufgabe (Fitts, 1954, Experiment 2). Die Vpn sollte schnellstmöglich acht Plastikscheiben (Dicke: 3 mm; Durchmesser: 38 mm) von einem Stab (Durchmesser: 3 mm) auf einen anderen Stab umsetzen. Die Scheiben besaßen runde Aussparungen in der Mitte (4,5, 6, 9, 15 mm). Die Distanz zwischen den Stäben wurde ebenfalls verändert (100, 200, 400, 800 mm).

Es zeigte sich auch hier, dass die Vpn im Mittel länger für den Transport der acht Scheiben benötigten, je größer die Distanz zwischen den Stäben war. Darüber hinaus ging auch mit einer geringeren Differenz zwischen dem Lochdurchmesser und dem Durchmesser (Toleranz) des Stabes eine längere Bewegungszeit einher.

In dem dritten Experiment von Fitts (1954), der Pin-Transfer-Aufgabe, transferierten Vpn schnellstmöglich kleine Pins von einer Steckleiste auf eine andere (*Abbildung 5*). Dabei variierte der Durchmesser der acht Pins (0,75, 1,5, 3 und 6 mm; Höhe: 38 mm) bei konstanter Größe der Aussparungen (Durchmesser: 3 mm) in den Steckleisten. Darüber hinaus wurde ebenfalls die Distanz zwischen den Steckleisten verändert (50, 100, 200 und 400 mm). Die Vpn starteten und stoppten den Zeitmesser genau wie in der vorangegangenen Aufgabe. Auch hier ergaben sich längere Bewegungszeiten für den Pin-Transfer mit zunehmender Distanz zwischen den Leisten und mit sinkender Differenz zwischen Lochdurchmesser der Aussparungen und dem Durchmesser der Pins.

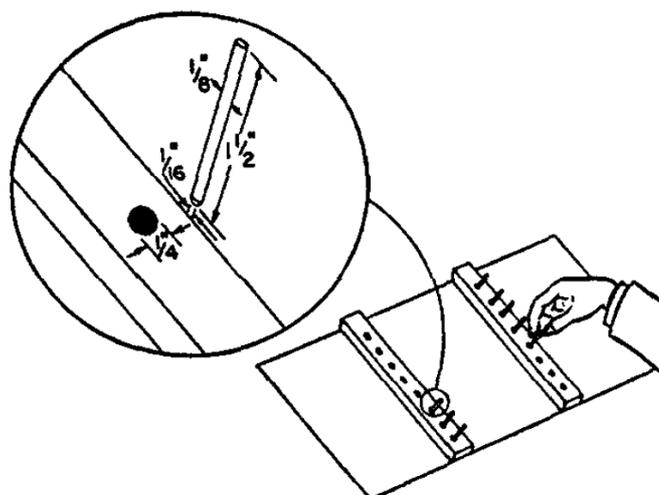


Abbildung 5: Schematische Darstellung der Fitts'schen Pin-Transfer-Aufgabe (Fitts, 1954, Experiment 3). Die Vpn sollte schnellst-möglich acht Pins (Durchmesser: 0,75, 1,5, 3 und 6 mm; Höhe: 38 mm) von einer Steckleiste auf eine andere transferieren. Die acht Aussparungen in den Leisten hatten einen Lochdurchmesser von 3 mm. Die Distanz zwischen den Steckleisten wurde ebenfalls systematisch variiert (50, 100, 200 und 400 mm).

Auf Grundlage dieser konsistenten, empirischen Daten folgerte Fitts einen mathematischen Zusammenhang der beiden Bewegungsparameter *Distanz* zwischen den Zielen und der *Größe* des jeweiligen Zieles. Dabei steht der Schwierigkeitsindex (SI) in logarithmischer Abhängigkeit zum Quotienten aus *Distanz* zwischen den Zielen (*A*) und *Größe* der Ziele (*W*):

$$(4) \quad SI = -\log_2 (W/2 \cdot A) \text{ Einheiten/Sekunde}$$

Der SI wird typischerweise in der Einheit „bits/response“ angegeben, was einen Informationsgehalt pro Antwort widerspiegeln soll⁵. Im Folgenden wird diese Größe mit „Einheiten/Sekunde“ übersetzt. Den Faktor „2“ vor der Distanz (*A*) ergänzte Fitts eigenen Angaben zufolge aus dem praktischen Grund, dass der Schwierigkeitsindex einer motorischen Aufgabe nie Null sein kann. Bei großen Zielgrößen wird die Mindestdistanz durch die Entfernung der Zielfeldmittelpunkte definiert (bspw. muss bei $W = 8$ eine Mindestdistanz von acht vorliegen, da zwischen den Mittelpunkten der Zielfelder eine Distanz von $8/2 \cdot 2 = 8$ besteht). Da die Zielgröße maximal genauso groß gewählt werden kann wie die Distanz, resultiert in diesem Fall ein SI von „1“ ($SI = -\log_2 (1/2) = 1$). Mit Hilfe des *dritten Logarithmusgesetzes* ergibt sich aus der obigen Formel die häufiger zitierte Formel:

$$(5) \quad SI = \log_2 (2 \cdot A/W) \text{ in Einheiten/Sekunde (nach MacKenzie, 1992, S. 96)}$$

⁵ In Anlehnung an Shannon (1949) wird eine Information hier als eine quantitative mathematische Konzeption betrachtet, die den Grad der Unsicherheit oder Unbestimmtheit verringert. Basierend auf der binären Codierung (Null und Eins) kann eine beliebige (komplexe) Information auf ja-nein-Entscheidungen reduziert werden.

So lassen sich verschiedene SI's einer motorischen Aufgabe durch verschiedene Kombinationen von Zielentfernung und Zielgröße generieren. Ein weiterer praktischer Nutzen dieser Formulierung ist eine mögliche Vorhersage der benötigten Bewegungszeit (BZ), die eine Vpn für eine beliebige Bewegungsaufgabe aufwenden muss. Demnach kann über den SI der Aufgabe, den personen- und aufgabenabhängigen Konstanten (a und b) des Versuchsaufbaus (Reaktionszeiten, Wegzeiten, etc.) und einer hinreichend großen Anzahl an Probanden die BZ einer (Teil-)Bewegung mit der folgenden Formel approximiert werden:

$$(6) \quad BZ = a + b \times \log_2(2 \cdot A/W)$$

Die Variablen a und b entsprechen empirischen Konstanten, die sowohl von den motorischen Voraussetzungen der Vpn als auch von der Art der Bewegung abhängig sind. Ähnlich dem Hick-Hyman-Gesetz konnte auch Fitts einen linearen Zusammenhang zwischen dem Zweierlogarithmus des Quotienten aus $2 \cdot A$ und W , also dem SI, und der BZ nachweisen. Trägt man den SI einer motorischen Aufgabe gegen die benötigte BZ ab, zeigt sich ein linearer Zusammenhang beider Faktoren (*Abbildung 6*):

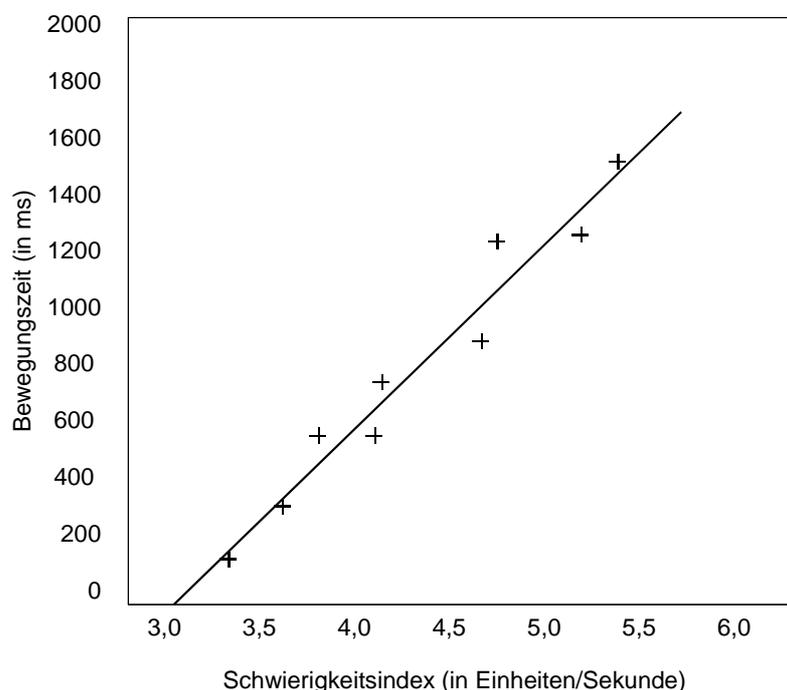


Abbildung 6: Exemplarische Darstellung der Daten der Fitts'schen Tipp-Aufgabe (Fitts, 1954). Mit steigendem Schwierigkeitsindex (Abszisse, in Einheiten/Sekunde) gehen auch längere Bewegungszeiten (Ordinate, in ms) einher. Steigung (m) und der Achsenabschnitt (b) dieser linearen Funktion sind dabei experimentalabhängig. Der lineare Zusammenhang geht i.d.R. mit hohen Bestimmtheitsmaßen (R^2) einher (Fitts & Peterson, 1964).

Die Regressionsgerade lässt sich über die typische Geradengleichung beschreiben:

$$(7) \quad y = m \cdot x + b$$

Dabei entspricht in diesem Fall der SI der unabhängigen Variable (x) und die prognostizierte Bewegungszeit die abhängige Variable, also den Funktionswert (y) der linearen Gleichung. Der Achsenabschnitt (b) und die Steigung der Geraden (m) entsprechen den o.g. empirischen Konstanten (a und b). Vor dem Hintergrund limitierter kognitiver Ressourcen während der Informationsverarbeitung, schließt Fitts (1992) seine Argumentation damit ab, dass es je nach Aufgabe einen konstanten, so genannten Performanz-Index (engl. *Index of Performance*) geben müsse, der die Kapazität des perzeptuellen-motorischen Systems beschreibt. Dieser Index berechnet sich als Quotient aus Schwierigkeitsindex im Zähler und der durchschnittlichen Bewegungszeit im Nenner.

“If the amplitude and tolerance limits of a task are controlled by E [error], and S [as subject] is instructed to work at his maximum rate, then the average time per response will be directly proportional to the minimum average amount of information per response demanded by the particular conditions of amplitude and tolerance.” (Fitts, 1992, S. 263)

Zusammenfassend stehen die Schnelligkeit und die Genauigkeit einer motorischen Bewegung in gegensätzlichem Verhältnis zueinander, d.h. je schneller eine Bewegung ausgeführt wird, desto ungenauer wird sie. Im Umkehrschluss benötigen präzise Zielbewegungen mehr Zeit (Fitts, 1954; Fitts & Peterson, 1964; Woodworth, 1899). Im Folgenden werden Erklärungsansätze für dieses Paradigma gegeben und später Einschränkungen und Modifikationen unter spezifischen Experimentalbedingungen deutlich gemacht.

2.3 Erklärungsansätze zum Fitts'schen Gesetz

Eine Erklärung des Geschwindigkeits-Genauigkeits-Ausgleiches lieferten Crossman und Goodeve (1963/1983) in einem *deterministisch-iterativen Korrekturmodell*. Danach werden willkürliche motorische Bewegungen auf ein Ziel hin durch eine Reihe diskreter Teilbewegungen (iterativ) realisiert. Sensorische Rückmeldungen (Soll-Ist-Wert Vergleiche) werden dabei zur Korrektur der Bewegung. Die Autoren gehen davon aus, dass jede (Teil-)Bewegung Zeit benötigt und nur einen bestimmten Anteil der erforderlichen Distanz zurücklegen kann. Soll beispielsweise bei einer Handbewegung eine Distanz von 10 cm zurückgelegt werden und bringt jede Teilbewegung die jeweilige Hand um 90 % näher an das Ziel heran, so ist diese nach der ersten Bewegung noch 1 cm, nach der zweiten noch 0,1 cm und nach der dritten noch 0,01 cm vom Ziel entfernt. Je größer der zu erreichende Zielbereich ist (d.h. je größer die Fehlertoleranz), desto eher fällt das Ende der Bewegung in den Zielbereich und desto weniger Teilbewegungen werden benötigt. Das Modell wird als deterministisch bezeichnet, da keine Variabilität in der Bewegungsausführung berücksichtigt wird. Die Bewegungszeit ist demnach ausschließlich durch das Verhältnis von Zielweite und

Entfernung bestimmt (determiniert). Bewegungsfehler hingegen lassen sich durch dieses Modell kaum erklären.

In Fitts' Originalstudien wurden alle Vpn, deren Daten mehr als 5 % Fehler aufwiesen, von der Datenanalyse ausgeschlossen. Ungenauigkeiten in der Bewegung werden im Gegensatz zu Fitts' Originalstudien in den unten aufgeführten Experimenten in Kapitel 6-8 zusätzlich berichtet. Nach Welford (1960) treten Fehler normalverteilt auf. Das heißt, dass besonders große Abweichungen vom Ziel selten und am häufigsten nahe dem Zielbereich passieren. Ob das Verfehlen des Zielbereiches ausschließlich durch die zufällige Variabilität des menschlichen Muskelapparates zustande kommt (siehe auch "motor noise"-Theorie), bleibt zu diskutieren, da vor allem mit steigender Schwierigkeit der Aufgabe mehr Fehler einhergehen, was wiederum gegen einen unsystematischen Fehler spricht. Auch Fitts wies auf die Möglichkeit hin, dass bei schnellen Zielbewegungen ein gewisses "Rauschen" im neuromotorischen Kanal auftreten könnte (vgl. Fitts, 1954, S. 381).

Das *stochastisch-optimierte Teilbewegungsmodell* nach Meyer, Abrams, Kornblum, Wright und Smith (1988) begründet die Abhängigkeit der Geschwindigkeit von der Kombination aus der Zielweite und der Entfernung über die Anzahl der *benötigten Korrekturbewegungen*, die, ähnlich dem deterministisch-iterativen Modell, kürzer als die initiale Bewegung sind, aber auch zurückgerichtet sein können. So lassen sich Bewegungen vor das Ziel (*Undershoots*) und auch über das Ziel hinaus (*Overshoots*) erklären. Das oben bereits genannte "Rauschen" im neuromotorischen Kanal gilt hier als permanent, sodass Vpn nie in der Lage sind ein und dieselbe Bewegung exakt zu wiederholen. Es tritt normalverteilt und unsystematisch auf.

Nach Carlton (1979) besteht eine Zielbewegung immer aus mindestens zwei Teilbewegungen, bei denen die initiale Bewegung in der Regel 90 % der erforderlichen Gesamtdistanz zurücklegt. Trifft die zweite Teilbewegung den Zielbereich, ist keine weitere Teilbewegung mehr nötig. Beim Verfehlen des Zielbereiches kann das Individuum Korrekturbewegungen mit Hilfe sensorischer Rückmeldungen (visuell, taktil, akustisch oder kinästhetisch) in beide Richtungen initiieren. Zeitminimierungen werden über einen idealen Kompromiss zwischen der durchschnittlichen Dauer der ersten Teilbewegung und der durchschnittlichen Dauer der zweiten Korrekturbewegung vorgenommen:

"Time minimization is achieved through an ideal compromise between the mean duration of the primary submovements (...) and the mean duration of the secondary corrective submovements." (Meyer et al., 1988, S. 346).

Ist die erste Teilbewegung sehr schnell, erhöht sich die Relevanz des motorischen Rauschens, wodurch vermehrte Zeit für Korrekturbewegungen auftritt. Im umgekehrten Fall,

wenn die initiale Bewegung sehr langsam und das motorische Rauschen geringer ist, entfallen zeitaufwändige Korrekturbewegungen. Dennoch ist die Bewegungszeit durch die generell langsamere Bewegung über 90 % der Strecke relativ hoch. In anderen Worten entscheidet ein optimales Verhältnis von Geschwindigkeit und Genauigkeit, also die richtige Einschätzung der (motorischen) Limitationen, über die Schnelligkeit einer Bewegung.

Das *Impuls-Variabilitäts-Model* (Schmidt, Zelaznik, Hawkins, Frank, & Quinn, 1979) beschreibt eine direkte Abhängigkeit der Genauigkeit von der Variabilität des Kraftimpulses, der für die Absolvierung der Strecke und der Dauer einer Bewegung notwendig ist. Demnach steigt die Variabilität eines Kraftimpulses für eine Strecke oder einer Dauer proportional zur Stärke dieses Impulses. Je weiter und je länger eine Bewegung ist, desto größer fällt nach diesem Modell auch die Variabilität der Ausführung aus. Kritik an diesem Modell ist eine mangelnde Erklärung des logarithmischen Zusammenhangs von Schwierigkeitsindex und Bewegungszeit sowie das Außer-Acht-Lassen physikalischer Prinzipien (bspw. dass Kraftimpulse nicht linear ansteigen; *relativistische Physik*). Außerdem erklärt es nicht die Reduktion der Geschwindigkeiten am Ende einer Bewegung bei sehr hohen Präzisionsanforderungen.

Townsend und Ashby (1978) schlagen einen Ansatz der *inversen Effizienz* vor, bei dem sich ein Effizienzindex über die benötigte Bewegungszeit und die relative Anzahl an korrekten Versuchen berechnen lässt:

$$(8) \quad IE (\text{inv. Effizienz}) = \text{Bewegungszeit} / \text{rel. Anzahl korrekter Versuche}$$

Vpn sollten in ihren Experimenten einen Maus-Zeiger möglichst schnell und genau von einer Ausgangsposition auf eine Zielposition bewegen und diese mit einem Tastendruck bestätigen. Über Computerprotokolle analysierten sie die Bewegungszeiten vom Verlassen der Ausgangsposition bis zum Tastendruck. Ein Fehler wurde als Tastendruck außerhalb des Zielbereichs definiert. Je niedriger der Quotient aus Bewegungszeit und der relativen Anzahl korrekter Versuche war, desto besser bzw. effizienter war die Bewegung einzuschätzen. Der Index ließ sich entweder minimieren, indem die Bewegungszeit reduziert oder indem die relative Anzahl korrekter Versuche maximiert wurde. Die Autoren gaben zu bedenken, dass sich der Effizienzindex nur berechnet lässt, wenn eine negative Korrelation zwischen der Bewegungszeit und den Bewegungsfehlern vermutet wird.

Das Fitts'sche Gesetz ist in der Wissenschaft von großen Bedeutung, da es eines der wenigen über lange Zeit etablierten Gesetzmäßigkeiten ist, welches eine weite Spanne motorischer Handlungen verschiedener Personen in unterschiedlichsten Situationen beschreiben kann. Dabei werden im Folgenden Kapitel Erweiterungen des Fitts'schen Gesetzes aufgezeigt, die es stabiler für unterschiedliche Kontexte machen. Das Ziel ist es, optimale Rahmenbedingungen für die Experimente dieser Arbeit in Kapitel 6 bis 8 zu schaffen. Dabei wer-

den zum einen Modifikationen (Gültigkeit unter verschiedenen Kontextbedingungen) und zum anderen Grenzen (was das Fitts'sche Gesetz nicht leisten kann) des Fitts'schen Gesetzes erläutert.

2.4 Erweiterung der Gültigkeit des Fitts'schen Gesetzes

Zahlreiche Studien der letzten Dekaden prüften die Gültigkeit des Fitts'schen Gesetzes unter differierenden Rahmenbedingungen (bspw. für bewegliche Ziele: Boyle & Shea, 2011; künstliche Verzögerungen des Effektors: Beamish, Bhatti, MacKenzie & Wu, 2006; mit Berücksichtigung der Bewegungsfehler: Guiard & Olafsdottir, 2011; für Augenbewegungen: Abrams, Meyer & Kornblum, 1989; für einfache Fingermanipulationen: Hoffmann & Sheikh, 1991; für den Mauszeiger am Computer: Johnsgard, 1994 und für den Effektor „Fuß“: Drury, 1975; für einen Überblick siehe Plamondon & Alimi, 1997 oder Meyer, Smith, Kornblum, Abrams, & Wright, 1990).

Limitationen und Einschränkungen des Modells wurden ebenfalls untersucht (siehe Meyer, Abrams, Kornblum, Wright, & Smith, 1988). Modifikationen des Fitts'schen Gesetz dienten vor allem dazu, es stabiler für unterschiedliche Situationen zu gestalten. In *Anhang 1* sind eben diese Modifikation tabellarisch aufgeführt. Der Grundgedanke, die Wechselwirkung zwischen den Leistungsparametern Bewegungsgeschwindigkeit und -genauigkeit, ging durch die vorgeschlagenen Modifikationen jedoch nicht verloren. Die Manipulation der mathematischen Formulierung erhöht dabei teilweise nur marginal den Grad der Präzision für verschiedene motorische Aufgaben (Hancock & Newell, 1985). Ausgewählte Studien sollten die Grenzen der Gültigkeit und Modifikationsmöglichkeiten der mathematischen Formulierung des Fitts'schen Gesetzes aufzeigen. Diese dienen im Folgenden als Grundlage für die eigenen Experimente in Kapitel 6 bis 8.

Fitts und Peterson (1964) systematisierten die Studien zum Fitts'schen Gesetz in *kontinuierliche* (bspw. Fitts, 1954, Tipp-Aufgabe, Experiment 1) und *diskrete* (bspw. Fitts, 1954, Scheibentransferaufgabe, Experiment 2) Aufgaben. Dabei stellten sie für die Analyse einen klaren Vorteil⁶ der diskreten Aufgaben heraus, da es leichter ermöglicht wird, einen klaren Start- und Endpunkt der Bewegung zu definieren. Darüber hinaus wurden *kontinuierliche Aufgaben* hinsichtlich ihres Versuchsdesigns kategorisiert: In einer *direkten Variante* wurde die benötigte Bewegungszeit für eine feste Anzahl an Bewegungen (bspw. „*Versuchen Sie diese acht Objekte möglichst schnell und zielgenau von A nach B zu befördern*“) gemessen. In der *indirekten Variante* wurde die zur Verfügung stehende Bewegungszeit limitiert (bspw. „*Sie haben 20 Sekunden Zeit möglichst viele (Ziel-)Bewegungen auszuführen*“)

⁶ Die Betrachtung der Gesamtzeiten stellt aus Sicht der Informationsverarbeitungstheorie keine Unterscheidung der Hin- und Rückföhrbewegungen des Effektors dar. Allerdings fallen Reaktionszeiten und Planungsprozesse stärker ins Gewicht (Fitts & Peterson, 1964).

und die erfolgreichen (Ziel-)Bewegungen gezählt. In diesem Fall berechnete sich die Bewegungszeit indirekt durch die Division der konstanten Zeitspanne durch die Anzahl der erfolgreichen Bewegungen.

In verschiedenen Studien (Welford, 1960; Buck, 1986; Crossman, 1957; Meyer et. al, 1988) konnten Abweichungen von der Regressionsgerade vor allem für niedrige Schwierigkeitsindizes (< 2 Einheiten/Sekunde) nachgewiesen werden. Bei diesen Aufgabenschwierigkeiten fand sich eine nach oben verschobene Regressionsgrade, das heißt, dass ab einer gewissen minimalen Schwierigkeit eine Zeituntergrenze erreicht wurde. Begründet wurden diese Abweichungen unter anderem dadurch, dass Vpn bei großen Zielweiten und kurzen Distanzen nicht den gesamten Zielbereich nutzten. Eine nachträgliche Analyse der Fitts'schen Experimente zeigte, dass eine Verringerung der Zielgröße einen im Vergleich zur Erweiterung der Zielentfernung nicht-proportionalen Anstieg der BZ bewirkte (Sheridan, 1979). Danach wies eine modifizierte Formulierung des Fitts'schen Gesetzes (Welford, 1960) für mehrere Studien höhere Korrelationen von BZ und SI nach:

$$(9) \quad BZ = a + b \times \log_2 (AW + 0,5)$$

Wright und Meyer (1983) differenzierten motorische Aufgaben hinsichtlich ihrer räumlichen und zeitlichen Begrenzungen. Bei Aufgaben mit einer räumlichen Begrenzung absolvierten die Vpn eine Bewegung auf ein spezifisches Ziel hin. Bei Aufgaben mit einer zeitlichen Begrenzung sollte die Vpn in einer spezifischen Zeit eine Bewegung nur möglichst nahe an ein Ziel heranzuführen. Die fehlenden Präzisionsanforderungen bei diesen zeitlich begrenzten Aufgaben bewirkten Abweichungen vom Fitts'schen Gesetz, da die Bewegungszeit auch über eine lineare Skalierung (anstatt logarithmisch) beschrieben werden konnte (siehe auch „*temporal-precision*“ Hypothese). Das Gleiche galt, wenn die Bewegungen sehr langsam ausgeführt wurden (> 200 ms) oder kein visuelles Feedback zur Verfügung stand (Wright & Meyer, 1983). In den in Kapitel 6 bis 8 aufgeführten Experimenten werden daher ausschließlich Aufgaben mit einer räumlichen Begrenzung genutzt und die Bewegungszeiten über eine logarithmische Funktion approximiert.

Crossman und Goodeve (1983) stellten die ursprüngliche Tipp-Aufgabe (Fitts, 1954, Experiment 1; *Abbildung 3*) nach und erfassten dabei die Bewegungstrajektorien der Hand. Abhängig vom Schwierigkeitsindex traten Unterschiede im Bewegungsverhalten der Vpn auf: Bei niedrigen Indizes entstand ein Kontakt mit der Zielplatte noch bevor die Bewegung vollständig abgebremst wurde, d.h. dass die Vpn die Bewegungsrichtung änderten (zurückführten), bevor die eigentliche Bewegung abgeschlossen war. Bei höheren Indizes lag die Geschwindigkeit beim Kontakt mit der Zielplatte bei exakt Null. In einem zweiten Experiment sollten Vpn schnellstmöglich die genaue Position einer Drehscheibe mit einem Griff auf ein vorgegebenes Ziel einstellen (rotieren). Dabei erfassten die Autoren die Bewegungstrajekto-

rien des Handgelenks, wobei in diesem Fall die äquivalente Distanz zum Drehwinkel die Distanz und die Zielfläche eine Markierung auf der Grundplatte der Drehscheibe darstellten. Die Ergebnisse zeigten, dass die Geschwindigkeit zu Beginn der Bewegung langsam, dann exponentiell anstieg. Ab dem Maximalwert nahm die Geschwindigkeit analog dazu erst schnell, später langsam ab. Der Verlauf der Bewegungsgeschwindigkeit ähnelte danach einer „Gauß’schen Glockenfunktion“ (Normalverteilung). Die Autoren schlossen aus den erhöhten Bewegungskorrekturen bei höheren Schwierigkeitsindizes, dass akkurate Bewegungen durch eine Sequenz von diskreten Teilbewegungen ausgeführt wurden, wohingegen die Vpn Aufgaben mit einem niedrigen Schwierigkeitsindex über eine kontinuierliche Oszillationsbewegung realisierten (vgl. dazu auch Kelso, 1995).

Ein häufig angeführter Kritikpunkt an der Formulierung des Fitts’schen Gesetzes betrifft den *Nullpunkt*. Demnach müsste ein Schwierigkeitsindex von Null theoretisch möglich sein, wohingegen sich eine motorische Aufgabe „ohne Schwierigkeit“ nicht generieren lässt. Rein mathematisch verhindert der Quotient aus der doppelten Distanz geteilt durch die Zielgröße in der Fitts’schen Formulierung einen Nullpunkt, da die Zielweite nicht um das zweifache größer sein kann als die Distanz, die von Mittelpunkt zu Mittelpunkt der Zielfelder definiert ist. Guiard und Olafsdottir (2011) umgingen das Problem der Nicht-Existenz eines Schwierigkeitsindex von Null durch die Umkehrung des Quotienten von $2 \cdot A/W$ in $W/2 \cdot A$. Die Autoren berechneten einen Quotienten der *relativen Intoleranz*, der an die Stelle des Schwierigkeitsindex rückt und welcher auch einen Wert von Null annehmen kann:

$$(10) \text{ rel. Intoleranz} = 1 - (W/A)$$

Der Wertebereich dieser relativen Intoleranz liegt zwischen 0 und 100 %. Dabei ist das Ziel zu 0 % intolerant, wenn $W = A$, also die Zielgröße gleich der Distanz ist. Dies bedeutet, dass das Ziel nicht verfehlt werden kann, da der Zielbereich direkt an den Startpunkt angrenzt. Je höher die relative Intoleranz, desto schwieriger ist die Aufgabe. Bei einer relativen Intoleranz von 99 % muss das Ziel mit einer hundertstel Genauigkeit im Verhältnis zur Distanz getroffen werden. Dafür ist durch diese Umkehrung eine 100 %-ige Intoleranz nicht möglich.

Darüber hinaus analysierten die Autoren erstmals die Daten des Original Tipp-Experiments (Fitts, 1954, Experiment 1) hinsichtlich der Anzahl der auftretenden Bewegungsfehler. Sie fanden einen negativ beschleunigten Anstieg der Bewegungsfehler bei steigendem Schwierigkeitsindex. Begründet wurde dieser *exponentielle Anstieg*⁷ mit Limitationen des Bewegungsapparates (insbesondere mit der maximalen Geschwindigkeit und Genauigkeit des Armes), die anscheinend einen exponentiellen Anstieg der Energiekosten mit

⁷ Die Studie von Guiard und Olafsdottir (2011) gibt erste Hinweise darauf, dass sich die Bewegungsfehler nicht über ein lineares, sondern ein exponentielles Anpassungsmodell approximieren lassen.

steigender Geschwindigkeit verursachten (vgl. Guiard & Olafsdottir, 2011).

Eine neurophysiologische Erklärung für den Geschwindigkeits-Genauigkeitsausgleich fanden Beamish, Bhatti, MacKenzie und Wu (2006), indem sie eine motorische Verzögerung des Effektors generierten, d.h. dass die Rückmeldung über die Bewegung des Effektors mit einem spezifischen zeitlichen Abstand einherging. Von der Grundannahme ausgehend, dass eine motorische Aufgabe einen sensorisch-motorischen Kanal durchläuft (siehe auch Kapitel 2.1, Informationsverarbeitungstheorien), welcher in seiner Kapazität begrenzt ist, führten sie ein verzögertes Feedback des Effektors ein, wodurch sie Veränderungen im Fitts'schen Gesetz quantitativ messen wollten. Limitationen des motorischen Systems ließen sich danach über ein Modell zur „vektorbasierten Integration des Endpunktes einer Bewegung“ (kurz: VITE; *Abbildung 7*) erklären:

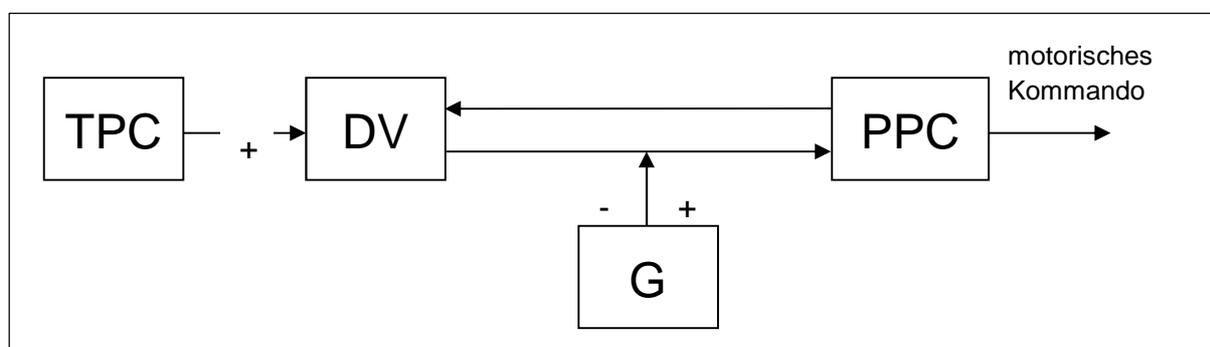


Abbildung 7: Modell der vektorbasierten Integration des Endpunktes einer Bewegung (VITE). Das Zielpositionskommando (Target Position Command; TPC) gibt Auskunft über das intendierte Ziel der Bewegung. Über einen Differenzvektor (DV) wird die aktuelle Position des zu bewegendes Effektors ins Verhältnis zur Zielposition gesetzt. Vor dem eigentlichen motorischen Kommando findet eine Rückkopplung des derzeitigen Positionskommandos (Present Position Command; PPC) statt. Über ein Verstärkungssignal (Gain Signal; G) wird während des Rückkopplungsprozesses unter anderem die Bewegungsgeschwindigkeit reguliert.

In einer ersten Phase wird ein Kommando (TPC; *Target Position Command*) über die intendierte Zielposition an das motorische System gesandt, in dem die spezifischen Raumkoordinaten enthalten sind. Der Differenzvektor (DV) spiegelt den Unterschied des momentanen Ist-Zustandes im Vergleich zum Soll-Zustand wider. Bevor ein motorisches Signal an die ausführende Muskulatur gesandt wird, findet eine Rückkopplung mit dem derzeitigen Positionskommando (PPC; *Present Position Command*) statt. Hier wird der Ist-Zustand an den Differenzvektor zurückgemeldet, wodurch dieser aktualisiert werden kann. Die Autoren führten ein so genanntes Verstärkungssignal (G; *Gain Signal*) ein, das während des Rückkopplungsprozesses eingreift und unter anderem für die Regulierung der Bewegungsgeschwindigkeit verantwortlich ist. Indem sie die negativen und positiven Rückmeldungen zwischen DV und PPC systematisch verzögerten, fanden die Autoren, dass die Geschwindigkeit bei großen Differenzen zwischen TPC und PPC (Soll-Ist-Vergleich) höher war und bei einer Annäherung von PPC an TPC systematisch sank. Regressionsanalysen ihres Modells er-

möglichten sehr präzise Vorhersagen der Bewegungszeit in Abhängigkeit der Aufgabenschwierigkeit. Welche physiologischen Ursachen diese Verstärkung bzw. Hemmung hat, konnte dieses Modell jedoch nicht klären.

Da die weiter unten aufgeführte Experimentalreihe 2 (Experimente 4-6) eine „Wurfaufgabe“ beinhaltete, werden hier zwei Experimente (Kerr & Langolf, 1977 und Etnyre, 1998) näher vorgestellt, die eine strukturähnliche Ober- und Unterarmbewegung (ähnlich einem Dartwurf) analysierten. Vpn sollten mittels eines Stiftes verschiedengroße Ziele aus unterschiedlichen Distanzen treffen. Der Unterschied zur Fitts'schen Tipp-Aufgabe war, dass sie dies in der Sagittalebene ausführen sollten, d.h. vor dem Körper in vertikaler Richtung (wie bei einem Dartwurf). Durch 16 randomisierte Bedingungen konnte weitere Evidenz für die erwartete lineare Abhängigkeit von SI und BZ auch in der Sagittalebene gegeben werden.

In einer ähnlichen Studie zum Darts (Etnyre, 1998) wurden die Vpn instruiert, den Schwerpunkt ihrer Aufmerksamkeit beim Dartwurf entweder auf die Geschwindigkeit oder auf die Genauigkeit zu legen. Dazu wurden fünf Stufen unterschiedlicher Geschwindigkeits-Genauigkeitsgewichtungen eingesetzt. Außerdem wurde überprüft, ob das Fitts'sche Gesetz auch unter maximalen Kraftbeanspruchungen standhält. Dazu wurden die Vpn in drei Expertisegruppen (Experten, Fortgeschrittene und Anfänger) eingeteilt, die zu Beginn 15 Dartwürfe mit einer normalen Wurfgeschwindigkeit und anschließend 15 möglichst kräftige Dartwürfe ausführten. Als abhängige Variable wurde die relative Streuung um den Scheibenmittelpunkt gemessen. Wie erwartet zeigten sich die geringsten Streuungsraten (d.h. Abweichungen vom Zielfeld) in der Expertengruppe und die größten Streuungen um das Ziel in der Anfängergruppe. Für alle drei Expertisegruppen ergaben sich außerdem größere Streuungen in den Bedingungen, in denen mit maximaler Kraft geworfen werden sollte. Trotzdem blieb der lineare Zusammenhang von Geschwindigkeit und Genauigkeit bei dieser dartsportähnlichen Aufgabe stabil.

Für eine Definition der Bewegungsfehler lässt sich die Studie von Juras, Slomka und Latash (2009) heranziehen. In ihren Experimenten sollten Vpn aus einer spezifischen Distanz von einer Kraftmessplatte aus auf eine Zielfläche springen. Dabei erfolgten Absprung und Landung mit geschlossenen Füßen (d.h. als Schlusssprung). Vorab wurde die maximale Sprungweite der Vpn ermittelt. Analog zu Fitts (1954) generierte die Gruppe verschiedene Aufgabenschwierigkeiten (SI's) aus der Kombination von Zielgröße und Distanz zwischen einer Kraftmessplatte (Absprung) und einem Zielbereich (Landung). Die Vpn erhielten nach jedem Sprung eine Rückmeldung darüber, ob der Sprung gültig oder ungültig war (mittels eines akustischen Signals, welches ertönte, wenn die Elektroden unter den Füßen nicht den Zielbereich berührten). Bei mehr als drei Fehlversuchen (Verpassen der Zielfläche) wurde der Durchgang von insgesamt 15 Sprüngen wiederholt. Dies diente dazu, den Präzisionsdruck relativ hoch zu halten und ein „Ausprobieren“ der Vpn zu verhindern. Es zeigte sich,

dass die benötigte Zeit für einen Sprung, von der ersten Gewichtsveränderung auf der Kraftmessplatte bis zum Aufsetzen der Elektroden im Zielbereich, ausschließlich abhängig von der Distanz und nicht von der Breite der Zielfläche war. Betrachtete man jedoch die Zeit von der ersten Änderung im Gewicht bis hin zum Abheben der Füße, ergaben sich Effekte für die Distanz und auch die Größe der Zielfläche. Da es sich um eine ballistische Bewegung handelte, die nach der einmaligen Initiierung nicht mehr korrigiert werden konnte, schlossen die Autoren, dass anscheinend nur die Planung der Ausführung von der Zielgenauigkeit abhing. Ihrer Interpretation nach führte ein kleines Zielfeld zu einer Art „Angst-es-zu-verfehlen“, was sich in reduzierten Bewegungsgeschwindigkeiten widerspiegelte. Die Reaktionszeiten waren dabei vom Startsignal bis zur initialen Bewegung des Effektors bei langen Bewegungen unabhängig von dem Parameter „Zielgröße“. Dies bestätigten auch Kornhuber (1971, auf ein akustisches Signal) und Klapp (1975, auf einen Lichtreiz).

Boyle und Shea (2011) prüften, ob sich der SI einer Aufgabe auch auf die Verweildauer (d.h. die Zeit zwischen der Beendigung einer (Teil-)Bewegung bis zur Initiierung der nächsten (Teil-)Bewegung) auswirkt. Den Autoren zufolge laufen während dieser Verweildauer die meisten kognitiven Planungsprozesse ab. Vpn manipulierten dazu einen Punkt auf einem Bildschirm mit Hilfe eines Stiftes. Auf dem Bildschirm sahen die Vpn zwei waagerechte Zielbereiche, die in ihrer Höhe und in ihrer Distanz zueinander variieren konnten. Die Aufgabe war es, den Punkt möglichst schnell und genau zwischen den Zielbereichen hin- und her oszillieren zu lassen. Es fanden sich Effekte für die Faktoren Armbewegung, Handgelenksbewegung und Verweildauer. Die Gesamtbewegungszeit war demnach von diesen drei Faktoren abhängig. Die Verweildauer korrelierte positiv mit dem SI, woraus sich schließen ließ, dass auch die Nach- und Vorbereitungszeit bei Annäherungsbewegungen an ein Ziel in Beziehung zum Fitts'schen Gesetz stand. Als eine mögliche Erklärung boten die Autoren die Erforderlichkeit zusätzlicher Zeit, die Vpn verwendeten, um das Treffen des Zielbereiches bei kleineren Zielen zu kontrollieren. Andererseits könnten die erhöhten Schwierigkeiten, wie bereits Fitts und Peterson (1964) vorschlugen, zu längeren „Programmierungszeiten“, d.h. zum Abrufen, Verarbeiten und Ausführen der Bewegung führen.

Grosjean, Shiffrar und Knoblich (2007) zeigten, dass das Fitts'sche Gesetz nicht nur dann gültig ist, wenn Bewegungen ausgeführt, sondern auch wenn fremde Bewegungen beobachtet werden. Dazu präsentierten sie ihren Vpn farbige Bilderpaare auf denen der Arm und der Rumpf einer Person (*Abbildung 8*, oben) bzw. eines Roboters (*Abbildung 8*, unten) und zwei Zielfelder dargestellt waren. Es wurden verschiedene Kombinationen aus Bewegungsamplitude zwischen den Zielfeldern und der Größe der Zielfelder generiert, die auf Basis des Fitts'schen Gesetzes verschiedene Schwierigkeitsindizes (2, 3 und 4 Einheiten/Sekunde) ergaben. Dabei wurde durch neun Versuchsbedingungen jeder Schwierigkeitsindex dreimal abgebildet:

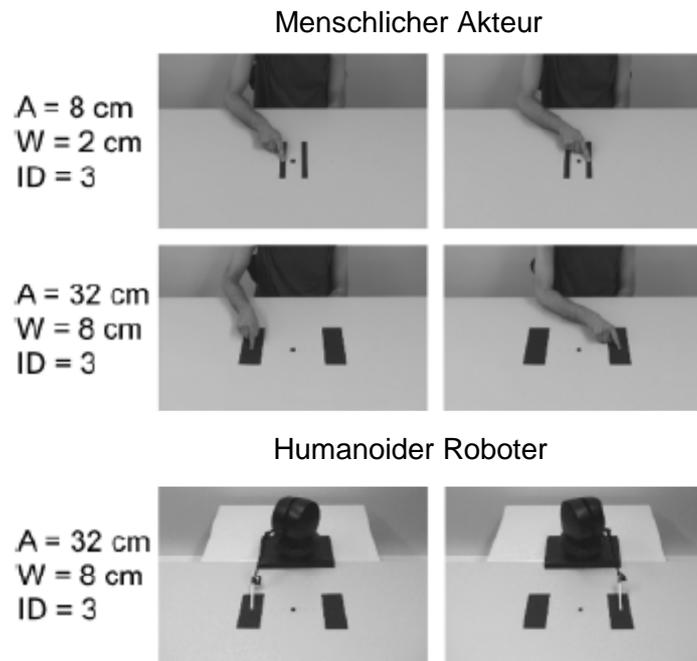


Abbildung 8: Stimuli aus Grosjean et al. (2007). Die Bewegung konnte von einem menschlichen Akteur ausgeführt werden (oben, Experiment 1) oder von einem Roboter (unten, Experiment 2). Dabei wurden jeweils zwei Stimulibilder mit unterschiedlichen Kombinationen aus Bewegungsamplitude und Größe des Zielfeldes präsentiert. Durch die aufeinanderfolgende Präsentation der Bilder resultierte eine s.g. „Scheinbewegung“. Die Stimuli Bilder waren im Original farbig.

Die Vpn beobachteten den menschlichen Akteur (Experiment 1) oder den humanoiden Roboter (Experiment 2), der seine Hand zwischen den beiden Zielfeldern hin-und-her bewegte. Durch die aufeinanderfolgende Präsentation zweier Bilder entstand eine s.g. „Scheinbewegung“ der Hände. Die Aufgabe der Vpn war es (mittels zweier Antworttasten) zu entscheiden, ob es bei der gesehenen Bewegung für den Akteur oder den Roboter möglich ist diese Bewegung auszuführen ohne die Zielfelder zu verfehlen. Die Vpn wurden dabei instruiert ihre eigenen Hände auf den Antworttasten liegen zu lassen, damit sie die Bewegungen des menschlichen Akteurs oder des humanoiden Roboters nicht gleichzeitig mitvollziehen konnten. Die Zeitspanne zwischen den beiden Stimuli Bildern wurde mittels 16 verschiedener Stimulus-Onset-Asynchronitäten⁸ (SOA's) zwischen 120 und 720 ms (in 40 ms Abständen) systematisch variiert. Die Vpn mussten einschätzen, ob eine die jeweilige Zeitspanne ausreichen würde, die Zielbewegung erfolgreich zu absolvieren. Es zeigte sich für die Einschätzung der menschlichen Bewegung, dass die Probanden mit zunehmender Aufgabenschwierigkeit (als Kombination von Zielgröße und Bewegungsamplitude) eine längere Bewegungszeit voraussetzten. Dies äußerte sich in einem linearen Zusammenhang mit hoher Varianzaufklärung ($R^2 = .96$) von realistischem Stimulus-Onset und dem Schwierigkeits-

⁸ Als Stimulus-Onset-Asynchronität (SOA's) wird die Zeitspanne zwischen zwei aufeinander folgenden Ereignissen bezeichnet. Bei einem SOA von Null treten beide Ereignisse gleichzeitig auf. Je größer das SOA, desto größer ist die Verschiebung (oder Asynchronität) der Ereignisse.

index. Auch im zweiten Experiment schätzen die Vpn die Bewegungen des Roboters im Sinne des Fitts'schen Gesetzes ein, sodass die SOA's mit dem SI korrelieren. Das heißt, dass von den Vpn bei höheren SI's ein größeres SOA als realistisch eingeschätzt wird und umgekehrt. Das Fitts'sche Gesetz behält demnach seine Gültigkeit auch bei wahrgenommenen Handlungen (Grosjean et al., 2007).

Zusammenfassend ist in diesem Kapitel „Handlungen aus Sicht der Informationsverarbeitung“ festzuhalten, dass der Mensch in seiner Fähigkeit Handlungen sowohl schnell als auch präzise auszuführen limitiert ist (vgl. Woodworth, 1899; Fitts, 1954, 1992; Fitts & Peterson, 1964; Fitts & Posner, 1968). Spezifische Modifikationen machen das Fitts'sche Gesetz flexibler für unterschiedliche Rahmenbedingungen (für einen Überblick siehe Plamondon & Alimi, 1997). Das Fitts'sche Gesetz behält dabei seine Gültigkeit nicht nur für direkt ausgeführte, sondern auch für wahrgenommene Handlungen (Grosjean et al., 2007). Dies stärkt die Annahme, dass Handlungsausführung, Handlungswahrnehmung und der motorischen Vorstellung ähnliche Prozessen zugrunde liegen. Das Fitts'sche Gesetz scheint demnach nicht nur körperinterne motorische Limitationen zu beschreiben, sondern eher als kognitiver Prozess zu verstehen sein, welcher sich durch den rein *sensomotorischen Ansatz* (vgl. Donders, 1869; Sternberg, 1969; und später Sanders, 1980) – ohne die gemeinsame Repräsentation von Wahrnehmung und Handlung – nicht erklären lässt.

3 Handlungen im Kontext von Partnerinteraktionen

Bislang wurde der Prozess der Informationsverarbeitung als sukzessive Aufeinanderfolge einzelner Verarbeitungsschritte in eine Richtung vom eingehenden bis zum ausgehenden Signal (Donders, 1869; Sternberg, 1969; Fitts, 1954) verstanden. Dieser s.g. *sensorische* Ansatz geht bis auf Descartes (1664) zurück, der den Menschen (und Tiere) mit einer Maschine verglich. Seiner Auffassung nach kommunizieren Nervenstränge über Druck und Zug mit dem Gehirn. Descartes ging von der Überlegung aus, dass Handlungen eine Fortsetzung der Wahrnehmung mit anderen Mitteln sind (vgl. Hommel & Nattkemper, 2011). Dabei interagierten Leib und Seele⁹ nicht miteinander, sondern funktionierten über zwei parallel ablaufende Prozesse. Afferente Prozesse, durch die Informationen, die an den Sinnesorganen erzeugt werden, an das „Zentralorgan“ (Zentrale Nervensystem; ZNS) weitergeleitet werden und efferente Prozesse, durch die Bewegungskommandos vom Zentralorgan in die Muskulatur der Körperperipherie geleitet werden. Zentrale Prozesse (im Zentralorgan) verarbeiten die eingehenden Signale zu ausgehenden Signalen (vgl. Hommel & Nattkemper, 2011, S. 3). Das Problem dieser parallelen Verarbeitung sieht Prinz (1997) in der *Kommensurabilität von Wahrnehmung und Handlung*, also der fehlenden Interaktion von Leib und Seele in Descartes' Ansatz und allen darauf aufbauenden Ansätzen.

3.1 Wahrnehmungs-Handlungskopplung

Nach Prinz (1997) existiert eine gemeinsame Ebene der Repräsentation sensorischer und motorischer Inhalte auf der eingehende (afferente) und ausgehende (efferente) Signale kommensurabel (i.S.v. vergleichbar) kodiert werden und dadurch miteinander kommunizieren können (*Abbildung 9*). Im unteren Bereich der Abbildung (durchgezogene Pfeile) sind die Ereignisse (*events*) und Stimulationsmuster (*stimulation patterns*) auf der Wahrnehmungsseite und die Antwort (*response*) und die Ansteuerungsmuster (*excitation pattern*) auf der Handlungsseite noch separat kodiert. Auf einer gemeinsamen Repräsentationsebene (gestrichelte Pfeile) sind sensorische und motorische Informationen gemeinsam kodiert (*Common-Coding-Annahme*, Prinz, 1990, 1997). Die Fähigkeit zur internen Simulation von Handlungen wird nach dem Ansatz der gemeinsamen Kodierung darauf zurückgeführt, dass wahrgenommene und geplante Handlungen auf eine gemeinsame Repräsentationsebene zurückgreifen können (Meltzoff & Prinz, 2002).

⁹ Heute würden wir die Begriffe „Leib“ und „Seele“ wahrscheinlich eher mit „Körper“ und „Kognition/Bewusstsein“ benennen.

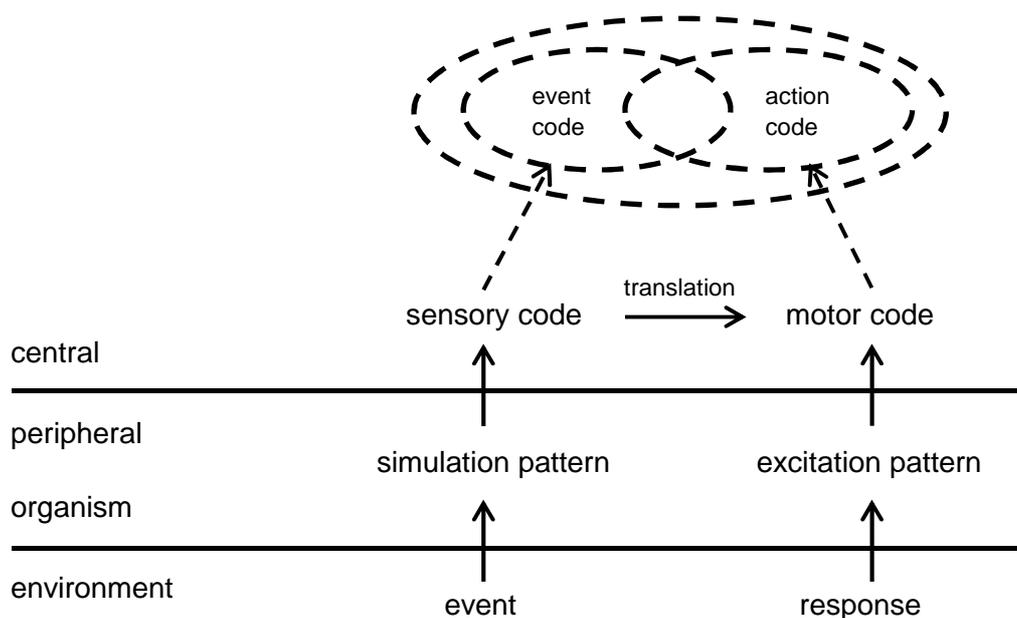


Abbildung 9: Vereinfachte Darstellung der Kopplung von Wahrnehmung und Handlung (aus Prinz, 1997). Im unteren Bereich (durchgezogene Pfeile) sind die Ereignisse (*events*) und Stimulationsmuster (*stimulation patterns*) auf der Wahrnehmungsseite und die Antwort (*response*) und die Ansteuerungsmuster (*excitation pattern*) auf der Handlungsseite noch separat kodiert. Auf einer gemeinsamen Repräsentationsebene (gestrichelte Pfeile) sind sensorische und motorische Informationen gemeinsam codiert.

Die neuronale Entsprechung für eine gemeinsame Repräsentation von Wahrnehmung und Handlung fanden Rizzolatti, Craighero und Fadiga (2002) während sie Experimente an Primaten durchführten. Die Autoren konnten zeigen, dass das Beobachten von Handlungen eines anderen Individuums (hier eines Primaten), die gleichen neuronalen Areale aktiviert, die für die motorische Ausführung der gleichen Handlung zuständig sind. Es fanden sich dabei spezifische Nervenzellen (s.g. Spiegelneurone), die es ermöglichen das Ziel einer (fremden) Handlung zu simulieren. Iacoboni (2005) übertrug diese Befunde auf den Menschen, indem er zeigte, dass die Hirnregionen in denen die Spiegelneurone, die für Fähigkeiten mentale Simulationen, d.h. eine Handlung vor dem inneren Auge ablaufen lassen zu können, und Imitationen verantwortlich gemacht werden, denjenigen Regionen bei den Primaten entspricht.

In weiteren neurowissenschaftlichen Studien konnte gezeigt werden, dass während der Wahrnehmung einer Bewegung die gleichen neuronalen Mechanismen im Betrachter aktiv werden, die für die eigene Planung und Ausführung eben dieser Handlung zuständig sind (Calvo-Merino, Glaser, Grèzes, Passingham, & Haggard, 2005). Dabei werden Handlungen über ihre distalen Effekte, die sie als Ereignisse in der Umwelt produzieren, repräsentiert (siehe auch *theory of event coding; TEC*; Hommel et al., 2001). Führt eine Handlung regelmäßig zu einem (zuverlässigen) Effekt, dann werden Handlungen miteinander verbun-

den (assoziatives Lernen; siehe *Abbildung 10*). Das 2-Stufenmodell der „emergenten¹⁰“ Handlungskontrolle von Elsner und Hommel (2001) beschreibt auf der ersten Stufe, dass das motorische System einen spezifischen Effekt in der Umwelt produziert. Dieser Effekt wird über kognitive Codes, die diesen Effekt repräsentieren, im kognitiven System integriert. Führen motorische Handlungen zuverlässig zu den gleichen Effekten, werden diese motorischen Handlungen durch assoziatives Lernen direkt mit den erwarteten Effekten und damit mit den kognitiven Codes, die diesen Effekt repräsentieren verknüpft (Stufe 2). Dadurch ruft ein beobachteter Effekt (z.B. ein bestimmtes Ereignis in der Umwelt) die Handlung, welche dieses Ereignis regelmäßig herbeiführt, auf den Plan (*via common-coding*). Diese Aktivierung ist umso stärker, je größer die Übereinstimmung der gemeinsamen Merkmale ist.

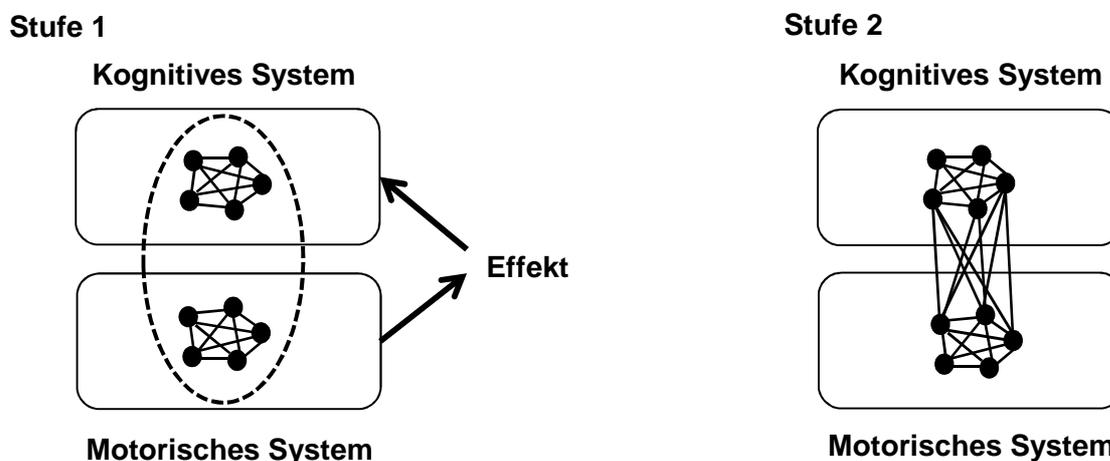


Abbildung 10: Das 2-Stufenmodell der emergenten Handlungskontrolle von Elsner und Hommel (2001): Auf der ersten Stufe (links) produziert das motorische System einen spezifischen Effekt, welcher über kognitive Codes, die diesen Effekt im kognitiven System darstellen, repräsentiert wird. Durch assoziatives Lernen, werden motorische Handlungen direkt mit den erwarteten Effekten und damit mit den kognitiven Codes, die diesen Effekt repräsentieren verknüpft (Stufe 2, rechts).

Mit der Common-Coding-Annahme können insbesondere zwei Phänomene erklärt werden (*Abbildung 11*): Zum einen wird das eigene motorische System beim Beobachten fremder Handlungen aktiviert (*motorische Resonanz*). Andererseits wird das Betrachten fremder Handlungen von der eigenen motorischen Erfahrung beeinflusst (*perzeptuelle Resonanz*, vgl. Schütz-Bosbach & Prinz, 2007).

¹⁰ Als Emergenz bezeichnet man die Entstehung von übergeordneten Mustern und Phänomenen, die sich nicht unmittelbar auf die einzelnen Unterelemente zurückführen lassen.

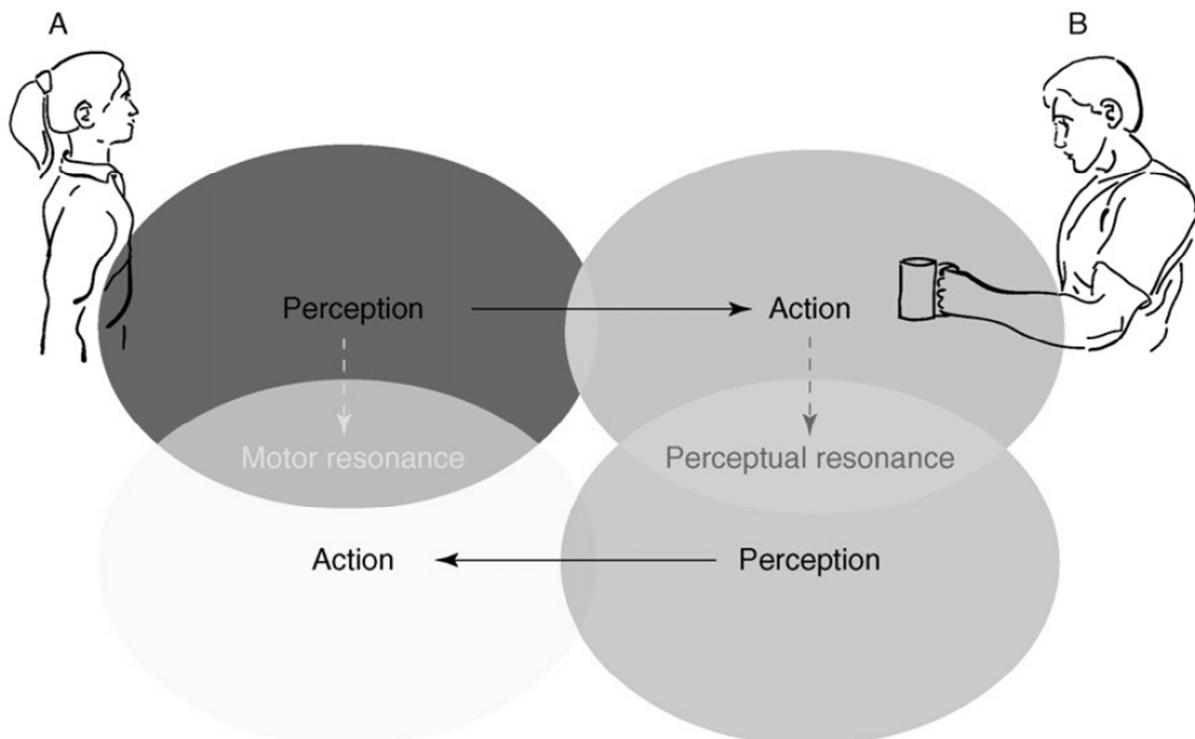


Abbildung 11: Motorische und perzeptuelle Resonanz (aus Schütz-Bosbach & Prinz, 2007). Es existiert eine direkte Verbindung zwischen Handlung und Wahrnehmung. Beobachtete Handlungen aktivieren korrespondierende motorische Repräsentationen im Beobachter (motorische Resonanz; Person A, welche die Handlung von Person B wahrnimmt). Auf der anderen Seite bahnt die Ausführung einer Handlung die Wahrnehmung einer entsprechenden Handlung vor (perzeptuelle Resonanz; Person B, ist sensitiver für die gleiche Handlung der Person A).

Moderne Theorien nehmen an, dass eine direkte Verbindung zwischen Handlung und Wahrnehmung existiert (z.B. Elsner & Hommel, 2004; Hommel et al., 2001; Prinz, 1997; Wilson & Knoblich, 2005). Dabei aktivieren beobachtete Handlungen korrespondierende motorische Repräsentationen im Beobachter (*motorische Resonanz*; Person A, welche die Handlung von Person B wahrnimmt). Auf der anderen Seite bahnt die Ausführung einer Handlung die Wahrnehmung einer entsprechenden Handlung vor (*perzeptuelle Resonanz*; Person B, die sensitiver für die gleiche Handlung der Person A ist).

3.1.1 Effekte perzeptueller Resonanz

Empirische Studien zur *perzeptuellen Resonanz* beim Bewegungsbeobachten konnten zeigen, dass das eigene Bewegungsrepertoire von Experten, das Wahrnehmen fremder Handlungen beeinflusst (Casile & Giese, 2006). In einer Trainingsstudie lernten Vpn mit verbundenen Augen und mit Hilfe von verbalem und haptischem Feedback eine vom normalen Gangmuster abweichende Oberkörperbewegung. Trotz fehlender visueller Reize während der Trainingsphase erkannten die Vpn eine Phasenverschiebung (von Oberkörper- zu Beinbewegungen) an Point-Light-Figuren besser, wenn es sich um das selbst erlernte motorische

Bewegungsmuster handelte. Diese Ergebnisse belegen, dass die motorische Expertise einen direkten Einfluss auf die visuelle Wahrnehmung hat (vgl. Blakemore, & Decety, 2001).

Blandin, Lhuisset und Proteau (1999) zeigten, dass die Qualität der (beobachteten) Bewegung eine Rolle für die Wahrnehmung spielt. Dazu erlernte eine Gruppe von Probanden eine spezifische Schrittfolge (links, rechts und vorwärts Bewegungen) mit Hilfe eines Expertenvorbildes, welches die Schrittfolgen vormachte und instruierte. Das Training bestand sowohl aus eigenem physischen Training und der Beobachtung des Expertenvorbildes. Eine andere Gruppe von Probanden wurde zum Erlernen der gleichen Schrittfolgen von einem Laien unterrichtet. Obwohl beide Gruppen die gleiche Zeit für das Training investierten, ergaben sich Unterschiede in der Qualität der späteren Ausführung. Die Expertenbeobachter konnten im Nachhinein die Bewegung signifikant besser (schneller und mit weniger Schrittfehlern) selber ausführen als die Gruppe, die den Laien bei seiner Bewegung beobachtet hatte.

Grafton und Cross (2008) bestätigten diesen Effekt in einer länger angesetzten (fünftägigen) fMRI-Studie, in der eine Gruppe von Tanznovizen und eine Expertengruppe als passive Beobachter verschiedener Tanzsequenzen wirkten. Der Expertengruppe half die Beobachtung der Tanzsequenzen für die eigene Technik mehr als der Anfängergruppe, so dass diese eine längere Abfolge von Sequenzen zuverlässig reproduzieren konnte. Die Autoren schlossen daraus, dass das Beobachten von spezifischen Bewegungen bei Experten stärkere neuronale Aktivität hervorruft. Diese erhöhte perzeptuelle Resonanz wurde durch die bessere Passung des Beobachteten bei den Experten begründet.

Weitere Evidenz für perzeptuelle Resonanzeffekte gaben Aglioti und Kollegen (Aglioti, Cesari, Romani, & Urgesi, 2008), indem sie drei Versuchspersonengruppen: (1) professionelle Basketballspieler, (2) Basketballkenner (Journalisten und Trainer, die seit über 17 Jahren mehr als 8 Stunden Basketball pro Woche beobachten) und (3) Basketball-Laien (Studenten, die nie Basketball gespielt haben und selten Basketball beobachten) Videos eines Basketballfreiwurfs zeigten. Aufgabe der drei Gruppen war es einzuschätzen, ob ein beobachteter Freiwurf trifft oder nicht (Treffer „ja/nein“). Außerdem konnten die Vpn antworten, dass sie es nicht sicher wüssten („Unsicher“). Die Autoren manipulierten die Länge der Videos dahingehend, dass den Vpn sukzessive mehr Informationen über den Wurf (und die Bewegungstrajektorie des Balles) zur Verfügung stand. In 71 ms Schritten näherten sich die Wurf- und Ballbewegungen dem Korb an. Zum einen zeigte sich, dass mit zunehmender Länge der Videos die Unsicherheit über das Resultat des Wurfes abnahm. Dies galt sowohl für die Basketballspieler, die Basketballkenner und die Basketball-Laien. Die professionellen Basketballspieler waren sich jedoch eher sicher, d.h. entschieden sich für eine Antwort (Treffer „ja“ oder „nein“) als die Basketball-Kenner und diese eher als die Basketball-Laien. Das gleiche Muster ergab sich für die Qualität der Bewertung (in Form von korrekten „ja-nein“-

Entscheidungen), sodass professionelle Basketballer den gesehenen Freiwurf früher richtig einschätzten als die Kenner und diese besser als die Laien. Zum einen verbesserte die eigene Bewegungserfahrung die Wahrnehmung und Vorhersage sportartspezifischer Bewegungen und zum anderen wirkte sich auch die reine Beobachtung (hier die Journalisten und Trainer) von Basketballsituationen auf die Wahrnehmung von ähnlichen Situationen aus (vgl. Aglioti et al. 2008).

Steggemann und Weigelt (2011) gingen der Frage nach, ob sich (motorische) Erfahrungen im Sport auf die Erkennung von Handlungen auswirken. Dafür testeten sie sowohl Probanden mit Erfahrungen im Turnen als auch ohne Erfahrungen. Ihre Aufgabe war es in einem Computerexperiment schnellstmöglich zu entscheiden, ob eine mehr oder weniger rotierte Person (Abstufungen von jeweils 45°) entweder den rechten oder linken Arm ausstreckt. Die Analyse der Reaktionszeiten ergab, dass Probanden generell länger für die Entscheidung benötigten, je weiter die dargestellte Person rotiert war. Ein Vorteil für Experten in der Entscheidungsleistung ergab sich jedoch erst bei Winkelorientierungen über 135°. Den Autoren nach profitieren sie erst von ihrer Bewegungserfahrung, wenn die dargestellte Person in ungewöhnlichen, nicht-alltäglichen Körperorientierungen gezeigt wird (vgl. Steggemann & Weigelt, 2011). Somit wirkt sich die motorische Erfahrung unmittelbar auf die Wahrnehmung der rotierten Person aus.

3.1.2 Effekte motorischer Resonanz

Die Aktivierung eigener Handlungsrepräsentationen beim Beobachten fremder Handlungen (*motorische Resonanzeffekte*) konnte in einer Reihe von Studien sowohl mit statischem als auch mit dynamischem Bildmaterial gezeigt werden: Brass, Bekkering und Prinz (2001) wiesen bei der Wahrnehmung einfacher dynamischer Fingerbewegungen nach, dass Reaktionen deutlich schneller erfolgten, wenn eine wahrgenommene Fingerbewegung (heben oder tippen) mit der Reaktion überstimmte, d.h. der Stimulus und die auszuführende Bewegung kompatibel waren. Dabei fanden sich beschleunigte Reaktionszeiten, wenn die Vpn mit einem aufgabenirrelevanten, aber kompatiblen Reiz konfrontiert wurden. Umgekehrt traten verlangsamte Reaktionszeiten ein, wenn der relevante und der irrelevante Reiz inkongruent waren. Um auszuschließen, dass sich dieser „Kompatibilitätseffekt“ alleine auf die ideomotorische Ähnlichkeit der Bewegungen zurückführen lässt, wurde in einem zweiten Experiment die Reaktion über ein farbiges Objekt hervorgerufen. Auch dabei fanden sich (leicht abgeschwächte) Kompatibilitätseffekte. Aufgrund weiterer Kritik an den Experimenten der Gruppe um Brass, nämlich, dass bei den erforderlichen Reaktionen auf die Stimulus gegebenenfalls homologe Muskelgruppen aktivieren, wurden die visuellen Stimuli in der Hälfte der Fälle um 180° gespiegelt, während die Vpn weiterhin auf die Bewegung der Finger rea-

gieren sollten. Es zeigten sich zum einen räumliche Kompatibilitätseffekte, wenn die Fingerbewegungen in die gleiche Richtung gingen und zum anderen ideomotorische Kompatibilitätseffekte, wenn die eigene und beobachtete Bewegung die Aktivierung gleicher Muskelgruppen erforderlich machte (vgl. Brass et al., 2001).

Ideomotorische Kompatibilitätseffekte werden mit s.g. „Bahnungseffekten“ erklärt, bei denen Muskelgruppen voraktiviert bzw. gehemmt werden, wenn ein ähnlicher bzw. unähnlicher Reiz betrachtet wird. Neben einfachen Fingerbewegungen fanden sich solche Bahnungseffekte auch bei komplexeren Bewegungen (Bach & Tipper, 2006): Vpn sollten dazu in einem Computerexperiment zwei verschiedene Personen (George vs. John) mittels Finger- und Fußdruck identifizieren. Dabei führte die dargestellte Person entweder eine Tippbewegung mit den Händen auf einer Computer-Tastatur oder eine Schussbewegung mit dem Fuß durch. In Experiment 1 präsentierten die Autoren die Handlungen zunächst per Video. Es ergaben sich effektorspezifische Bahnungseffekte, so dass die Probanden die Personen in den Videos schneller identifizierten, wenn das Körperteil, mit dem die Reaktion ausgeführt werden sollte, mit dem ausführenden Körperteil auf dem Video kompatibel war. Die Präsentation von statischen Bildern im gleichen Handlungskontext (Hand vs. Fuß), jedoch ohne Bewegungsausführung in Experiment 2, führte dagegen nicht zur effektorspezifischen Vorbahnung (vgl. auch Gillmeister et al., 2008; für effektorspezifische Bahnungsprozesse bei statischem Bildmaterial).

Klein-Soetebier und Kollegen (2011) konnten nachweisen, dass der Kontext in dem eine beobachtete Person handelt *inzidentell* mitverarbeitet wird, auch wenn dieser irrelevant für die Lösung der Aufgabe ist. Vpn sollten dazu in einem Computerexperiment mit der Hand oder dem Fuß auf die Rahmenfarbe (rot oder blau) eines dargebotenen Stimulus reagieren. Die Stimulibilder zeigten dabei Basketball- oder Fußballexperten, die eine jeweilige sportartspezifische Handlung ausführten. Interessanterweise reagierten Vpn schneller auf die Rahmenfarbe, wenn das Körperteil, mit dem die Reaktion ausgeführt werden sollte (Hand vs. Fuß), mit der gezeigten Sportart (Basketball vs. Fußball) übereinstimmte, d.h. die Reaktionszeiten mit der Hand auf Basketballstimuli und mit dem Fuß auf Fußballstimuli (kongruent) waren kürzer als mit der Hand auf Fußball- und dem Fuß auf Basketballstimuli (inkongruent). Außerdem machten sie weniger Fehler in den kongruenten als in den inkongruenten Versuchen. Demnach fand eine effektorspezifische Mitaktivierung des Handlungskontextes statt, obwohl der Akteur bzw. die Handlung selbst irrelevant für die Bearbeitung der Aufgabe war.

Weitere, behaviorale Befunde lieferten Kilner, Paulignan und Blakemore (2003), indem sie Vpn eine (Pendel-)Bewegung mit dem Arm in vertikaler oder horizontaler Richtung ausführen ließen. Dabei sollten sie einen circa zwei Meter entfernt positionierten Ko-Akteur beobachten, der entweder eine kongruente (horizontal/horizontal oder vertikal/vertikal) oder eine inkongruente (horizontal/vertikal oder vertikal/horizontal) Bewegung zu der eigenen aus-

führte. Der Part des Ko-Akteurs konnte entweder von einer menschlichen Person oder einem humanoiden Roboter übernommen werden. Als abhängige Variable wurde die Varianz in der Bewegung über videobasierte Analyseverfahren gemessen. Die Ergebnisse belegten, dass sich die Vpn von der Beobachtung einer für sie irrelevanten Handlung beeinflussen ließen. Die Varianzen in der Bewegung stiegen bei der Beobachtung einer inkongruenten Bewegung des menschlichen Ko-Akteurs an. In der kongruenten Bedingung war dies nicht der Fall. Interessanterweise wurde dieser Kongruenzeffekt bei der Beobachtung des humanoiden Roboters nicht wirksam. Diese Befunde legen nahe, dass die Interferenzen nicht auf erhöhte Aufmerksamkeitsanforderungen oder erhöhte Aufgabenkomplexitäten zurückzuführen sind, sondern dass das menschliche Gehirn zwischen biologischen und nicht-biologischen Bewegungen unterscheidet (vgl. Kilner et al., 2003).

Zusammengefasst werden sensorische und motorische Informationen durch eine gemeinsame Repräsentationsebene von Wahrnehmung und Handlung interaktionistisch verarbeitet (Prinz, 1990, 1997; Meltzoff & Prinz, 2002). Experimente zur *motorischen* und *perzeptuellen Resonanz* sprechen dafür, dass bei der Beobachtung von Handlungen korrespondierende motorische Repräsentationen aktiviert werden und die eigene Ausführung einer Handlung die Wahrnehmung einer entsprechenden Handlung erleichtert (Schütz-Bosbach & Prinz, 2007). Erst durch diese Fähigkeit sind Menschen in der Lage Handlungen anderer Personen mit zu simulieren. Knoblich und Sebanz (2006) sprechen von gemeinsamen Handlungskodierungen zwischen Personen (*common coding between participants*). Auf diese Fähigkeit der Handlungssimulation wird im folgenden Kapitel Bezug genommen.

3.2 Handlungssimulation

Das Betrachten fremder Handlungen führt automatisch zur (Vor-)Aktivierung gleicher Bewegungsmuster beim Beobachter. Das heißt, wenn wir andere Menschen beim Handeln beobachten, werden die Bewegungen intern mit vollzogen, selbst wenn wir diese nicht selber ausführen (Jeannerod, 2001). Demnach werden spezifische Gehirnareale und korrespondierende Repräsentationen nicht nur bei der Ausführung eigener Handlungen aktiviert, sondern auch dann, wenn andere Personen die gleichen Aktionen ausführen und diese nur betrachtet werden. Für diese internen Simulationsprozesse (engl. *action simulation*) sprechen eine Vielzahl von Studien (Iacoboni, 2005).

Mit Hilfe einer computergestützten Verfolgungsaufgabe untersuchten Knoblich und Jordan (2003), ob bei gemeinsamen Antizipationsaufgaben die Partnerhandlung vorhergesagt werden kann. Hier sollten Vpn in einer Einzel- und einer Paarbedingung einen Punkt auf dem Bildschirm so beschleunigen und abbremsen, dass dieser in einem markierten Zielbereich zum Stehen kommt. Die Ergebnisse zeigten zum einen, dass Vpn die motorische Interaktionsaufgabe erlernten, nämlich die Distanz zwischen Punkt und Zielbereich im Laufe der Testreihe reduzierten. Zum anderen waren die Distanzen in den Paarbedingungen signifikant größer als in den Einzelbedingungen (*Tabelle 1*).

Tabelle 1: Ergebnisse aus Knoblich und Jordan (2003) als durchschnittliche Abweichung vom Ziel.

Bedingung	Abweichung vom Zielfeld
Einzel mit Feedback	geringe Distanz
Einzel ohne Feedback	
Gemeinsam mit Feedback	
Gemeinsam ohne Feedback	

Es fiel den Vpn also leichter, die Beschleunigung und das Bremsen selber zu steuern, als mit Hilfe eines Partners. Als zusätzlichen Faktor führten die Autoren Bedingungen mit einer Rückmeldung (s.g. *Feedback*), über den Zeitpunkt zu dem der Ko-Akteur seine Handlung initiiert ein, indem sie das Drücken einer Taste mit einem akustischen Feedback versahen. Die Abweichungen vom Zielbereich waren in Bedingungen ohne akustisches Feedback größer. Ein Feedback über das Timing des Ko-Akteurs führte zu besseren Ergebnissen (geringeren Abweichungen). Die Einzelbedingungen ohne Feedback und die Paarbedingungen mit Feedback unterschieden sich nicht, was darauf hin deutet, dass unter Zuhilfenahme von Feedback die Handlung des Ko-Akteurs simuliert und in den eigenen Handlungsplan inte-

griert werden kann (Knoblich & Jordan, 2003). Wilson und Knoblich (2005) benennen so genannte „perzeptuelle Emulatoren“, durch die Akteure in der Lage sind eigene körperinterne Mechanismen mental zu simulieren und daher die Handlungen anderer Personen in Echtzeit nachverfolgen können. Diese Emulatoren werden bei fehlenden oder mehrdeutigen (beobachteten) Informationen dazu genutzt, auf Basis des eigenen Körpermodells, die Handlungen anderer Personen zu verstehen (vgl. Wilson & Knoblich, 2005).

Die Gruppe um Hamilton (2004) präsentierte Vpn kurze Videos der Hand einer Person, die ein Objekt griff und auf eine andere Position platzierte. Die Vpn sollten anhand der Videoaufnahmen das Gewicht des Objektes schätzen, während sie selber unterschiedlich schwere Objekte ergriffen auf eine andere Position ablegten. Die Annahme war, dass sich die Vpn von dem Gewicht des selbst angehobenen Objekts beeinflussen lassen. Dies war auch der Fall. Vpn überschätzten das Gewicht des gesehenen Objekts, wenn sie selbst ein leichtes Objekt anhoben und unterschätzten das Gewicht des Objekts in dem Video, wenn sie selbst ein schweres Objekt hoben. Die Planung bzw. Ausführung einer Handlung scheint die Wahrnehmung (hier die Beurteilung des Gewichts) zu beeinflussen (vgl. Hamilton, Wolpert, & Frith, 2004).

Grèzes, Frith und Passingham (2004) bestätigten dies für größere (Ganzkörper-)Bewegungen. Sie zeigten dazu ihren Vpn Aufnahmen (in Form von Lichtpunkt Figuren) von Personen, die Kisten unterschiedlicher Gewichte (1, 6, 12, 18 kg) vom Boden auf ein Podest in einem Meter Höhe stellten. Dabei wurde der hebenden Person in 90 % der Fälle vorab das exakte Gewicht der Kiste genannt, in den übrigen 10 % wurde die Person absichtlich falsch über das Gewicht instruiert. Die Aufgabe der Vpn in der fMRI-Röhre war es nun zu entscheiden, ob die hebende Person auf der Aufnahme korrekt oder inkorrekt instruiert wurde (also ein anderes Gewicht antizipierte). Die Vpn wurden auch selbst für die Aufnahmen genutzt. Das Experiment wurde acht Monate nach Aufnahme der Bewegungssequenzen durchgeführt, um eventuelle Erinnerungseffekte an die eigene Aufnahme zu vermeiden. Mittels der fMRI Technik konnte gezeigt werden, dass der parietale prämotorische Kortex (zuständig für die Bewegungsplanung) deutlich schneller aktiv wurde, wenn die Vpn sich selbst als Lichtpunkt-Figur sahen. Die Entscheidung, ob es sich um das instruierte oder falsche Gewicht handelte, wurde bei der Beobachtung eigener Bewegungen jedoch nicht besser. Beobachteten die Vpn eine Falschinstruktion der hebenden Person wurde vor allem der rechte superior-parietale Sulcus aktiv. Dieser wird vor allem für die sensorische und motorische Koordination und die visuelle Aufmerksamkeit, aber auch für die Wahrnehmung fremder Intentionen verantwortlich gemacht. Die Autoren gingen darüber hinaus der Frage nach, wann antizipative Effekte wichtiger als bereits laufende Kontrollbewegungen werden und wie Informationen über nötige Bewegungsänderungen in Echtzeit in den Bewegungsplan integriert werden können. Interagierende Partner müssen demnach ihre Handlungen so planen

und ausführen, dass sie die Reaktionen des anderen antizipieren und adäquat darauf reagieren können. Für das gemeinsame Handeln bedeutet dies, dass nicht nur vorhergesagt werden muss *wie* der Partner auf die veränderte Situation reagiert, sondern auch *wie und wann* die eigene Bewegung initiiert werden muss, dass der Gegenüber die Situation nicht falsch interpretiert (vgl. Grèzes et al., 2004).

Diese „Gemeinsamen Handlungen“ (engl. *joint action*) finden seit einigen Jahren große Aufmerksamkeit in der Forschung (z.B. der Kognitionspsychologie). Wohingegen viele wissenschaftliche Befunde in der Vergangenheit ein Individuum als isolierte Einheit betrachteten und dessen Verhalten (z.B. auf einen Stimulus) rein stimulusbezogen interpretierten (siehe oben: *sensomotorischer Ansatz*), wird in der Joint-Action-Forschung der soziale Kontext in dem die Probanden stehen berücksichtigt.

Sebanz, Bekkering und Knoblich (2006) bezeichnen als gemeinsame Handlung jede Form der sozialen Interaktion zwischen zwei oder mehr Individuen, die ihre Handlungen aufeinander abstimmen, um eine Änderung ihrer Umgebung hervorzurufen:

„As a working definition, joint action can be regarded as any form of social interaction whereby two or more individuals coordinate their actions in space and time to bring about a change in the environment“ (Sebanz et al., 2006a, S. 70).

Als Grundvoraussetzungen für das gemeinsame Handeln werden die Fähigkeiten benötigt:

- (1) *Repräsentationen einer Handlung zu teilen (Ko-Repräsentationen),*
- (2) *die Handlungen des anderen vorherzusagen (Antizipation),*
- (3) *die vorhergesagten Effekte (der fremden und der eigenen Handlung) in das eigene Handlungsschema mit aufzunehmen (Integration).*

(vgl. Sebanz et al., 2006a, S.70)

Die Autoren erläutern diese Fähigkeiten anhand des Beispiels eines gemeinsam zu tragenden schweren Tisches. Den Handelnden bieten sich verschiedene Möglichkeiten den Tisch zu tragen: Sie können den Tisch beide mit dem Gesicht zueinander (und zum Tisch) anheben, um ihn dann mit einem sicheren Griff transportieren zu können. Dabei muss sich einer der Partner jedoch rückwärts fortbewegen. Beide Akteure könnten den Tisch auch hinter dem Rücken greifen, damit sie flexibel in jede Richtung gehen können und ihre Sicht (auf den Boden) durch den Tisch nicht eingeschränkt wird. Die Koordination der Handlung fällt allerdings dabei deutlich schwerer aus, da die Trageposition (hinter dem Rücken) ungünstig ist. (Optimales) Gemeinsames Handeln findet nach der obigen Definition erst statt, wenn eine Person den Tisch von vorne und die andere Person mit dem Rücken zum Tisch greift.

Beim Tragen *repräsentiert* der hintere Partner die Aufgabe des vorderen mit, indem er sich in ihn hineinversetzt und versteht, dass es für ihn einfacher ist, vorwärts zu laufen. Er nimmt in Kauf mehr Gleichgewichtsarbeit zu leisten. Umgekehrt *antizipiert* der vordere Partner mögliche Hindernisse auf dem Boden und weist den hinteren im Optimalfall darauf hin, da dessen Sicht durch den Tisch eingeschränkt ist. Der hintere Partner muss die Effekte der *Handlung des vorderen vorhersehen* (z.B. das Abbremsen vor einem Hindernis) und in seinen *eigenen Handlungsplan integrieren* (z.B. das eigene Tragetempo reduzieren, um ihm den Tisch nicht in den Rücken zu schieben).

Nach Knoblich, Butterfill und Sebanz (2011) lassen sich gemeinsame Handlungen in „*emergent coordination processes*“ und „*planned coordination processes*“ unterscheiden (Knoblich et al., 2011, S. 62). Einer eigenen Kategorisierung nach wird im Folgenden von *nicht-intendierter Koordination* (Kapitel 3.3), die spontan entstehen kann, und von *intendierter Koordination* (Kapitel 3.4), bei der ein konkretes Handlungsergebnis erwartet wird, gesprochen.

3.3 Nicht-intendierte Koordination

Ein alltägliches Beispiel für die nicht-intendierte Kopplung von Bewegungsphasen mehrerer Personen lässt sich beobachten, wenn Spaziergänger ihre Schritte aneinander anpassen oder ein Publikum im gleichen Rhythmus applaudiert. Knoblich et al. (2011) sehen die Ursachen für nicht-intendierte oder „emergente“ Synchronisationsprozesse (engl. *emergent coordination*) in einer natürlich-biologischen *Phasenkopplung* (Kap.3.3.1) während einer Interaktion und in dem inhärenten *Aufforderungscharakter* (Kap. 3.3.2) von Objekten. Diese beiden Ursachen werden im Folgenden näher erläutert.

3.3.1 Phasenkopplungen

Die Frage, wie diese – oft spontanen – Bewegungskopplungen, ohne explizite Aufmerksamkeit darauf zu verwenden, zustande kommen, wird von mehreren Autoren durch die Kopplung *gemeinsamer Oszillationsdynamiken* erklärt (Bernieri & Rosenthal, 1991; Haken et al., 1985, 1996; Kelso, 1990, 1992; Schmidt & Turvey, 1994). Demnach lassen sich rhythmische Bewegungen über Sinuskurven als biologischer Rhythmus erklären, welches sich in emergenten koordinativen Prozessen äußert:

“The coordination of rhythmic behaviors that emerges in such situations is dynamical- occurring through the free interplay of forces and mutual influence of components, that is, through a lawful, self-organizing process.” (Schmidt & O'Brien, 1997, S. 190).

Diese rhythmischen Koordinationsprozesse (engl. *entrainment*; Knoblich & Sebanz, 2008) fanden sich sowohl innerhalb einer Vpn (z.B. bei der Koordination von Fingerbewegungen, Kelso, 1984) und auch zwischen zwei Vpn (z.B. bei der bewussten und unbewussten Koordination von Bewegungen eines Pendels, Schmidt & Turvey, 1994). So zeigten Haken, Kelso und Bunz (1985) für bi-manuale Fingeraufgaben, dass antiphasische Bewegungen nur bei geringen Bewegungsgeschwindigkeiten möglich sind. Ab einem gewissen Schwellenwert neigen die Bewegungsmuster dazu, inphasisch zu werden. Eine gewisse Trägheit des dynamischen Systems (s.g. „Hysterese“-Effekt) ist zu beobachten, wenn ein Effektor von einer sehr hohen Bewegungsfrequenz (inphasisch) auf eine langsamere abgebremst wird und die antiphasische Bewegung nicht umgehend wieder aufgenommen werden kann.

Eine Studie von Mechsner, Kerzel, Knoblich und Prinz (2001) ergab, dass Vpn durch eine geschickte visuelle Rückmeldung dazu in der Lage sind, ein „unmögliches“ Koordinationsverhalten während einer bi-manualen Aufgabe zu zeigen. Vpn sollten dafür ihre linke Hand dreimal im Kreis bewegen während sie die rechte Hand viermal bewegen. Dieses 3:4 Verhältnis intra-personell zu koordinieren war für die Vpn unmöglich. Mechsner und Kollegen

konstruierten einen Mechanismus, der bei einem 3:4 Rhythmus der Hände einen 1:1 Rhythmus zweier rotierender Fahnen als visuelles Feedback hervorrief. Konzentrierten sich die Vpn nun darauf die beiden Fahnen synchron zu rotieren, waren sie in der Lage mit den Händen den 3:4 Rhythmus auszuführen. Es lässt sich daraus schließen, dass die Koordination von kongruenten Handlungseffekten die Kopplung verschiedener Bewegungsphasen ermöglichen kann.

Individuen, die im gleichen Kontext arbeiten, synchronisieren ihre Aktionen *unbewusst*, unter der Voraussetzung, dass schnelle und exakte Vorhersagen über das Resultat der gemeinsamen Interaktion und auch spezielle Informationen darüber welche Auswirkungen das eigene Handeln auf das gemeinsame Ziel (Intention) hat, verfügbar sind. Als Beispiele dafür führen Marsh et al. (2006) das gemeinsame Spielen an einem Piano oder das gemeinsame Rudern in einem Kanu an. Andere Experimente (Kelso, 1995; Lagarde & Kelso, 2006) konnten nachweisen, dass es beim Austausch von Informationen (uni- oder multisensorisch) zu einer spontanen Koordination kommt und dies zu einem Wechsel (Umplanung) der Verhaltensmuster führt.

In einer Studie zur spontanen Synchronisation beim gemeinsamen Handeln, konnten Oullier, de Guzman, Jantzen, Lagarde und Kelso (2008) nachweisen, dass Vpn (unbewusst) Informationen austauschen, auch wenn sie nicht direkt dazu instruiert wurden. Zwei Vpn saßen sich dazu an einem Tisch gegenüber und wurden instruiert eine rhythmische Fingerbewegung (Extension und Flexion) zu vollziehen (siehe *Abbildung 12, A und B*). Dabei konnten sie ihre Bewegungsgeschwindigkeit und den Umfang ihrer Bewegung (Amplitude) individuell frei wählen. Es wurde vorab allerdings darauf geachtet, dass sich die initialen Bewegungsfrequenzen innerhalb eines Paares unterschieden. Daher wurden die Vpn zu einem Vortest eingeladen, um ihre intrinsischen Fingerbewegungsfrequenzen messen zu lassen (mittels eines optischen Trackingsystems) und ihnen dann einem ihnen unähnlichen Partner zuzuordnen. Dieser Schritt war wichtig, da mögliche Synchronisationseffekte nur dann sichtbar werden konnten, wenn es in den Einzelbedingungen Unterschiede in den Oszillationsdynamiken gab. Im ersten Durchgang sollten die Vpn die Fingerbewegung für 20 Sekunden mit geschlossenen Augen, danach 20 Sekunden mit geöffneten Augen und zum Schluss nochmals 20 Sekunden mit geschlossenen Augen durchführen. Im zweiten Durchgang wurden die Augen im gleichen Zeitintervall erst geöffnet, dann geschlossen und dann wieder geöffnet. Die Instruktion an die Vpn war es, in den Augen-geöffnet-Bedingungen auf den Finger des jeweils anderen zu schauen. Ein akustisches Signal wies die Vpn darauf hin, wann sie ihre Augen öffnen oder schließen konnten. Die Ergebnisse der ersten Reihenfolge (geschlossen-offen-geschlossen) ergaben bei geschlossenen Augen ein voneinander unabhängiges Bewegungsmuster der Vpn. Nach dem Öffnen der Augen passten sich die Bewegungs-

amplitude und die Bewegungsgeschwindigkeit schrittweise an die des Partners an (*inphasische Fingerbewegungen*).

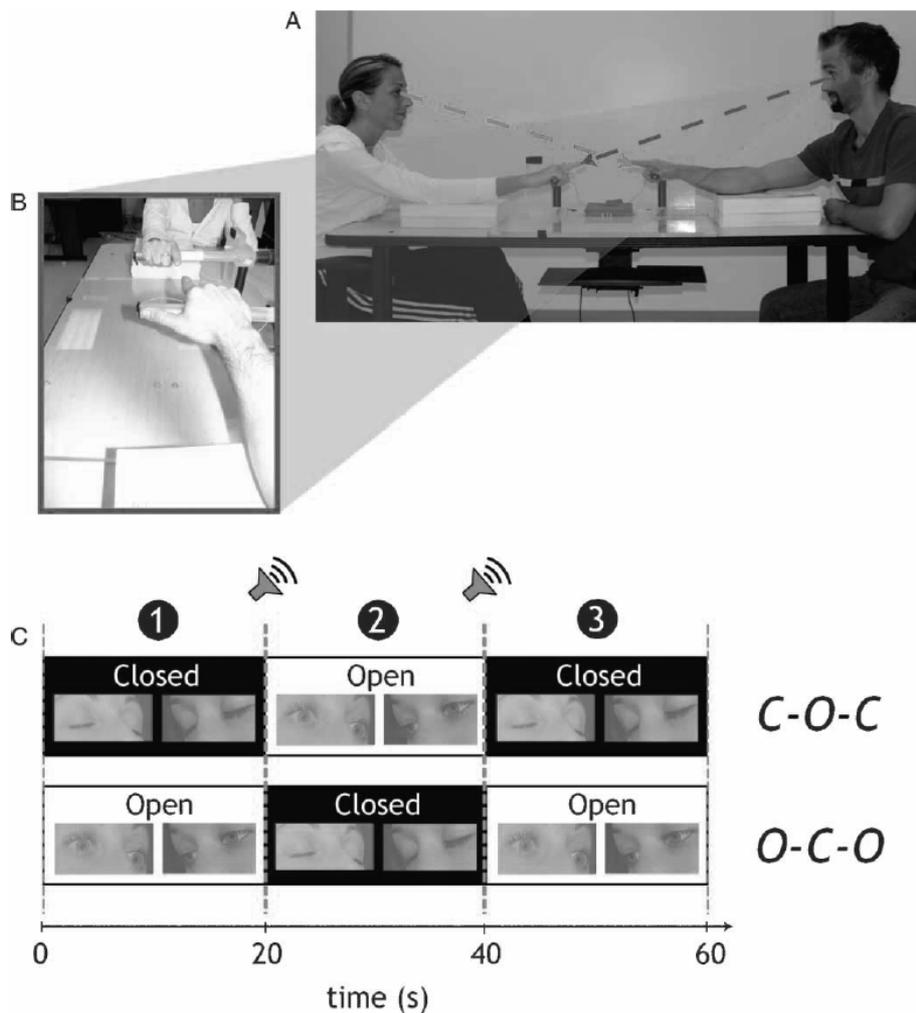


Abbildung 12: Experimentalaufbau aus Oullier und Kollegen (2008). Die Versuchspersonen saßen sich gegenüber und waren instruiert dabei auf die Finger des Gegenübers zu schauen, wenn sie sich in einer Augen-geöffnet-Bedingung befanden (A). Versuchsaufbau aus Sicht der Probanden (B). Die Vpn führten zwei Reihenfolgen (Augen-geschlossen-geöffnet-geschlossen vs. Augen-geöffnet-geschlossen-geöffnet) durch (C).

Werden die Augen anschließend wieder geschlossen, verschiebt sich das Bewegungsmuster dahingehend, dass es nicht mehr synchron ist. Damit ist das Bewegungsmuster phasenverschoben (*out of phase*). Das gleiche spontane Synchronisationsverhalten zeigt sich auch in der zweiten Reihenfolge (offen-geschlossen-offen) bei geöffneten Augen.

Es wurde unter anderem der Frage nachgegangen, ob Interaktionspartner ihr Verhalten wechselseitig anpassen (also jeder sein Verhalten ein Stück weit an das des anderen anpasst) oder ob einer der beiden das Verhalten vorgibt (also ein s.g. *Pace-Maker* das Tempo vorgibt und sich der andere daran anpasst). Dazu teilten die Autoren die beiden Vpn in einen langsamen (niedrige intrinsische Bewegungsfrequenz) und einen schnellen (höhere intrinsische Bewegungsfrequenz) Partner ein. Interessanterweise passten insgesamt 86,6 %

der langsameren Partner in der geschlossen-geöffnet-geschlossen-Bedingung ihre Bewegungsfrequenz an die des schnelleren Partners an. Beim zweiten Schließen der Augen, wurden die Vpn wieder langsamer, fielen jedoch nicht auf ihre Ausgangsfrequenz zurück. 75 % der schnelleren Partner verlangsamte ihre Bewegungsfrequenz in der Bedingung in der die Augen geöffnet waren. Interessanterweise reduzierten sich die Bewegungsfrequenzen der Finger beim zweiten Schließen der Augen noch weiter, d.h. die schnelleren Partner berücksichtigen die Frequenz auch ohne visuelle Rückmeldung weiter und unterschätzen die Frequenz des Partners sogar.

Auf Grundlage dieser Ergebnisse lässt sich schließen, dass die Bewegungsmuster der Interaktionspartner in den Augen-geschlossen-Bedingungen vollständig entkoppelt und in der Augen-geöffnet-Bedingung vollständig gekoppelt waren. Beim zweiten Schließen der Augen waren die Bewegungen der Partner zwar phasenverschoben, blieben scheinbar jedoch gekoppelt, da die Vpn nie wieder in ihr „altes Verhaltensmuster“ zurückfallen, wenn sie einmal im Interaktionskontext agiert haben. Eine Anmerkung zu der Studie von Oullier und Kollegen (2008) ist, dass die meisten Vpn angaben, nicht auf den Finger des Gegenübers geachtet zu haben, d.h. der Synchronisationsprozess *nicht intendiert* erfolgte.

Mit zwei Experimenten prüften Richardson, Marsh und Schmidt (2005) den möglichen Einfluss visueller und verbaler Interaktionen auf die Entstehung möglicher emergenter Bewegungsmuster zwischen zwei Personen. Die Versuchsaufgabe der Versuchspaare war es, vor einem Computermonitor Unterschiede zwischen einem Test- und einem Referenzbild zu finden. Als Zusatzaufgabe sollten beide Vpn ein Pendel in ihrer Hand gleichmäßig schwingen. In dem ersten Experiment befestigten die Autoren das Referenzbild am Pendel des Ko-Akteurs. Dadurch konnten sich die Vpn gegenseitig sehen. Im zweiten Experiment befand sich das Referenzbild an der Wand, sodass sich die Vpn nicht sahen. In drei Versuchsbedingungen sollten die Vpn die Aufgabe (1) mit Hilfe visueller und verbaler Kommunikation, (2) ausschließlich verbal und (3) ausschließlich visuell lösen. Gemeinsam sollten die Vpn innerhalb von 20 Sekunden möglichst viele Unterschiede zwischen den beiden Bildern finden. Die Autoren betrachteten dabei nicht die Leistung der Vpn, sondern analysierten die Pendelbewegungen der beiden Vpn. In den Bedingungen in denen sich die Vpn sahen, fand sich ein Trend zur unbewussten Synchronisation was sich in inphasischen Bewegungsmustern äußerte. In der rein verbalen Suchaufgabe hingegen, in der das Referenzbild an der Wand angebracht war, näherten sich die Bewegungsphasen nicht an, d.h. die Pendelfrequenzen blieben phasenverschoben. Dies war auch bei verlängerten Suchzeiten (von 20 Sekunden auf 2 Minuten) der Fall. Das erste Experiment gibt weitere Hinweise dafür, dass Personen ihre Bewegungshandlungen beim Lösen kooperativer Aufgaben (unbewusst) zu synchronisieren scheinen. Diese Annäherungen unterliegen typischen Oszillationsdynamiken (vgl. Richardson et al., 2005; Schmidt & Richardson, 2008). Ohne visuelle Informationen über die Bewe-

gungshandlung des Partners hingegen, kommt es zu keiner Anpassung an den Interaktionspartner.

Die Gruppe um Richardson (2007b) ersetzte in einer Folgestudie die Sekundäraufgabe des Pendelns durch einen Schaukelstuhl. Die Paare sollten eine ähnliche Suchaufgabe lösen (Unterschiede zwischen zwei Stimulibildern identifizieren), während sie auf einem Schaukelstuhl saßen. Das Referenzbild befand sich dabei in einer Versuchsbedingung am Schaukelstuhl des Partners und in der anderen an der dem Partner entgegengesetzten Wand. Die Autoren manipulierten mit Hilfe von Gewichten systematisch die natürliche Schaukelfrequenz der Stühle. Sie beobachteten in den Bedingungen, in denen das Referenzbild direkt am Stuhl angebracht war, eine Anpassung der Schaukelfrequenzen der beiden Partner, obwohl sich die natürlichen Schaukelfrequenzen der Stühle unterschieden. Korrespondierend zu der Studie von Richardson, Marsh und Schmidt (2005) trat dieser Anpassungseffekt in der Versuchsbedingung, in der der Blick der Vpn voneinander weg gerichtet war, nicht auf.

Diese Studien zur *Phasenkopplung* geben erste Hinweise darauf, dass Vpn zur (unbewussten) Synchronisation von Bewegungshandlungen tendieren (Kelso, 1984; Haken, Kelso & Bunz, 1985; Marsh et al., 2006), auch wenn dies nicht explizit verlangt wird. Eine Grundvoraussetzung ist dafür jedoch die visuelle Rückmeldung über die Bewegungshandlung des Partners (Richardson et al., 2005, 2007; Schmidt & Richardson, 2008). Diese Tendenz kann durch den s.g. *Aufforderungscharakter* einer Situation bestärkt werden. Dazu wird im Folgenden näher auf den Ansatz der „*joint affordance*“ eingegangen.

3.3.2 Gemeinsamer Aufforderungscharakter

Das Konzept eines spezifischen Aufforderungscharakters von Personen oder Objekten geht auf Gibson (1966) zurück, der das Verhalten von Tieren auf Objekte in der Umwelt als *vom jeweiligen Objekt ausgehend* beschrieb. Dabei obliegt diese Aufforderung jedoch nicht inhärent dem Objekt und den Umweltbedingungen, sondern ist nach Gibson tier- bzw. personenspezifisch. Gibson definiert diese s.g. Affordanz als

“a specific combination of the properties of its substance and its surfaces taken with reference to an animal” (Gibson, 1977, S. 67).

Das heißt, dass Individuen die Bedeutung eines Objektes in der Umwelt für sich selbst interpretieren (siehe auch Jones, 2003, für einen Überblick). Betrachtet man beispielsweise ein Basketballfeld als Umwelt und einen Basketball als dazugehöriges Objekt, so werden manche Personen mehr von der Situation angesprochen als andere. Das Feld for-

dert eventuell zum darüber Laufen, der Basketballball dazu ihn in den Korb zu Werfen oder ein Gegner zum Ausweichen auf.

Weiterhin können auch Aufgaben einen Aufforderungscharakter besitzen. Suggestieren diese Aufgabe einer Person, dass eine andere Person Hilfe bei der Lösung seiner Aufgabe benötigt, spricht man von einem gemeinsamen Aufforderungscharakter (engl. *joint affordance*) der Aufgabe. Bestimmte Situationen in einem spezifischen Kontext fordern also zum gemeinsamen Handeln auf.

In einer Studie von Richardson, Marsh und Baron (2007a) wurden Versuchspaare mit der Aufgabe konfrontiert verschieden lange Bretter von einem Tisch aufzunehmen und auf einem anderen Tisch aufzustapeln. Sie erhielten darüber hinaus keine weiteren Instruktionen (z.B. zur Transporttechnik, zur Reihenfolge, zum Zusammenarbeiten, etc.). Ohne dass die Vpn direkt dazu aufgefordert wurden, transportierten sie die kürzesten Bretter einhändig und stapelten sie auch mit einer Hand auf einem Zieltisch auf. Ab einer bestimmten Länge gingen die Vpn zu einer zweihändigen Griffvariante über. Die längsten Bretter wurden von den Vpn (spontan) zu zweit transportiert. Die Autoren schlussfolgerten, dass Personen sensibel für die Anforderungen einer Aufgabe unter Beachtung der eigenen Fertigkeiten und denen des Partners sind, sodass sie die Aufgabe ab einem gewissen Grenzwert als nicht mehr als allein zu bewältigen bewerteten. Nach Richardson, Marsh und Baron (2007a) gelingt das Erkennen des gemeinsamen Aufforderungscharakters einer Aufgabe nur durch die Kopplung von Wahrnehmung und Handlung (siehe Kapitel 3.1 zur Wahrnehmungs-Handlungskopplung), da Personen nur aufgrund ihrer eigenen (motorischen Erfahrung) die Aufgabenanforderungen adäquat abschätzen können. Dabei ermöglichen gemeinsame Ko-Repräsentationen die Aufgabenteilung (hier den Transport der langen Bretter).

Tsai, Sebanz und Knoblich (2010) prüften in einem Reaktionszeitenexperiment, ob Vpn auf eine Aufgabe, die zwei Personen gemeinsam ausführen, schneller reagieren, wenn sie sich selbst als Beobachter ebenfalls im Interaktionskontext befinden. Dazu beobachtete eine Vpn gemeinsam mit einem Partner zum einen eine Handlung zweier Personen (in der jeweils eine Person für einen Taster verantwortlich war; *kompatible* Bedingung). Außerdem beobachteten die Vpn zwei Hände einer Person, die mit der linken Hand auf den linken Taster und mit der rechten Hand auf den rechten Taster drücken konnte (*inkompatible* Bedingung). Die Ergebnisse zeigten größere Kompatibilitätseffekte, wenn die Anzahl der ausführenden Personen mit der Anzahl der beobachteten Personen übereinstimmte, d.h. das Paar fühlte sich stärker angesprochen (reagierte schneller), wenn die Bewegungen durch zwei Personen ausgeführt wurde als wenn ein Individuum agierte. Analog umgekehrt reagierte ein Individuum schneller auf die Bewegungen der beiden Hände eines einzelnen Individuums. Das Hineinversetzen in Gruppenaufgaben scheint demnach leichter zu fallen, wenn sich die Personen selber in einer Gruppensituation befinden.

Zusammengefasst lässt sich das Unterkapitel „Nicht-intendierte Koordination“ damit abschließen, dass Vpn durch Prozesse der *Phasenkopplung* (unbewusst) zu synchronen Koordinationsmustern ihrer Bewegungshandlungen tendieren (Kelso, 1984; Haken, Kelso, & Bunz, 1985; Marsh et al., 2006), auch wenn dies nicht explizit von ihnen verlangt wird. Eine Grundvoraussetzung ist dafür jedoch die visuelle Rückmeldung über die Bewegungshandlung des Partners (Richardson et al., 2005, 2007; Schmidt & Richardson, 2008). Diese Tendenz kann durch den s.g. Aufforderungscharakter der Situation verstärkt werden (Gibson, 1966; Tsai et al., 2010).

3.4 Intendierte Koordination

Bislang handelte es sich bei den oben beschriebenen Experimenten um rhythmische Bewegungen, die kein gemeinsames Handlungsziel verfolgten. Geplante Koordinationsprozesse (engl. *planned coordination*) unterscheiden sich von unwillkürlichen, spontanen Synchronisationsprozessen durch ein gemeinsames Handlungsziel (Intention). Dabei gehen Bekkering, Wohlschläger und Gattis (2000) davon aus, dass die fremden Handlungsziele in Form ihrer „Ziele“ kodiert werden. Auch die Gruppe um Vesper, Knoblich, Sebanz und Kollegen (2010) stellt die Wichtigkeit eines gemeinsamen Handlungsziels heraus und beschreibt ein „minimales Architektur“-Modell des gemeinsamen Handelns (siehe *Abbildung 13*). Dabei repräsentiert ein Individuum zum einen seine eigene Aufgabe und das Ziel (Intention), welches es durch seine Handlung erreichen will.

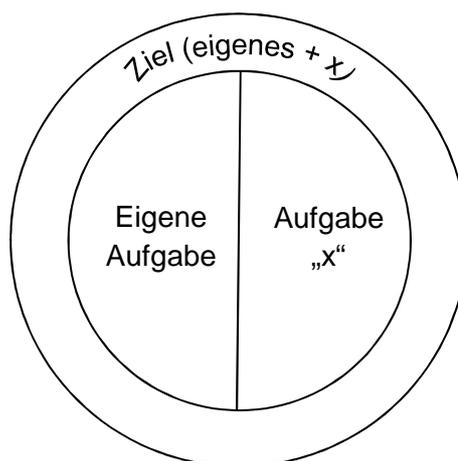


Abbildung 13: Graphische Darstellung eines „minimalen Architektur“-Modells des gemeinsamen Handelns (aus Vesper et al., 2010). Die Aufgabe einer anderen Person „x“ wird dabei genauso mitrepräsentiert wie die eigene Aufgabe unter der Voraussetzung, dass ein gemeinsames Ziel (eigenes und das der anderen Person x) angestrebt wird. So genannte „coordination smoothers“ helfen dabei die „beiden Aufgaben“ zu integrieren.

Koordinationsprozesse fallen den Vpn leichter, wenn die Handlung des Partners beobachtbar und vorhersehbar ist. Sollten Informationen (z.B. über das Timing, die Aufgabe

oder die Handlung) in dieser Repräsentation fehlen, neigen Vpn dazu so genannte „*coordination smoother*“ zu verwenden (Vesper et al., 2010). Dazu zählen unter anderem die Bereitstellung von Koordinationssignalen (z.B. Sprache: Clark, 1996; Fingerbewegungen: Goebel & Palmer, 2009), die Einschränkung und Strukturierung des eigenen Verhaltens auf naheliegende Aspekte (z.B. die systematische Suche in einem der Vpn zugewandten Zielbereich: Brennan, Chen, Dickinson, Neider, & Zielinsky, 2008) oder die Erhöhung der Vorhersagbarkeit der eigenen Handlung (z.B. durch die Reduktion der Bewegungsvariabilität: Vesper, van der Wel, Knoblich, & Sebanz, 2011).

Die Autoren gehen davon aus, dass Individuen während gemeinsamer Handlungen versuchen, es dem Interaktionspartner möglichst einfach zu machen, die eigenen Handlungen nachvollziehen zu können, um so Koordination zu vereinfachen:

„One way to facilitate coordination is for an agent to modify her behavior in such a way as to make it easier for others to predict upcoming actions, for example by exaggerating her movements or by reducing the variability of her actions“ (Vesper et al., 2010, S. 999).

Eine Möglichkeit Aufgaben besser zu koordinieren ist demnach die Reduktion der Bewegungsvariabilität (Vesper et al., 2011): In einem Reaktionszeitexperiment sollten Versuchspaare möglichst synchron (Experiment 1 und 2) bzw. möglichst schnell aufeinanderfolgend (Experiment 3) auf kongruente und inkongruente Stimuli reagieren. Es zeigte sich in allen drei Experimenten, dass die Vpn die Variabilität ihrer Bewegungen (in Form der mittleren Reaktionszeiten und der Standardabweichung der Reaktionszeit) im gemeinsamen Kontext reduzierten, wenn beide Akteure die gleiche Aufgabe zu lösen hatten. Diese Synchronisationsprozesse ließen sich ebenfalls nachweisen, wenn die Vpn nicht dazu aufgefordert wurden möglichst gleichzeitig zu handeln (Experiment 2).

“The findings from the unintentional condition [...] demonstrate that synchronization can also occur when co-actors do not intend to coordinate actions. It seems that participants' tendency to emphasize speed contributed to this emergent coordination. One could speculate that participants more readily fell into a common rhythm when they both responded quickly, which increased the probability of their responses occurring at the same time. Whether this finding can be explained in terms of coupled oscillator models within a dynamical system framework remains to be seen.” (Vesper et al., 2011, S. 529).

In Anlehnung an Knoblich und Kollegen (2011) wird bei Handlungen, die im Interaktionskontext stattfinden ebenfalls die Aufgabe des Ko-Akteurs und dessen Ziel in die eigene Aufgabenrepräsentation integriert. Dazu werden zwei Fähigkeiten benannt, die für Koordinationsprozesse benötigt werden: (1) die Fähigkeit *gemeinsame Repräsentationen* des gewünschten Handlungsergebnisses zu bilden und *Aufgabenteilungen* (engl. *task sharing*) vorzunehmen. Zum anderen ermöglichen (2) *gemeinsame Wahrnehmungsprozesse* (engl. *joint*

perception) das Hineinversetzen in die jeweilige Perspektive des Anderen und somit erfolgreiche Interaktionen mit der Umwelt.

3.4.1 Gemeinsame Repräsentationen und Aufgabenteilung

Wenn Akteure eine Aufgabe teilen und dabei die Verantwortung für die Ausführung individueller Teilaspekte einer Gesamtaufgabe übernehmen, spricht man von einer Aufgabenteilung (engl. *task-sharing*). Im Unterschied zur reinen Handlungsbeobachtung (engl. *action observation*) weiß die handelnde Person in dem Fall der geteilten Aufgabe um die Intention der Aufgabe, denen der Interaktionspartner (oder Ko-Akteur) ausgesetzt ist. Ein alltägliches Beispiel für solch eine Aufgabe, die sich zwei Personen teilen können, ist das Aufziehen von Schneeketten über die Reifen eines Autos im Winter. Die Aufgabe lässt sich zwar auch von einer einzelnen Person lösen, allerdings wird sie stark vereinfacht, wenn ein Ko-Akteur einen Teil der Aufgabe übernimmt (z.B. eine Person legt die Schneekette auf und die andere Person steuert das Fahrzeug langsam vorwärts). Beide Individuen verfolgen das gleiche (Handlungs-)Ziel (hier das Aufziehen der Schneekette) und wissen über die Teilaufgabe des Ko-Akteurs Bescheid. Je besser die beiden Teilhandlungen aufeinander abgestimmt (koordiniert) sind, desto schneller funktioniert das Aufziehen.

Das mitplanende Verhalten der Ko-Akteure wird auf so genannte *gemeinsame Repräsentationen* einer Handlung (engl. *shared representations*) zurückgeführt (z.B. Atamaca et al., 2008; Bekkering et al., 2009; Doerrfeld, Holländer, Jung, & Prinz, 2011; Sebanz & Shiffrar, 2012). Unter solchen Ko-Repräsentationen verstehen Sebanz und Kollegen die Fähigkeit eines Individuums, eine aufgabenbezogene Repräsentationsstruktur mit einem anderen Individuum zu teilen. Neben bewussten Prozessen können auch andere repräsentative Inhalte wie Gefühle und Ansichten geteilt werden:

„Co-representation takes place when an individual shares another individual's mental representation. In the following, we consider only the co-representation of actions and intentions, but it is likely that other representational content (e.g., feelings or beliefs)” (Sebanz, Knoblich, & Prinz, 2005, S. 1234).

Bei bewussten Koordinationsprozessen besitzen zwei oder mehr Personen in der Regel eine Intention, also eine bestimmte Handlungsabsicht, die sie (gemeinsam) realisieren wollen. Beispielsweise wäre diese Intention zweier Teammitglieder bei einem Tischkicker-spiel der Torerfolg bzw. das Verhindern eines Tores. Um dieses Ziel zu erreichen, versuchen die Ko-Akteure die Handlungen des Partners mental mit zu simulieren (z.B. indem sie bei „eigenen Angriffen“ ihre Spieler hochstellen und bei „gegnerischen Angriffen“ die Spieler herunter klappen). Dabei muss die jeweilige Handlung des Partners vorausgeahnt (antizipiert) werden. Je besser dieser Abstimmungsprozess funktioniert, desto erfolgreicher sollte

das Spielerteam sein. Es gilt darüber hinaus zu unterscheiden, ob entweder eine *Bewegung* oder eine *Aufgabe* mitrepräsentiert wird. Wenn nur die *Handlung* (z.B. das Drücken eines Knopfes) mitverarbeitet wird, ist der Handelnde über die Intention des Ko-Akteurs im Unklaren. Erst wenn die Akteure über die *Aufgabe* des anderen informiert werden (z.B. warum der Akteur eben eine Taste drückt), spricht man von der *Mitverarbeitung der Partneraufgabe* (Sebanz & Frith, 2004; Sebanz et al., 2005).

Sebanz, Knoblich, Prinz und Wascher (2006) stellten heraus, dass diese Mitverarbeitung der Aufgabe des Partners einen direkten Einfluss auf die eigene Aufgabenausführung hat. Dies äußerte sich in verlangsamten Reaktionszeiten und neurophysiologischen Korrelaten¹¹ bei einfachen Reaktionen (ja/nein-Antworten). In einem Computerexperiment wurde Vpn dazu das Bild einer Hand präsentiert, welche am Zeigefinger einen grünen oder roten Ring trug. Dabei konnte der Zeigefinger entweder auf die Vpn selbst oder den Partner zeigen (Abbildung 14).

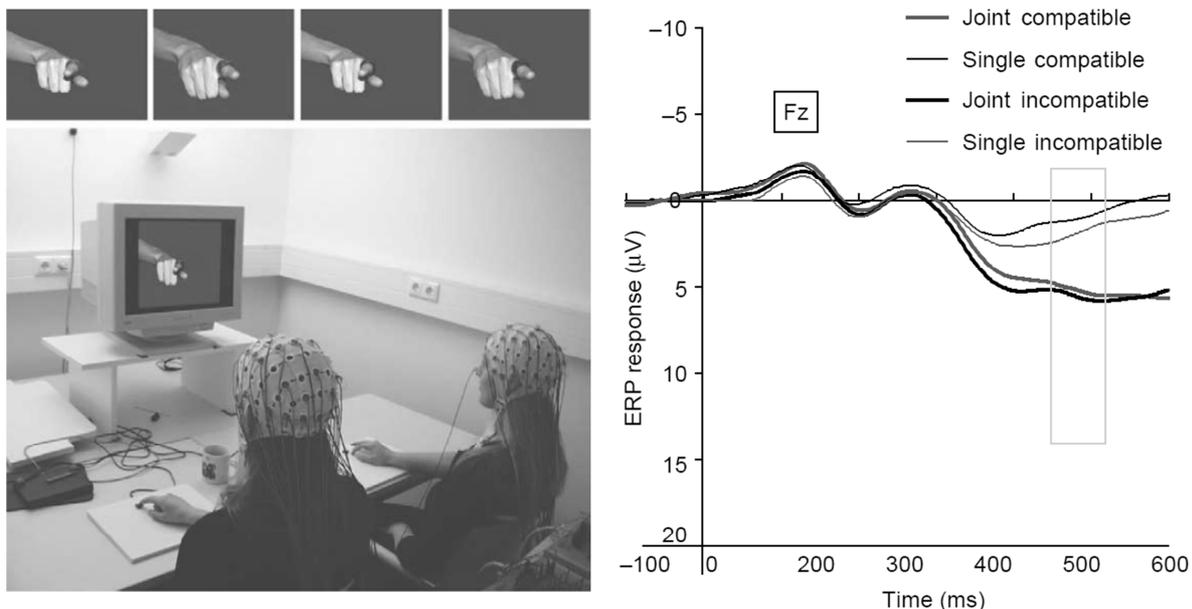


Abbildung 14: Links ist der Versuchsaufbau aus Sebanz et al. (2006b) dargestellt. Die Vpn sollten auf einen farbigen Ring am präsentierten Finger reagieren und die Zeigerichtung des Fingers so gut es geht ignorieren. In den Einzelbedingungen saßen die Vpn ohne Partner vor dem Computermonitor. Rechts sind die gemessenen ERP-Daten als Antworthemmung auf die jeweiligen Stimuli dargestellt. Je negativer die ERP-Welle, desto stärker fällt die Antworthemmung aus. Vpn müssen ihre Reaktion in den Paarbedingungen (*joint*) stärker hemmen als in den Einzelbedingungen (*Single*).

Die Vpn sollte auf die jeweilige Ringfarbe reagieren und die Zeigerichtung vernachlässigen. Bei dieser räumlichen *Simon-Aufgabe* zeigte sich, wie erwartet, eine längere Reaktionszeit bei inkompatiblen Versuchen, d.h. der s.g. „Simon-Effekt“ fiel deutlich stärker aus,

¹¹ Bei der Messung neurophysiologischer Korrelate wird eine topographische Analyse der elektrischen Hirnaktivität mit auftretenden Reizen oder motorischen Antworten vorgenommen. Es kann auf zeitliche Charakteristika von Verarbeitungsprozessen („Latenz und Dauer evozierter Potentialkomponenten, Ausmaß synchroner Entladungen von Neuronengruppen, Stärke des elektrischen Feldes sowie die Beteiligung verschiedener Hirnareale an der Verarbeitung als topographische Verteilung der Aktivität“) geschlossen werden (aus Skrandies, 2003).

wenn ein Ko-Akteur anwesend war und die korrespondierende Aufgabe absolvierte als wenn sich die Vpn allein im Raum befand. Darüber hinaus wurden ereigniskorrelierte Potentiale¹² gemessen. Es zeigten sich im Vergleich zur EB größere Amplituden im präfrontalen Kortex (höhere Elektronegativitäten), wenn die Vpn im gemeinsamen Kontext einen inkompatiblen Stimulus präsentiert bekamen. Stimuli, die dem Ko-Akteur zugeschrieben werden, schienen demnach die gleichen neuronalen Areale zu aktivieren, als wenn diese selber ausgeführt werden würde. Die Autoren erklärten dies darüber, dass die beiden Handlungsalternativen (eigene vs. fremde Handlung) auf eine äquivalente Art repräsentiert werden. Auch die neuronalen Korrelate, die für die Antworthemmung (*P300-Welle*) verantwortlich gemacht werden, fielen in der PB insgesamt höher aus als in der EB (höhere Elektronegativität). In anderen Worten wurde die Ausführung einer Handlung der Vpn in einer inkompatiblen Versuchsbedingung stärker gehemmt, wenn ein Ko-Akteur für die Ausführung eben dieser Aufgabe zuständig war. Sie schätzten demnach die Relevanz des Stimulus, auf den sie nicht reagieren sollten, in der PB höher ein als der EB. *Tabelle 2* zeigt die Reaktionszeiten und die Elektronegativität der P300-Welle in Abhängigkeit zu den vier Versuchsbedingungen.

Tabelle 2: Ergebnisse aus Sebanz und Kollegen (2006b) nach Bedingung, Reaktionszeiten und ERP's.

Bedingung	Reaktionszeiten	ERP's (P300)
Einzelaufgabe kompatibel	schnell	gering
Einzelaufgabe inkompatibel	↓	gering
Partneraufgabe kompatibel		gering
Partneraufgabe inkompatibel	langsam	hoch

Die Autoren fassten ihre Ergebnisse damit zusammen, dass Vpn in den kompatiblen Bedingungen eigene und fremde Handlungen auf einer gemeinsamen Ebene repräsentierten (s.g. *Ko-Repräsentationen*). In inkompatiblen Bedingungen wurden durch die Antizipation der Handlung eines Ko-Akteurs die jeweils eigenen Hirnregionen aktiviert, die gleichzeitig gehemmt werden mussten. Es lassen sich hier Rückschlüsse auf die gemeinsame Aktivierung eigener Repräsentationen während der Beobachtung fremder Handlungen ziehen (siehe auch Kapitel 3.2 zur Handlungssimulation): Die Reaktionszeiten implizieren wiederum ein „für-den-Anderen-Mitdenken“, welches sich in langsameren eigenen Antwortreaktionen wie-

¹² ERP (*event-related potentials*) werden mit Hilfe von Elektroden auf dem Kopf gemessen. Die Hirnaktivität wird mittels EEG (Elektroenzephalogramm) mit den präsentierten Stimulusreizen in Verbindung gebracht (daher ereigniskorrelierte Potentiale). Typische Komponenten der ereigniskorrelierten Potentiale sind die P300-Welle, N400 oder P600, da sie relativ gut die Latenzzeiten nach einer Stimuluspräsentation abbilden können.

derspiegelte. Die Bewegungsaufgabe wurde demnach für den Anderen mitrepräsentiert und diese Zusatzverarbeitung benötigte Reaktionszeit. Um auszuschließen, dass die verlangsamten Reaktionszeiten bei der Anwesenheit eines Ko-Akteurs durch dessen Geräusche (z.B. eigene und fremde Tastendrücke) zustande kamen, trugen die Vpn in einem zweiten Experiment Ohrstöpsel und zusätzlich Kopfhörer. Die Hand, die die Reaktionen ausführte, war zusätzlich durch eine Kiste verdeckt, sodass auch keine visuellen Informationen über Antworten des Ko-Akteurs zur Verfügung standen. Es ergaben sich die gleichen Ergebnisse wie im vorangegangenen Experiment, d.h. dass die verlangsamten Reaktionszeiten auf das Wissen über die Aufgabe des anderen zurückzuführen sind (vgl. Sebanz et al., 2006b).

Beim Lösen gemeinschaftlicher Aufgaben mit zwei Antwortmöglichkeiten (s.g. *two-choice tasks*), bei der jede Vpn einen Teil einer Aufgabe übernimmt, wird ebenfalls die jeweilige Aufgabe des Anderen mitrepräsentiert (Sebanz, Knoblich, & Prinz, 2003). Die Gruppe um Sebanz (2003) zeigte Vpn einen relevanten (einen farbigen Punkt auf einem Finger) und einen irrelevanten Stimulus-Reiz (die Zeigerichtung des Fingers). Farbe und Zeigerichtung konnten entweder kompatibel oder inkompatibel sein. In einer PB (*Abbildung 15, a*) sollten die Vpn auf eine Farbe des Ringes reagieren, unabhängig davon in welche Richtung der Finger zeigt (Paarbedingung Einfachaufgabe).

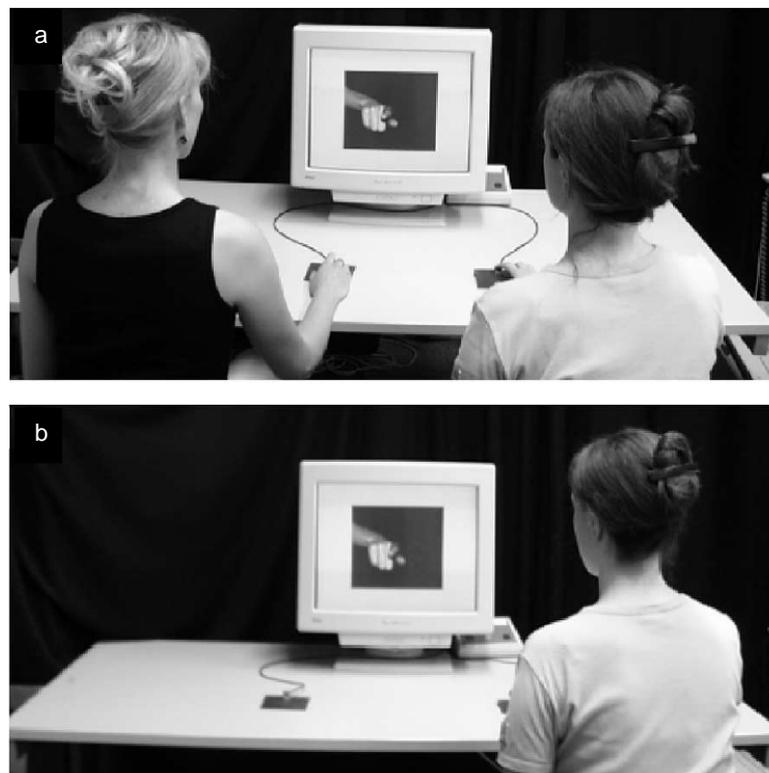


Abbildung 15: Exemplarischer Versuchsaufbau aus Sebanz et al. (2003): In der Paarbedingung (a) sollten die Vpn auf die Farbe des Ringes reagieren, unabhängig davon in welche Richtung der Finger zeigt (Paarbedingung Einfachaufgabe). Darüber hinaus existierten zwei Einzelbedingungen (b) in denen die Vpn entweder auf eine Ringfarbe (Einzelbedingung Einfachaufgabe) oder auf beide Ringfarben mit jeweils einer Hand (Einzelbedingung Zweifachaufgabe) reagieren sollte.

Der jeweilige Partner hatte die Aufgabe auf die andere Ringfarbe zu antworten. Darüber hinaus existierten zwei EB (*Abbildung 15, b*) in denen die Vpn entweder auf eine Ringfarbe (EB, Einfachaufgabe) oder auf beide Ringfarben mit jeweils einer Hand (EB, Zweifachaufgabe) reagieren sollte. Die Vpn sollten auch in der EB nur auf den relevanten Stimulus reagieren und den irrelevanten ignorieren. Dabei war keine andere Person anwesend. Vorhersagen für diese drei Bedingungen waren, dass (1) keine Beeinflussung durch die Anwesenheit einer anderen Person in der Paarbedingung stattfindet, (2) ähnliche Ergebnisse wie in der normalen individuellen Einfachbedingung (d.h. die Vpn berücksichtigen nur ihre eigene Aufgabe) resultieren, oder (3) die soziale Erleichterung durch die Anwesenheit einer anderen Person könnte sich positiv auf die Reaktionszeiten (d.h. es resultieren ähnliche Ergebnisse wie in der normalen individuellen Einfachbedingung mit schnelleren Reaktionszeiten) auswirken. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass sich das Antwortverhalten in der Zweifachauswahlaufgabe und der Einfachauswahlaufgabe in der PB gleichen (siehe *Abbildung 16*).

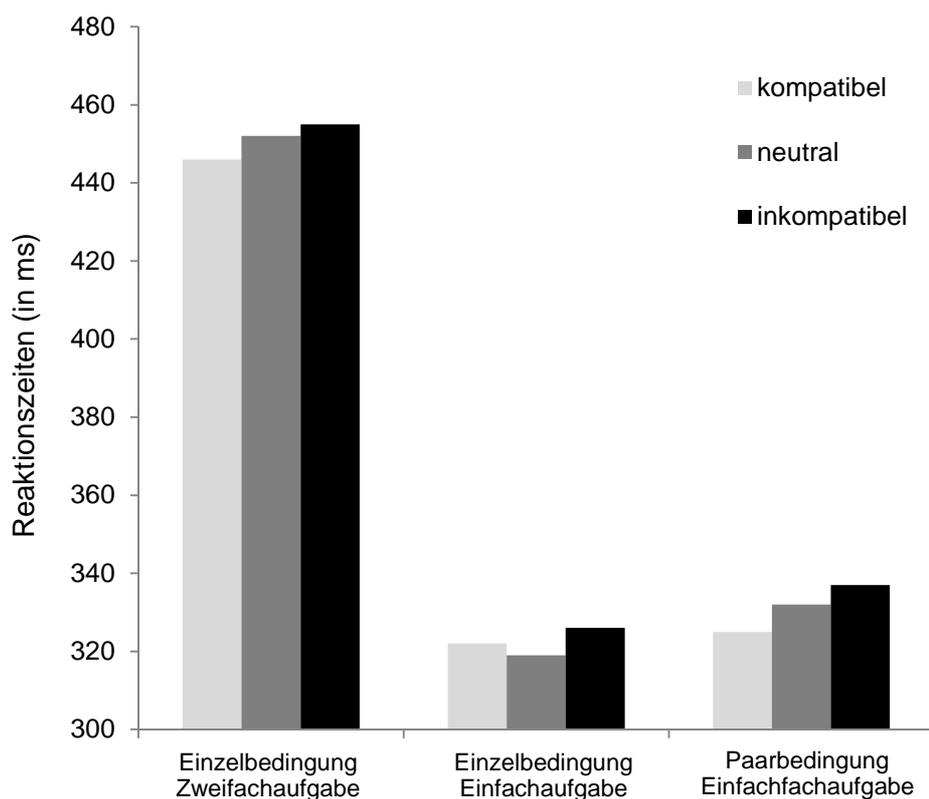


Abbildung 16: Reaktionszeiten (in ms) in den Bedingungen Einzelbedingung-Zweifachaufgabe (so genannte Kompatibilitätseffekte durch die Berücksichtigung von Zeigerichtung und Farbe), Einzelbedingung-Einfachaufgabe (Einfache Reaktion auf den relevanten Stimulus-Reiz mit Anwesenheit einer anderen Person) und der Paarbedingung mit Einfachaufgabe (als einfache Reaktion auf den relevanten Stimulus-Reiz ohne Anwesenheit einer anderen Person) (aus Sebanz, Knoblich, & Prinz, 2003).

Diese Befunde legen nahe, dass die Vpn in den PB die Aufgabe des Ko-Akteurs mitrepräsentieren, obwohl sie nur auf ihre eigene Farbe antworten mussten.

In einem zweiten Experiment saß wiederum ein Partner mit vor dem Bildschirm, bekam in diesem Fall jedoch (für die Vpn klar erkennbar) keine Aufgabe zugeteilt. Die Vpn sollte ebenfalls auf den relevanten Reiz (die Farbe) reagieren und die Zeigerichtung des Fingers (auf die Vpn oder den Ko-Akteur) ignorieren. Die bloße Anwesenheit einer anderen Person führte dabei nicht zu verlangsamten Reaktionszeiten, also zu einer „Aufgabenteilung“. Sebanz und Kollegen (2003) schließen daraus, dass dem Ko-Akteur eine klare Aufgabe zugewiesen sein muss, wenn sich Ko-Repräsentationen herausbilden sollen. Dies bestätigen auch die Befunde von Vesper und Kollegen (2010).

Auf diesen Erkenntnissen aufbauend führten Sebanz, Rebbeci, Knoblich, Prinz und Frith (2007) weitere Untersuchungen zu neuronalen Korrelaten während Partneraufgaben mittels einer fMRI-Studie durch. Dabei sollte die gleiche *Simon-Aufgabe* wie oben beschrieben (farbiger Ring am Finger als relevanter Stimuli, der entweder auf den Akteur selbst oder seinen Ko-Akteur zeigt und ignoriert werden konnte) durchgeführt werden, um weitere Evidenz für eine Mitverarbeitung der Aufgabe des Ko-Akteurs zu finden. Eine Vpn befand sich dazu in einem fMRI-Scanner. Eine außerhalb des Scanners sitzende Vpn hatte ebenfalls einen Taster vor sich und konnte über einen Spiegel die Reaktionen des Partners in der fMRI-Röhre beobachten. Die Vpn im Scanner absolvierte in randomisierter Reihenfolge eine Einzelbedingung mit zwei Antwortmöglichkeiten, eine Einzelbedingung mit einer Antwortmöglichkeit und eine Paarbedingung mit einer Antwortmöglichkeit (analog zu Sebanz et al., 2003). Für die Planung eigener und fremder Handlungen werden vor allem die Hirnregionen des medial-frontalen Kortex (MFC) und für die Erkennung von Konflikten und Antworthemmungen der anteriore zinguläre Kortex (ACC) verantwortlich gemacht. Eine erhöhte Aktivität im ACC sollte sich demnach vor allem bei inkompatiblen Stimulus-Antworten in der Paarbedingung finden. Alle Vpn zeigten Gehirnaktivitätsunterschiede im MFC beim Vergleich der Paarbedingung-Einfachaufgabe und der Einzelbedingung-Einfachaufgabe. Dies bestätigt die Annahme der oben aufgeführten Experimente, dass, obwohl es sich augenscheinlich um die gleiche Einfachaufgabe für die Vpn handelt, abhängig davon ob sie sich in der Einzel- oder der Paarbedingung befinden, es unterschiedliche Repräsentationen der Aufgabe im Kortex gibt. Interessanterweise fanden sich erhöhte Aktivitäten im MFC auch bei kompatiblen Versuchen in der Paarbedingung. Die Autoren begründen dies mit der Zuständigkeit des MFC für selbst-evaluierende Prozesse, die vor allem nach einer Entscheidung ablaufen. Auch die Aktivitätsunterschiede im ACC zwischen der Paarbedingung mit einer Antwortmöglichkeit und der Einzelbedingung mit einer Antwortmöglichkeit lassen sich über die höhere Relevanz der Selbstevaluation erklären. Es könnte für die Vpn in der Paarbedingung der Eindruck entstehen, dass eine (falsche) Reaktion vor dem Partner gerechtfertigt werden müsse. Zusammenfassend scheint der soziale Kontext einen direkten Einfluss auf die spezifischen Hirnregionen bei der Lösung einer (vermeintlich) gleichen Aufgabe zu haben (vgl. auch Atmaca,

Sebanz, Prinz, & Knoblich, 2008: Korrelate im ACC und MFC; Newman-Norlund et al., 2008: in den BA40 und BA 44). Das Wissen über die potentielle Handlung eines Ko-Akteurs erhöht dabei die Relevanz der Stimuli (vgl. Ramnani & Miall, 2004; Sebanz et al., 2007).

Zusammengefasst deuten die verlangsamten Reaktionszeiten (Sebanz et al., 2006b; Vesper et al., 2013a), die erhöhten ereigniskorrelierten Potentiale (P300 Welle; Sebanz et al., 2006b) und die erhöhten Gehirnaktivitäten, in den für gemeinsame Handlungen, Antworthemmungen und selbst-evaluierende Prozesse verantwortlich gemachten Regionen (Atmaca et al. 2008; Sebanz et al., 2007; Newman-Norlund et al., 2008) auf die Bildung gemeinsamer Repräsentationen und eine Mitverarbeitung der Partneraufgabe hin. Individuen scheinen die Informationen der Partneraufgabe in den eigenen Handlungsplan zu integrieren, auch wenn die Situation keine direkte interpersonelle Koordination erfordert. Notwendig ist allerdings das Wissen über die Aufgabenverteilung und die Aktivität, jedoch nicht die (physische) Anwesenheit des Interaktionspartners (Ramnani & Miall, 2004).

3.4.2 Gemeinsame Wahrnehmungsprozesse

Unter der gemeinsamen Wahrnehmung (engl. *joint perceptions*) wird die Fähigkeit verstanden, sich in eine andere Person hineinzusetzen und die Perspektive dieser einzunehmen. Dabei gilt es zu imaginieren, was eine andere Person in einem spezifischen Moment wahrnimmt. Diese sensorischen Rückmeldungen dienen dazu eine gemeinsame Wahrnehmungsgrundlage zu bilden auf der sich beide Interaktionspartner bewegen (Sebanz et al., 2006b).

Dass sich die Wahrnehmung von Personen im sozialen Kontext verändert, wies auch die Gruppe um Richardson und Kollegen (Richardson, Street, Tan, Kirkham, Hoover, & Cavanaugh, 2012) nach. Ein Versuchspaar saß dazu in entgegengesetzten Ecken eines Laborraums und betrachtete einen Satz aus vier Bildern. Dabei besaß ein Bild eine positive Wertung (z.B. ein lachendes Kind), zwei Bilder eine neutrale Wertung (z.B. eine lesende Person) und ein Bild eine negative Wertung (z.B. ein weinendes Kind). Den Vpn wurde der Bildersatz aus vier Bildern für acht Sekunden präsentiert und dabei ihre Blickbewegungen mit Hilfe eines Eyetrackers erfasst. Ein erster Befund dieses Experiments war, dass die Vpn signifikant länger auf das Bild mit der negativen Wertung sahen. Darüber hinaus wurde den Vpn in 50% der Versuche gesagt, ihr Partner bekäme anstatt der vier gleichen Bilder vier verschiedene Symbole präsentiert (Einzelbedingung), obwohl auch diese die Bilder sah. In den anderen 50% der Versuche ließen die Versuchsleiter die Vpn glauben sie würden die gleichen Bilder betrachten (Paarbedingung) wie ihr Partner. Neben einem Effekt für den Faktor Wertigkeit (Vpn schauen länger auf negative als auf neutrale und positive Bilder), deutete eine signifikante Interaktion von Wertigkeit des Bildes und sozialem Kontext (Einzel- vs.

Paarbedingung) daraufhin, dass die Vpn (noch) länger auf die negativen Bilder blicken, wenn sie glaubten, dass ihr Partner die gleichen Bilder betrachtet.

In einem zweiten Experiment zeigten die Autoren, dass neben der erhöhten Aufmerksamkeit auf das negativ konnotierte Bild auch verbesserte Merkleistungen (es sollten möglichst viele Bilder memoriert werden) in der Paarbedingung einhergehen. In einem dritten Experiment sollten die Vpn ein kleines Zeichen („x“) in den Bildern ausfindig machen. Auch hier waren die benötigten Suchzeiten signifikant kürzer, wenn die Partner glaubten in der Paarbedingung zu agieren, also ihr Partner die gleichen Stimuli betrachtete anstatt der Symbole. Diese Beeinflussung der Wahrnehmung im Kontext sozialer Interaktion benennen Richardson et al. (2012) mit „gemeinsamer Wahrnehmung“.

Böckler, Knoblich, und Sebanz (2011) fanden weitere Evidenz für die Beeinflussung der Wahrnehmung durch die Anwesenheit eines Ko-Akteurs: Vpn saßen sich dazu an einem in den Tisch eingelassenen horizontalen Computermonitor gegenüber und führten eine mentale Rotationsaufgabe (einer virtuellen Hand) durch. Neben den erwarteten steigenden Reaktionszeiten und Fehlerraten mit zunehmender Rotation der Stimuli, fand sich eine signifikante Interaktion mit dem sozialen Kontext (Einzel- vs. Paarbedingung). Je weiter der Stimulus in Richtung des Partners rotiert war, desto mehr profitierten die Vpn von dem gemeinsamen sozialen Kontext. Dem entgegen waren die Vpn in der Einzelbedingung schneller bei kleinen Rotationen. Bei gemeinsamen Handlungen scheint es den Vpn also leichter zu fallen, die Perspektive des Ko-Akteurs (hier die allozentrische Sicht) einzunehmen als den Stimuli um 180° (aus egozentrischer Sicht) zu rotieren (Böckler et al., 2011).

Zu ähnlichen Ergebnissen gelangten Samson, Apperly, Braithwaite, Andrews und Scott (2010), die mit Hilfe eines virtuellen Avatars eine allozentrische Perspektive generierten. Vpn wurden kurz vor der Präsentation eines Stimulus instruiert entweder ihre eigene Perspektive oder die des Avatars einzunehmen, um dann zu erklären was dieser „sieht“. Es zeigten sich zum einen schnellere Reaktionszeiten und geringere Fehlerraten in der egozentrischen Perspektive. Allerdings ließ sich auch ein Kongruenzeffekt nachweisen, d.h. das Vpn langsamer reagierten (und mehr Fehler machten), wenn die Reize der allo- und egozentrischen Perspektive nicht übereinstimmten. Übertragen auf die gemeinsame Wahrnehmung berücksichtigen die Vpn immer die dargebotenen Reize beider Perspektiven und können die jeweils irrelevante Perspektive nicht ignorieren.

3.4.3 Kompetitive versus kooperative Aufgabenbearbeitung

Handlungen, die im Kontext sozialer Interaktion stehen, können entweder *kompetitiv* oder *kooperativ* gelöst werden. In kompetitiven Aufgaben erreicht ein Partner sein Ziel früher und/oder verhindert, dass der Partner sein Ziel erreicht. Bei kooperativen Aufgaben berück-

sichtigt der Akteur das erwünschte Handlungsergebnis des Ko-Akteurs. Die Ziele der beiden Interaktionspartner entsprechen sich bzw. die Erreichung des Partnerzieles hilft bei der Erreichung des eigenen Zieles. Bisher gibt es jedoch nur wenig systematische Studien aus der Joint-Action-Forschung, in der beide Bedingungen berücksichtigt und deren relativer Einfluss untersucht wurde.

Dass die Anwesenheit eines Partners unter gewissen Bedingungen zur Verbesserung der Leistung führen (s.g. Effekt der *sozialen Fazilitation*) kann, zeigte bereits Norman Triplett (1898) in einem der ersten psychologischen Laborexperimente zum Phänomen der sozialen Erleichterung durch einen gemeinsamen (Handlungs-)Kontext: Er beobachtete, dass Radfahrer mit einer deutlich schnelleren Trittfrequenz fahren, wenn sie sich gegen andere Radfahrer durchsetzen müssen als wenn sie gegen die Uhr (beim Zeitfahren) antreten. Im Experiment ließ er dazu u.a. Kinder sowohl in einer Einzelbedingung als auch in einer Paarbedingung (kompetitive Bedingung) so schnell wie möglich an einer Kurbel drehen. Es zeigte sich, dass die Kinder in den kompetitiven Bedingungen schneller agierten, wenn ein anderes Kind anwesend war, welches die gleiche Aufgabe durchführte.

Effekte sozialer Fazilitation lassen sich auch unter kooperativen Bedingungen nachweisen. In einer frühen Untersuchung von Drill zum Hammerschlag sollten Vpn in einer Einzelbedingung oder in einer Paarbedingung (kooperative Bedingung) auf einem Amboss Hammerschläge ausführen (Drill, 1933; zitiert aus Loosch, 1993). In der kooperativen Bedingung wurden die Hämmer von den Partnern wechselseitig auf dem Amboss geschlagen, sodass ein kontinuierlicher, kooperativer Arbeitsrhythmus entstand. Dabei war die Streuung zweier aufeinanderfolgender Schläge insgesamt geringer als die Streuung der zeitlichen Dauer der einzelnen Schläge jedes Partners (vgl. auch Loosch, 1993). Dieses Ergebnismuster ist ein wichtiger Befund für Anpassungseffekte zwischen zwei Partnern beim Lösen kooperativer Aufgaben.

Georgiou, Becchio, Glover und Castiello (2007) prüften das Verhalten von Vpn in einer motorischen Aufgabe bei der ein hölzerner Gegenstand von einer Start- auf eine Zielposition platziert werden sollte. Die Aufgabe sollte entweder als Einzelbedingung (normales vs. schnellstmögliches Tempo), als Paarbedingung mit einem passiven Beobachter (normales vs. schnellstmögliches Tempo), als Paarbedingung (kooperativ) mit einem Partner oder als Wettkampf (kompetitiv) so schnell wie möglich ausgeführt werden. Zum einen zeigte sich, dass ein passiver Beobachter keinen Einfluss auf die Bewegungszeiten der handelnden Vpn hat. Zum anderen benötigten die Vpn bei der kooperativen Handlung im Vergleich zur alleinigen Handlung mehr Zeit. Die Autoren begründen dies damit, dass Vpn anscheinend zusätzliche Zeit während der kooperativen Handlung dafür benötigen, ihre Handlungen zu synchronisieren. Der Vergleich von kooperativer und kompetitiver Handlung ergab wie erwartet schnellere Bewegungszeiten für die „Wettkampfbedingung“, allerdings waren diese Bewe-

gungszeiten sogar schneller als in der Einzelbedingung, in der die Vpn so schnell wie möglich agieren sollten. Damit scheint der kompetitive Aufgabencharakter die Bewegungsgeschwindigkeit zusätzlich zu steigern.

Heed, Habets, Sebanz und Knoblich (2010) entwickelten eine Interferenzaufgabe, in der Vpn mit einer Fußbewegung (nach oben/unten) auf einen relevanten taktilen Stimulus und nicht auf einen irrelevanten visuellen Stimulus (einen Würfel in der Hand) reagieren sollten. Taktile und visuelle Reize konnten übereinstimmen (kongruente Bedingung) oder interferieren (inkongruente Bedingung). Neben den erwarteten Kongruenzeffekten reagierten Vpn schneller und genauer in den inkongruenten Bedingungen, wenn ein Partner (kooperativ) zeitgleich auf die (irrelevanten) visuellen Reize antwortete. Die kooperative Übernahme der Aufgabe des Partners scheint es für Vpn leichter zu machen, den interferierenden Stimulus zu ignorieren, da dieser in den Aufgabenbereich des Ko-Akteurs fällt. Der Ko-Akteur musste sich dazu jedoch tatsächlich sichtbar im Raum befinden. Eine räumliche Trennung der Partner (d.h. die bloße Instruktion: ein mitarbeitender Partner befände sich in einem Nebenraum) führte nicht zu einer Reduktion des Kongruenzeffektes (Heed et al., 2010).

Um das Unterkapitel „Intendierte Koordination“ zusammenzufassen, bleibt festzuhalten, dass intendierte Koordinationsprozesse kognitive Ressourcen benötigen, die sich in verlangsamten Reaktionszeiten (Sebanz et al., 2003; Vesper et al., 2011), erhöhten Fehlerraten und erhöhten neuronalen Korrelaten (Newman-Norlund et al., 2008; Sebanz et al., 2006b; Sebanz et al., 2007) widerspiegeln. Vpn müssen dabei immer ein konkretes Handlungsergebnis erwarten (Sebanz et al., 2003). Für die Bildung gemeinsamer Repräsentationsstrukturen gilt eine klare Aufgabenteilung in der Paarbedingung (Sebanz et al., 2006b). Die Ergebnisse der Studien deuten darauf hin, dass sich zwei Ko-Akteure, die eine bestimmte Handlungsabsicht verfolgen und jeder einen Teil der Aufgabe übernimmt, genauso verhalten als wenn eine Einzelperson eine Zweifachwahlaufgabe absolviert. Individuen können eine gemeinsame Wahrnehmung bilden (Böckler et al., 2011; Richardson et al., 2012), die sich jedoch nicht bewusst unterdrücken lässt (Samson et al., 2010). So genannte „*coordination smoother*“ (Vesper et al., 2010) werden dazu verwendet, Handlungen im Interaktionskontext besser zu koordinieren. Dazu zählt neben geringeren Bewegungsgeschwindigkeiten (Vesper et al., 2010), die Bereitstellung von Koordinationssignalen (Sprache: Clark, 1996; Fingerbewegungen: Goebel & Palmer, 2009), die Einschränkung und Strukturierung auf naheliegende Aspekte (Brennan et al., 2008) oder die Reduktion der Bewegungsvervielfältigung (Vesper et al., 2011). Durch die Anwesenheit eines Partners können Effekte der *sozialen Fazilitation* im Interaktionskontext sowohl unter kooperativen als auch kompetitiven Bedingungen entstehen (Georgiou et al., 2007; Heed et al., 2010; Triplett, 1898).

4 Das Fitts'sche Gesetz im Interaktionskontext

Sollen zwei Handlungen gleichzeitig ausgeführt werden, dann müssen die einzelnen Bewegungen und Ziele aufeinander abgestimmt werden. Dies ist in einer großen Anzahl an Studien in der Forschung zur bi-manuellen Koordination untersucht worden (Swinnen, 2002; Swinnen & Wenderoth, 2004). Nach Kunde (2006) beinhaltet die Koordination zweier Bewegungshandlungen die Antizipation von Effektrepräsentationen, die sich auf die Kombinierbarkeit zweier Einzelhandlungen auswirken. Dabei fällt es leichter, zwei Bewegungen zu kombinieren, die zu gleichen Handlungszielen bzw. -effekten führen als zu unterschiedlichen (z.B. Kunde & Weigelt, 2005; Mechsner et al., 2001).

“...performance in bimanual choice reaction tasks is constrained by the creation and maintenance of goal codes rather than by properties inherent in the neuromuscular system that carries out these responses. These goals can relate to either body-intrinsic states or to body-extrinsic states according to the actor's current intentions” (Kunde & Weigelt, 2005, S. 145).

Danach ergeben sich gerichtete Interaktionseffekte zwischen zwei Bewegungen auf Basis der (experimentellen) Randbedingungen der zu bearbeitenden Aufgaben (z.B. daraus, wie gut gleiche oder unterschiedliche Handlungsziele bzw. -effekte miteinander kombiniert werden können). Dies sollte sich auch auf die gleichzeitige Bearbeitung von Fitts'schen Aufgaben auswirken. Im Folgenden werden Evidenzen für diese Annahme aus Studien zur intra-personellen und inter-personellen Koordination vorgestellt.

4.1 Interaktionsmuster unter intra-personellen Bedingungen

Zunächst konnten Kelso und Kollegen (Kelso, Southard, & Goodman, 1979; Kelso, Putnam, & Goodman, 1983) nachweisen, dass Vpn in einer intra-personellen bi-manuellen Aufgabe ihre Hände simultan bewegen, obwohl die experimentellen Randbedingungen (Raum- und Präzisionsanforderungen) für beide Extremitäten unterschiedlich waren. Die Vpn sollten dafür – ähnlich der Tapping-Aufgabe von Fitts (1954, Experiment 1) – mit den Händen auf verschieden große Zielfelder tippen. In der uni-manuellen Versuchsbedingung, d.h. wenn die Vpn mit nur einer Hand agieren sollten, wirkten sich die räumlichen Anforderungen (Distanz und Größe des Zieles) im Sinne des Fitts'schen Gesetzes auf die Bewegungsgeschwindigkeiten aus, sodass bei kleineren Zielen und größeren Distanzen mehr Zeit benötigt wurde. In der bi-manuellen Bedingung passte sich die jeweilige Extremität mit der „leichteren“ Aufgabenschwierigkeit an die der „schwereren“ an, sodass für beide Hände annähernd gleichen Reaktionszeiten, Bewegungszeiten und Beschleunigungen gemessen wurden. D.h. die Vpn führten die beiden Bewegungshandlungen zeitlich synchron aus, obwohl das nicht

explizit von ihnen verlangt wurde. Dies bedeutet aber auch gleichzeitig, dass das Fitts'sche Gesetz für die Ausführung der Bewegungshandlung für die Hand mit der leichteren Aufgabe verletzt wurde. Dieser Befund legt nahe, dass bei der Planung zweier Handlungen die jeweiligen Rahmenbedingungen der Aufgabe(n) berücksichtigt und diese in den Handlungsplan integriert werden. Insgesamt lieferten die Studien von Kelso et al. (1979, 1983) wichtige Hinweise für systematische Interaktionseffekte, die während der gleichzeitigen Ausführung zweier Bewegungshandlungen wirksam werden.

Solche systematischen Interaktionseffekte bei der bi-manuellen Koordination von Fitts'schen Aufgaben wurden vielfach repliziert (z.B. Fowler, Duck, Mosher, Mathieson, 1991; Marteniuk, MacKenzie, & Baba, 1984; Shea, Boyle, & Kovacs, 2012). Als Ursachen für die intra-personellen Interaktionsmuster zwischen linker und rechter Hand wurden zunächst Kopplungsphänomene auf der Grundlage des symmetrischen Aufbaus des neuromuskulären Systems und des interhemisphärischen Austauschs neuronaler Signale während der Bewegungsausführung diskutiert (für eine Übersicht siehe Swinnen, 2002). Neuere Arbeiten schlagen dagegen die Vereinbarkeit von Handlungsziel- und Handlungseffektrepräsentationen für die Kombinierbarkeit zweier Aufgaben vor (z.B. Kunde, 2006; Kunde & Weigelt, 2005; Mechsner et al., 2001). Letztere Annahme bietet einen Erklärungsansatz für systematische Interaktionsmuster beim Lösen kooperativer Aufgaben unter inter-personellen Bedingungen, wie sie in einer Reihe von aktuellen Studien berichtet wurden (Knoblich et al., 2011; Sebanz et al., 2006a). Danach sind kognitive Repräsentationen der eigenen und fremden Handlung bzw. der Effekte, die mit diesen Handlungen einhergehen, eine Grundvoraussetzung, um im sozialen Kontext erfolgreich zu handeln (vgl. auch Wilson & Knoblich, 2005). Sebanz et al. (2006a) sprechen in diesem Zusammenhang von Ko-Repräsentationen, in denen die eigene Aufgabe und die des Partners gemeinsam repräsentiert werden. Ob dies auch für Fitts'sche Aufgaben zutrifft, die gleichzeitig von zwei Partnern gelöst werden sollen, wird im folgenden Abschnitt betrachtet.

4.2 Interaktionsmuster unter inter-personellen Bedingungen

Inwieweit sich systematische Interaktionsmuster in einer Fitts'schen Aufgabe finden lassen, während zwei Personen diese gleichzeitig ausführen, untersuchten erstmals Mottet und Kollegen (2001). Dazu sollten Vpn in drei Einzelbedingungen entweder (1) einen einzelnen Lichtpunkt so schnell wie möglich mit einem durch zwei Lichtpunkte begrenztes Zielfeld in Übereinstimmung bringen, (2) das Zielfeld schnellstmöglich zu einem Lichtpunkt führen oder (3) sowohl das Zielfeld mit der einen Hand und den Lichtpunkt mit der anderen Hand gleichzeitig aufeinander zu bewegen. Anschließend sollten sie in einer Paarbedingung (4), in der eine Person den Lichtpunkt und die andere das Zielfeld steuerte, zusammenarbeiten.

Nach den Ergebnissen behielt das Fitts'sche Gesetz seine Gültigkeit für jede der intra- und interpersonellen Bedingungen, d.h. dass die BZ auch beim Lösen einer kooperativen Aufgabe zweier Partner von den experimentellen Randbedingungen (Schwierigkeitsindex) abhängen. Die Versuchspaare benötigten zur Ausführung schwieriger Aufgabenbedingungen mehr Zeit als für einfache Aufgaben. Zusätzlich ergab eine Analyse der Bewegungsfehler (BF), dass auch die Anzahl der Fehler mit höherem SI anstieg. Dabei unterschieden sich die BF wiederum nicht zwischen den Einzel- und Paarbedingungen. In den Bedingungen, in denen zwei Handlungen gleichzeitig koordiniert werden mussten, ergaben sich insbesondere keine Unterschiede in Abhängigkeit davon, ob die beiden Aufgaben von einer Person (intra-personelle Bedingung) oder von zwei Personen (inter-personelle Bedingung) ausgeführt wurden (Mottet et al., 2001).

Dazu widersprüchliche Ergebnisse fanden Fine und Amazeen (2011), die das Fitts'sche Gesetz auf eine Partneraufgabe übertrugen, bei der jede Vpn eines Versuchspaares – ähnlich der Tapping-Aufgabe von Fitts (1954, Experiment 1) – mit dem Zeigefinger zwischen zwei Zielfelder hin und her pendeln sollte. In drei Versuchsbedingungen agierten die Vpn entweder als Einzelperson einhändig (uni-manuell), mit beiden Händen (bi-manuell-intrapersonell) und gemeinsam mit einem Partner einhändig (uni-manuell-interpersonell). Die Analyse der alternierenden Pendelbewegungen ergab, dass die Paare, auch in den Bedingungen mit unterschiedlichem SI^{13} zwischen den Vpn, in ein koordiniertes raum-zeitliches (emergentes) Bewegungsmuster verfielen. Abweichungen von der Fitts'schen Regressionsgerade in den intra- und interpersonellen Bedingungen mit ungleichen SI's, deuteten darauf hin, dass Vpn dazu neigten die Bewegungen der einzelnen Effektoren aneinander anpassen. Die Ergebnisse der uni-manuellen Aufgabe dokumentieren einen Anstieg der BZ mit zunehmender Schwierigkeit, aber keinen Unterschied zwischen den beiden Händen. Auch bei zweihändigen Aufgaben wiesen die beiden Hände keine solchen Differenzen auf. In den intra- und interpersonellen Aufgaben wurde das Fitts'sche Gesetz allerdings „verletzt“. Nach diesem Ergebnis beeinflussen interpersonelle Synchronisationsprozesse die Interaktion zweier Partner auch dann, wenn dies nicht explizit verlangt wird. Die Hand mit der leichteren Aufgabe passte sich tendenziell dem Tempo der Hand mit der schwierigeren Aufgabe an. Vpn gelingt es also nicht (weder in der Einzel- noch in der Paarbedingung) bei motorischen Aufgaben mit unterschiedlichen SI's voneinander unabhängige Bewegungen zu produzieren (Fine & Amazeen, 2011), was sich in systematischen Interaktionseffekten widerspiegelt.

Eine weitere Studie in der sich Vpn in eine Handlung eines Partners hineinversetzen mussten, führten Meulenbroek und Kollegen (2007) durch. Die Aufgabe der Vpn war es da-

¹³ Für die Kombination zweier Aufgabenschwierigkeiten wurde der SI als arithmetisches Mittel der beiden individuellen Indizes berechnet. Die unimanuelle Aufgabenbedingung wurde sowohl mit der rechten als auch mit der linken Hand ausgeführt.

bei, einen Gegenstand aufzunehmen und einem anderen Partner zu überreichen (im Folgenden mit „Steller“ benannt), der diesen danach auf einer neuen Position platzierte (im Folgenden mit „Nehmer“ benannt). Sie nutzten den Geschwindigkeits-Genauigkeitsausgleich (Fitts, 1954) dabei operationalisierend, um mögliche Anpassungseffekte zwischen den Akteuren zu finden. Gleichzeitig wurde der Steller in einigen Fällen mittels der Größe-Gewicht-Illusion¹⁴ über das tatsächliche Gewicht des zu manipulierenden Objekts getäuscht. Über eine systematische Analyse der Bewegungstrajektorien der Hand¹⁵ konnten die Autoren eine leichte Adaptation der Nehmer-Geschwindigkeit abhängig von der Annäherungsgeschwindigkeit des Stellers finden. Näherte sich der Steller relativ langsam (z.B. aufgrund der erhöhten Präzisionsanforderungen) an das Zielfeld an, reduzierte der Nehmer seine Geschwindigkeit minimal, obwohl seine individuellen Präzisionsanforderungen geringer waren. Bei gleich großen Zielflächen beider Partner fielen die Bewegungszeiten (BZ) nahezu identisch aus. Das heißt die Geschwindigkeit der Bewegungsausführung des Nehmers passte sich an die Bewegungsgeschwindigkeit an mit der sich der Steller annäherte. Außerdem ließ sich der Nehmer weniger von der Größe-Gewicht-Illusion täuschen. Diese Ergebnisse deuten auf Interaktionseffekte zwischen den Vpn und auf eine Mitverarbeitung der Partneraufgabe hin. Nach Meulenbroek et al. (2007) nutzten die Nehmer insbesondere die Beobachtung der Bewegungstrajektorie des Stellers als zusätzliche Informationsquelle für die eigene (Neu-)Programmierung der Bewegung.

Abschließend ist eine jüngere Studie von Vesper und Kollegen (2013a) zu erwähnen. Die Autoren untersuchten, ob sich systematische Interaktionsmuster zwischen zwei Partnern auch dann nachweisen lassen, wenn der andere Partner während der gemeinsamen Bearbeitung der Aufgabe nicht zu sehen ist. In diesen Fällen stand den Vpn keine „online“-Information über das Verhalten des Partners zur Verfügung. Die Partner sollten dafür Sprünge nach vorne auf verschiedenen große Zielfelder ausführen. Dabei waren die Vpn durch einen Vorhang getrennt, so dass sie sich gegenseitig nicht sehen konnten. Sie erhielten lediglich Informationen über die eigene zu absolvierende Sprungweite und die des Partners. Ein akustisches Signal ertönte über die Kopfhörer bei jeder Landung auf einem Zielfeld (eigene Sprünge und die des Partners). Die Vpn sprangen sowohl in Einzel- als auch Paarbeingungen. Der größte Unterschied zu den vorangegangenen Studien war, dass die beiden Versuchspartner durch einen Vorhang voneinander getrennt waren und ihre Aufgabe trotzdem darin bestand möglichst gleichzeitig am Ziel anzukommen (*Abbildung 17*).

¹⁴ Die Größe-Gewicht-Illusion (Charpentier, 1891) entsteht, wenn Personen das Gewicht eines Objektes anhand ihrer Größe einschätzen. Zeigt man Vpn zwei Objekten exakt gleicher Masse wird von ihnen das Größere für schwerer gehalten.

¹⁵ Bei einer Bewegungstrajektorie handelt es sich um die Bewegungsbahn eines Objekts (hier: der Hand), welche den Bewegungspfad in räumlich zeitlicher Dimension widerspiegelt.

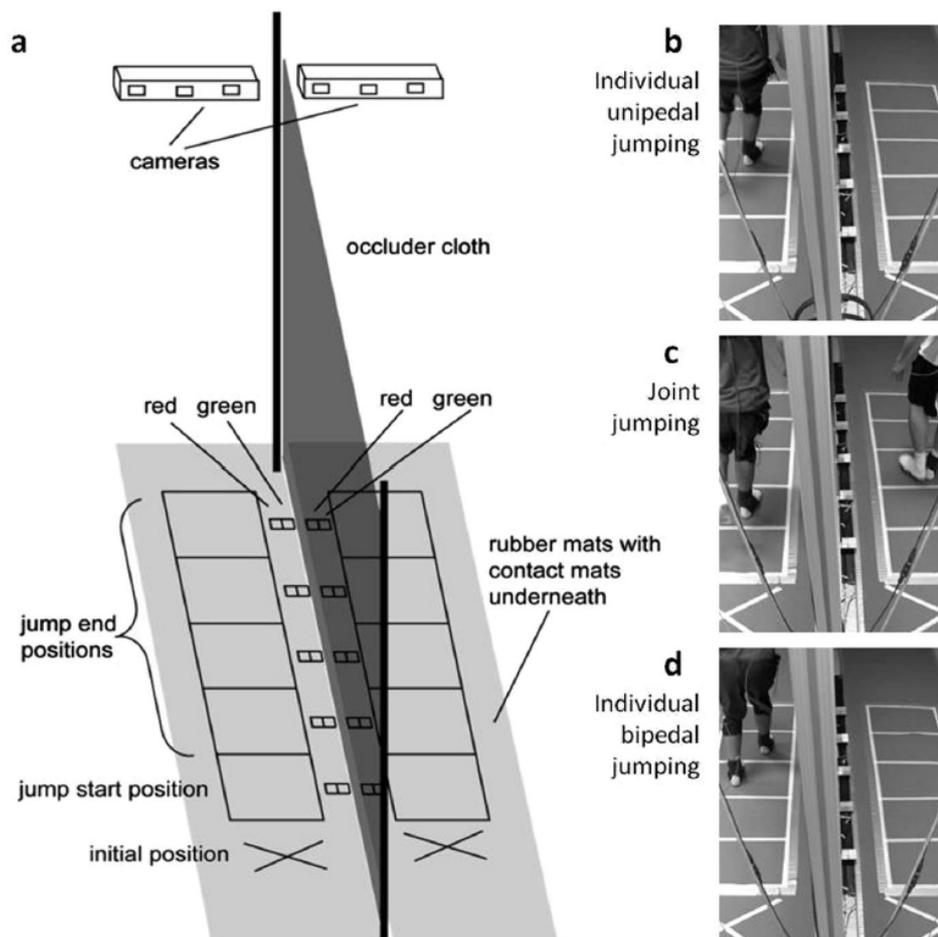


Abbildung 17: (a) Schematische Darstellung des Versuchsaufbaus aus Vesper et al. (2013a). (b) Individuelle unipedale Bedingung, in der die Vpn alleine auf einem Fuß sprangen. (c) Gemeinsame Bedingung, in der die Vpn nebeneinander auf einem Bein sprangen. Das Ziel war es, zeitlich gleichzeitig auf den Zielfeldern zu landen. (d) Individuelle bi-pedale Bedingung, in der die Vpn mit beiden Beinen gleichzeitig landen sollten.

Die Sprungzeiten waren in der Paarbedingung generell länger als in der Einzelbedingung und wurden durch die Sprungdistanz des Partners moduliert. Danach initiierten die Vpn ihre Bewegungen in den Paarbedingungen später als in den Einzelbedingungen, wenn der Ko-Akteur eine größere Distanz als sie selbst zu springen hatte. Dies deutet auf einen Anpassungseffekt an den Partner in der Paarbedingung hin. Dieser Anpassungseffekt fand sich auch in der maximalen Sprunghöhe und der räumlichen Präzision der Landung und zwar immer ausgehend von dem Partner, der die leichtere Aufgabe, also die kürzere Distanz zu überbrücken hatte. Dieser Effekt lässt sich auf das Wissen über die Sprungdistanz des Partners zurückführen. Zusammenfassend schlossen die Autoren, dass höhere mentale Prozesse die Bearbeitung von kooperativen Aufgaben auch „offline“ beeinflussen können, d.h. wenn keine „online“-Informationen über das Verhalten des Partners zur Verfügung stehen. Die Partner sind zu synchronen Handlungen in der Lage, auch wenn sie die Partnerhandlung mental (anhand des Parameters „Distanz“) simulieren müssen (vgl. Vesper et al., 2013a).

Zusammengefasst zeigen demnach vier Studien (Fine & Amazeen, 2011; Mottet et al., 2001; Meulenbroek et al., 2007; Vesper et al., 2013a) systematische Interaktionseffekte zwischen zwei Partnern, während sie eine kooperative Aufgabe auf Basis des Fitts'schen Gesetzes lösen. Dabei wurde das Fitts'sche Gesetz bei Fine und Amazeen (2011) – zumindest für den Partner mit der leichteren Aufgabe – verletzt. Dies galt auch in der Sprungaufgabe von Vesper und Kollegen. In der Studie von Mottet et al. (2001) ergaben sich hingegen keine Unterschiede zwischen EB und PB, wenn die Vpn zwei Bewegungen auf ein gemeinsames Ziel hin ausführten. Der Nehmer in der Studie von Meulenbroek et al. (2007) passt sich trotz unterschiedlicher Aufgabenanforderungen zumindest teilweise an den Steller an.

4.3 Motivation der eigenen Studien

Bislang existieren nur einige wenige Studien, die das Fitts'sche Gesetz (Fitts, 1954) im Kontext von Partnerinteraktionen beim Lösen kooperativen Aufgaben prüfen. Obwohl es laut Schmidt und Lee (2005, 154) „*the most fundamental principle of human movement*“ ist, könnte die Fitts'sche Formulierung auf Grundlage der oben beschriebenen Befunde zum gemeinsamen Handeln (Kapitel 3; *joint action*) durch den Handlungskontext (Anwesenheit eines Ko-Akteurs) moduliert werden. Das **erste Ziel** dieser Arbeit ist es daher zu prüfen, ob sich ein Geschwindigkeits-Genauigkeits-Ausgleich (engl. *speed-accuracy-trade off*) auf Basis der Aufgabenschwierigkeit bei Bewegungshandlungen, die wechselseitig mit einem Partner erfolgen, findet. In diesem Fall sollten sich die Probanden an die experimentellen Randbedingungen der Aufgabe anpassen und sich *emergente Koordinationsmuster* im Sinne des Fitts'schen Gesetzes nachweisen lassen. Das **zweite Ziel** ergibt sich aus dem Handlungskontext selbst. Hier stellt sich die Frage, ob die gemeinsame Bearbeitung der Aufgabe mit einem Ko-Akteur zu *systematischen Interaktionsmustern* zwischen den Partnern führt. Von systematischen Interaktionsmustern würde man dann sprechen, wenn die Koordinationsmuster eines Partners (bzw. beider Partner) durch die gleichzeitige Durchführung der Aufgabe mit einem anderen Partner verändert werden. Das **dritte Ziel** ist die Betrachtung der Koordinations- und Interaktionsmuster über Aufgaben unterschiedlicher Komplexität hinweg. Dabei ist es von Interesse, ob sich die Effekte des Fitts'schen Gesetzes von kleinräumigen (z.B. Scheibentransferaufgabe; vgl. Fitts, 1954, Experiment 2) auf großräumige Bewegungshandlungen (z.B. Basketballpassaufgabe; Experimentalreihe 3 in der vorliegenden Arbeit) generalisieren lassen. Danach sollten sich die gleichen Koordinations- und Interaktionsmuster unabhängig von der Komplexität der Aufgabe ergeben.

In den folgenden drei Experimentalreihen wurde dafür die Komplexität der Untersuchungsaufgabe sukzessive erhöht. Versuchspaare führten gemeinsam eine *einfache Objektmanipulation* (Scheibentransferaufgabe; Experimente 1-3), eine *Objektmanipulation mitt-*

lerer Komplexität (Wurfaufgabe; Experimente 4-6) und eine *komplexe sportspielspezifische Fertigkeit* (Basketballpassaufgabe; Experimente 7-9) aus. Die experimentellen Randbedingungen der Aufgaben wurden so manipuliert, dass deren Anforderungen über eine Spanne unterschiedlicher Schwierigkeitsindizes variierten.

Eine der Stärken der unten aufgeführten Untersuchungen (Kapitel 6-8) liegt darin, dass zwar rhythmische Bewegungen (wie bei Kelso et al., 1984; Oullier et al, 2008 und auch Fitts, 1954) genutzt werden, die dennoch ein konkretes (kooperatives) Handlungsziel verfolgen (wie bei Sebanz, 2003, 2006b, 2007 oder Vesper et al., 2010, 2013a). Man spricht hier von *seriellen Bewegungen*, die eine Summe mehrerer Teilbewegungen sind. Sie beinhalten sowohl kontinuierliche als auch diskrete Elemente (Schmidt & Lee, 2005). Damit kann die Kritik der fehlenden Kontinuität (Rhythmus) oder des fehlenden Handlungszieles (Intention) der Bewegung bei der Betrachtung der individuellen Koordinationsmuster umgangen werden. Darüber hinaus findet in den folgenden Experimenten eine *differenziertere Abstufung des Schwierigkeitsindex* statt. Durch die orthogonale Kombination dreier Distanzen mit drei Zielgrößen – wie bereits bei Fitts (1954) und Fitts und Peterson (1964) – ergaben sich Aufgaben unterschiedlicher Schwierigkeit. In der Studie von Fine und Amazeen (2011) wurden nur zwei unterschiedliche Schwierigkeitsindizes genutzt. Bei Mottet und Kollegen (2001) waren es sechs Schwierigkeitsindizes. In der Studie von Vesper und Kollegen (2013a) wurde ausschließlich die Distanz zwischen den Zielfeldern, allerdings nicht die Zielfeldgröße selbst variiert, sodass hier nicht zwangsläufig von einer Fitts'schen Aufgabe gesprochen werden kann. Meulenbroek und Kollegen (2001) nutzten ebenfalls nur zwei unterschiedlich große Zielfelder und hielten die Distanz zwischen Objektübergabepunkt und Zielfeld konstant. Die differenzierte Abstufung in den unten aufgeführten Experimenten (insgesamt sieben unterschiedlich schwere Aufgaben, da durch die orthogonale Kombination jeweils zwei SI's doppelt vorkamen) ermöglicht es, mit Hilfe von Regressionsanalysen die Abhängigkeiten zwischen der Aufgabenschwierigkeit und der benötigten Bewegungszeit bzw. der Anzahl an Bewegungsfehlern exakter zu erfassen. Außerdem bietet die Dopplung von gleichen Schwierigkeitsindizes aus unterschiedlichen Distanz-Zielgröße-Kombinationen den separaten Vergleich des Einflusses von Distanz und Zielgröße in zusätzlichen Analysen.

Vor dem Hintergrund der theoretischen Einleitung, der aktuellen Befunde zur Joint-Action-Forschung und der Berücksichtigung der drei für diese Arbeit formulierten Ziele, werden im nächsten Kapitel (Kapitel 5) die Hypothesen für die einzelnen Experimente hergeleitet.

5 Hypothesen

Die drei Experimentalreihen untersuchen die Gültigkeit des Fitts'schen Gesetzes für die Partnerinteraktion beim Lösen kooperativer Aufgaben. Dafür sollten die Versuchspaare gemeinsam *einfache Objektmanipulationen* (eine Scheibentransferaufgabe in Experimentalreihe 1, Experiment 1-3), *Objektmanipulationen mittlerer Komplexität* (eine Wurf Aufgabe in Experimentalreihe 2, Experiment 4-6) und eine *komplexe sportspielspezifische Fertigkeit* (eine Basketballpassaufgabe in Experimentalreihe 3, Experiment 7-9) durchführen. Die experimentellen Randbedingungen ergaben auf Basis des Fitts'schen Gesetzes unterschiedliche Schwierigkeitsindizes für die jeweiligen Aufgaben durch die systematische Kombination verschiedener *Distanzen* und *Zielgrößen* (Fitts, 1954). Dies ermöglicht es, den spezifischen Einfluss der jeweiligen Aufgabenschwierigkeit auf die Koordinationsmuster aus einer informationstheoretischen Perspektive für die unterschiedlichen experimentellen Bedingungen über alle Aufgaben hinweg zu vergleichen. Dabei ist zunächst die Frage von Interesse, ob sich die *emergenten Koordinationsmuster* quantitativ über das Fitts'sche Gesetz abbilden lassen (Forschungsfrage 1). Weiterhin soll die Frage *nach gerichteten Interaktionen bzw. systematischen Interaktionsmustern* zwischen den Partnern (im Sinne von *joint action*) beim Lösen der jeweiligen kooperativen Aufgabe beantwortet werden (Forschungsfrage 2). Die abschließende Betrachtung widmet sich der Frage, ob sich vergleichbare Koordinations- und Interaktionsmuster für Aufgaben unterschiedlicher Komplexität finden (Forschungsfrage 3).

5.1 Experimentalreihe 1 - „Scheibentransferaufgabe“

Für die Experimentalreihe 1 „Scheibentransferaufgabe“ werden die Nullhypothese und die (ungerichtete) Alternativhypothese aufgestellt:

Nullhypothese 1.1: Die Koordinationsmuster zweier Partner beim wechselseitigen Transfer von Scheiben (einfache Objektmanipulationsaufgabe) werden nicht durch die experimentellen Randbedingungen beeinflusst und lassen sich somit auch nicht quantitativ über das Fitts'sche Gesetz abbilden.

Alternativhypothese 1.1: Die Koordinationsmuster zweier Partner beim wechselseitigen Transfer von Scheiben (einfache Objektmanipulationsaufgabe) werden durch die experimentellen Randbedingungen beeinflusst und lassen sich quantitativ über das Fitts'sche Gesetz abbilden.

Nullhypothese 1.2: Beim Lösen der kooperativen Aufgabe (hier Scheibentransfer) entstehen keine systematischen Interaktionsmuster zwischen den Partnern.

Alternativhypothese 1.2: Beim Lösen der kooperativen Aufgabe (hier Scheibentransfer) entstehen systematische Interaktionsmuster zwischen den Partnern.

Unter Berücksichtigung des aktuellen Forschungsstandes zum Fitts'schen Gesetz und der Partnerinteraktion (*joint action*) ergeben sich folgende gerichtete Forschungshypothesen für die Experimentalreihe 1 „Scheibentransferaufgabe“:

Forschungshypothese 1.1: Auf Basis des Fitts'schen Gesetzes lässt sich ein spezifischer Einfluss der Aufgabenschwierigkeit auf die Koordinationsmuster der beiden Partner beim Lösen der Scheibentransferaufgabe nachweisen. In diesem Zusammenhang sollten höhere Schwierigkeitsindizes der Aufgabe zu langsameren Bewegungszeiten (BZ) und einer erhöhten Anzahl an Bewegungsfehlern (BF) führen.

Forschungshypothese 1.2: Der Vergleich zwischen Einzel- und Paarbedingungen beim Lösen von Aufgaben gleicher Schwierigkeit ermöglicht die Betrachtung systematischer Interaktionsmuster zwischen beiden Partnern (s.g. Partnerinteraktionseffekte). Dies sollte sich in selektiven Interaktionskosten, wie etwa langsameren Bewegungszeiten (BZ) und einer erhöhten Anzahl an Bewegungsfehlern (BF) in den Paarbedingungen gegenüber den Einzelbedingungen, widerspiegeln.

Forschungshypothese 1.3: Durch den Vergleich beider Partner beim Lösen von Aufgaben unterschiedlicher Schwierigkeit lassen sich gerichtete Interaktionseffekte untersuchen. Dabei sollte es zur Anpassung der Koordinationsmuster bei der Ausführung von Bewegungen zu jeweils unterschiedlichen Aufgabenanforderungen kommen, indem sich die Bewegungsausführung der leichteren Aufgabe an den Anforderungen der schwereren Aufgabe orientiert.

5.2 Experimentalreihe 2 - „Wurfaufgabe“

Die Nullhypothese und die (ungerichtete) Alternativhypothese für die Experimentalreihe 2 „Wurfaufgabe“ lauten:

Nullhypothese 2.1: Die Koordinationsmuster zweier Partner beim wechselseitigen Werfen von Bällen (Objektmanipulation mittlerer Komplexität) werden nicht durch die experimentellen Randbedingungen beeinflusst und lassen sich somit auch nicht quantitativ über das Fitts'sche Gesetz abbilden.

Alternativhypothese 2.1: Die Koordinationsmuster zweier Partner beim wechselseitigen Werfen von Bällen (Objektmanipulation mittlerer Komplexität) werden durch die experimentellen Randbedingungen beeinflusst und lassen sich quantitativ über das Fitts'sche Gesetz abbilden.

Nullhypothese 2.2: Beim Lösen der kooperativen Aufgabe (hier Wurfaufgabe) entstehen keine systematischen Interaktionsmuster zwischen den Partnern.

Alternativhypothese 2.2: Beim Lösen der kooperativen Aufgabe (hier Wurfaufgabe) entstehen systematische Interaktionsmuster zwischen den Partnern.

Für die Experimentalreihe 2 „Wurfaufgabe“ werden auf Basis des aktuellen Forschungsstandes folgende gerichtete Forschungshypothesen aufgestellt (die sich unmittelbar an den Hypothesen der Experimentalreihe 1 „Scheibentransferaufgabe“ orientieren):

Forschungshypothese 2.1: Auf Basis des Fitts'schen Gesetzes lässt sich ein spezifischer Einfluss der Aufgabenschwierigkeit auf die Koordinationsmuster der beiden Partner beim Lösen der Wurfaufgabe nachweisen. In diesem Zusammenhang sollten höhere Schwierigkeitsindizes der Aufgabe zu langsameren Bewegungszeiten (BZ) und einer erhöhten Anzahl an Bewegungsfehlern (BF) führen.

Forschungshypothese 2.2: Der Vergleich zwischen Einzel- und Paarbedingungen beim Lösen von Aufgaben gleicher Schwierigkeit ermöglicht die Betrachtung systematischer Interaktionsmuster zwischen beiden Partnern (s.g. Partnerinteraktionseffekte). Dies sollte sich in selektiven Interaktionskosten, wie etwa langsameren Bewegungszeiten (BZ) und einer erhöhten Anzahl an Bewegungsfehlern (BF) in den Paarbedingungen gegenüber den Einzelbedingungen, widerspiegeln.

Forschungshypothese 2.3: Durch den Vergleich beider Partner beim Lösen von Aufgaben unterschiedlicher Schwierigkeit lassen sich gerichtete Interaktionseffekte untersuchen. Dabei sollte es zur Anpassung der Koordinationsmuster bei der Ausführung von Bewegungen zu jeweils unterschiedlichen Aufgabenanforderungen kommen, indem sich die Bewegungsausführung der leichteren Aufgabe an den Anforderungen der schwereren Aufgabe orientiert.

5.3 Experimentalreihe 3 - „Basketballpassaufgabe“

Die Experimentalreihe 3 „Basketballpassaufgabe“ betrachtet insbesondere den Einfluss einzelner Raumdimensionen auf die Koordinationsmuster beider Partner. Es werden die folgende Nullhypothese und die (ungerichtete) Alternativhypothese formuliert:

Nullhypothese 3: Die Koordinationsmuster zweier Partner beim wechselseitigen Passen eines Basketballs (komplexe sportspielspezifische Fertigkeit) werden nicht durch die experimentellen Randbedingungen beeinflusst und lassen sich somit auch nicht quantitativ über das Fitts'sche Gesetz abbilden.

Alternativhypothese 3: Die Koordinationsmuster zweier Partner beim wechselseitigen Passen eines Basketballs (komplexe sportspielspezifische Fertigkeit) werden durch die experimentellen Randbedingungen beeinflusst und lassen sich quantitativ über das Fitts'sche Gesetz abbilden.

Anhand der Forschungen zum Fitts'schen Gesetz werden folgende gerichtete Forschungshypothesen hergeleitet:

Forschungshypothese 3.1: Bei der isolierten Betrachtung der Raumdimension „Breite“ hat die Aufgabenschwierigkeit auf Basis des Fitts'schen Gesetzes einen spezifischen Einfluss auf die Koordinationsmuster der beiden Partner beim Lösen der Basketballaufgabe. Höhere Schwierigkeitsindizes (als Kombinati-

on der Breite des (Pass-)Korridors und der Distanz zwischen den Partnern) der Aufgabe führen zu langsameren Bewegungszeiten (BZ) und einer erhöhten Anzahl an Bewegungsfehlern (BF).

Forschungshypothese 3.2: Bei der isolierten Betrachtung der Raumdimension „Höhe“ hat die Aufgabenschwierigkeit auf Basis des Fitts'schen Gesetzes einen spezifischen Einfluss auf die Koordinationsmuster der beiden Partner beim Lösen der Basketballaufgabe. Höhere Schwierigkeitsindizes (als Kombination der Höhe des (Pass-)Korridors und der Distanz zwischen den Partnern) der Aufgabe führen zu langsameren Bewegungszeiten (BZ) und einer erhöhten Anzahl an Bewegungsfehlern (BF).

Forschungshypothese 3.3: Bei der isolierten Betrachtung der Raumdimension „Tiefe“ hat die Aufgabenschwierigkeit auf Basis des Fitts'schen Gesetzes einen spezifischen Einfluss auf die Koordinationsmuster der beiden Partner beim Lösen der Basketballaufgabe. Höhere Schwierigkeitsindizes (als Kombination der Tiefe des (Pass-)Korridors und der Distanz zwischen den Partnern) der Aufgabe führen zu langsameren Bewegungszeiten (BZ) und einer erhöhten Anzahl an Bewegungsfehlern (BF).

5.4 Gesamtbetrachtung - Experimentalreihen 1 bis 3

Die abschließende Betrachtung widmet sich der Frage, ob sich vergleichbare Koordinationsmuster für Aufgaben unterschiedlicher Komplexität über alle Experimente der drei Experimentalreihen hinweg finden (Forschungsfrage 3). Es werden die folgende Nullhypothese und die (ungerichtete) Alternativhypothese formuliert:

Nullhypothese 4: Über alle Experimente der drei Experimentalreihen hinweg lässt sich kein Unterschied für den spezifischen Einfluss der Aufgabenschwierigkeit auf die Koordinationsmuster der beiden Partner nachweisen, sodass in jeder Aufgabe steigende Aufgabenschwierigkeiten mit langsameren Bewegungszeiten (BZ) und einer erhöhten Anzahl an Bewegungsfehlern (BF) einhergehen.

Alternativhypothese 4: Über alle Experimente der drei Experimentalreihen hinweg ergeben sich Unterschiede für den spezifischen Einfluss der Aufgabenschwierigkeit auf die Koordinationsmuster der beiden Partner, sodass sich steigende Aufgabenschwierigkeiten in den einzelnen Aufgaben unterschiedlich auf die Bewegungszeiten (BZ) und die Anzahl an Bewegungsfehlern (BF) auswirkt.

Forschungshypothese 4: In diesem Fall entspricht die Forschungshypothese 4 der Nullhypothese 4.

6 Experimentreihe 1 – „Scheibentransferaufgabe“

Die Versuchsaufgabe der Experimentalreihe 1 „Scheibentransferaufgabe“ orientiert sich am Aufbau der Versuchsanordnung von Paul Fitts (Fitts, 1954; Experiment 2 - Scheibentransfer) und versucht diese so originalgetreu wie möglich nachzustellen. Die Modifikationen im Aufbau betrafen lediglich die Vorgabe, dass zwei Personen gleichzeitig agieren sollten. Die Aufgabe der Vpn war es, möglichst schnell acht Metallscheiben im Wechsel (d.h. insgesamt 16 Scheiben) umzusetzen. Bei dieser Versuchsaufgabe handelt es sich nach der Kategorisierung von Schmidt und Lee (2005) um eine serielle Bewegung, für die ein klarer Start- (Greifen der Scheibe) und Endpunkt (Ablegen der Scheibe) definiert werden kann.

“Serial movements are neither discrete nor continuous, but usually are comprised of a series of individual movements tied together in time to make some ‚whole‘. These types of movements (...) can be rather long in duration but are not stopped arbitrarily” (Schmidt & Lee, 2005, S. 23).

In Anlehnung an die bereits formulierten Forschungsfragen war es das Ziel dieser Experimentalreihe, (1) mögliche Anpassungseffekte der einzelnen Partner (intra-individuelle Koordinationsmuster) an die experimentellen Randbedingungen (d.h. an die Variation der Aufgabenschwierigkeit) während einer Interaktionsaufgabe (Experiment 1), (2) Anpassungseffekte (d.h. systematische Interaktionsmuster) an den Interaktionspartner bei gleicher Aufgabenschwierigkeit (Experiment 2) sowie (3) Anpassungseffekte (d.h. systematische Interaktionsmuster) an den Interaktionspartner bei unterschiedlicher Aufgabenschwierigkeit (Experiment 3) zu untersuchen.

6.1 Experiment 1

Im Mittelpunkt der Betrachtung des Experiments 1 steht die Frage, ob sich die entstehenden Koordinationsmuster beim Lösen kooperativer Aufgaben über das Fitts'sche Gesetz abbilden lassen. Dafür sollten die Vpn jeweils 8 Scheiben im Wechsel von zwei getrennten Ausgangspositionen zu einer gemeinsamen Zielposition transportieren. Die Auswertung der Koordinationsmuster berücksichtigte insbesondere die Anpassung der Bewegungen an die unterschiedlichen Schwierigkeitsanforderungen der Aufgabe. Das Experiment 1 dient deshalb zur Überprüfung der *Nullhypothese 1.1*, der *Alternativhypothese 1.1* und der *Forschungshypothese 1.1*.

6.1.1 Methode

6.1.1.1. Versuchspaare

24 Studierende der Universität des Saarlandes ($M = 22,79$ Jahre; $SD = 5,4$ Jahre; 9 weiblich) wurden randomisiert zu 12 Versuchspaaren zusammengestellt. Es resultierten drei weibliche, sechs männliche und drei gemischt-geschlechtliche Paare. Zwei Vpn waren nach Selbstauskunft linkshändig (*Tabelle 3*).

Tabelle 3: Zusammenfassung der anthropometrischen Daten der Versuchspersonen aus Experiment 1.

	Paare			Gesamt
	männlich	weiblich	gemischt	
<i>N</i>	12	6	6	24
Alter (in Jahren)	21,4 ($\pm 1,4$)	21,5 ($\pm 2,4$)	26,8 ($\pm 9,7$)	22,8 ($\pm 5,4$)
Größe (in cm)	179,7 ($\pm 5,4$)	164,5 ($\pm 7,2$)	173,2 ($\pm 4,4$)	174,3 ($\pm 7,8$)
Händigkeit (rechts in %)	100	66,6	100	91,7
Sehhilfe (benötigt in %)	16,6	33,3	33,3	25,0

Bei den Vpn handelte es sich zum einen um Sportstudenten, die freiwillig an der Untersuchung teilnahmen und zum anderen um Psychologiestudenten, die für ihre Teilnahme die entsprechende Dauer des Experiments als Versuchspersonenstunden bescheinigt bekamen. Diese konnten sie für ihr Psychologiestudium anrechnen. Alle Vpn hatten eine normale bzw. korrigierte Sehstärke und verfügten laut eigenen Angaben über keine psychischen oder neuronalen Einschränkungen.

6.1.1.2. Versuchsaufgabe und –aufbau

Die Untersuchungen fanden in einem Laborraum der Universität des Saarlandes statt und dauerten circa 45 Minuten. Die Vpn unterschrieben vor Beginn des Experiments eine Einverständnis- und Teilnahmeerklärung (siehe *Anhang 2*) und gaben ihre persönlichen Daten mit Geschlecht, Händigkeit und Körpergröße in einem Fragebogen (*Anhang 3*) an. Danach erhielten sie eine standardisierte Instruktion, die bei Nachfragen gegebenenfalls mit weiteren mündlichen Angaben ergänzt wurde. Die Aufgabe der Vpn war es, so schnell wie möglich, jeweils acht metallische Scheiben mit einem Loch in der Mitte, von einem Ausgangsstab vor sich auf einen Zielstab in der Mitte des Tisches umzustecken (*Abbildung 18*).

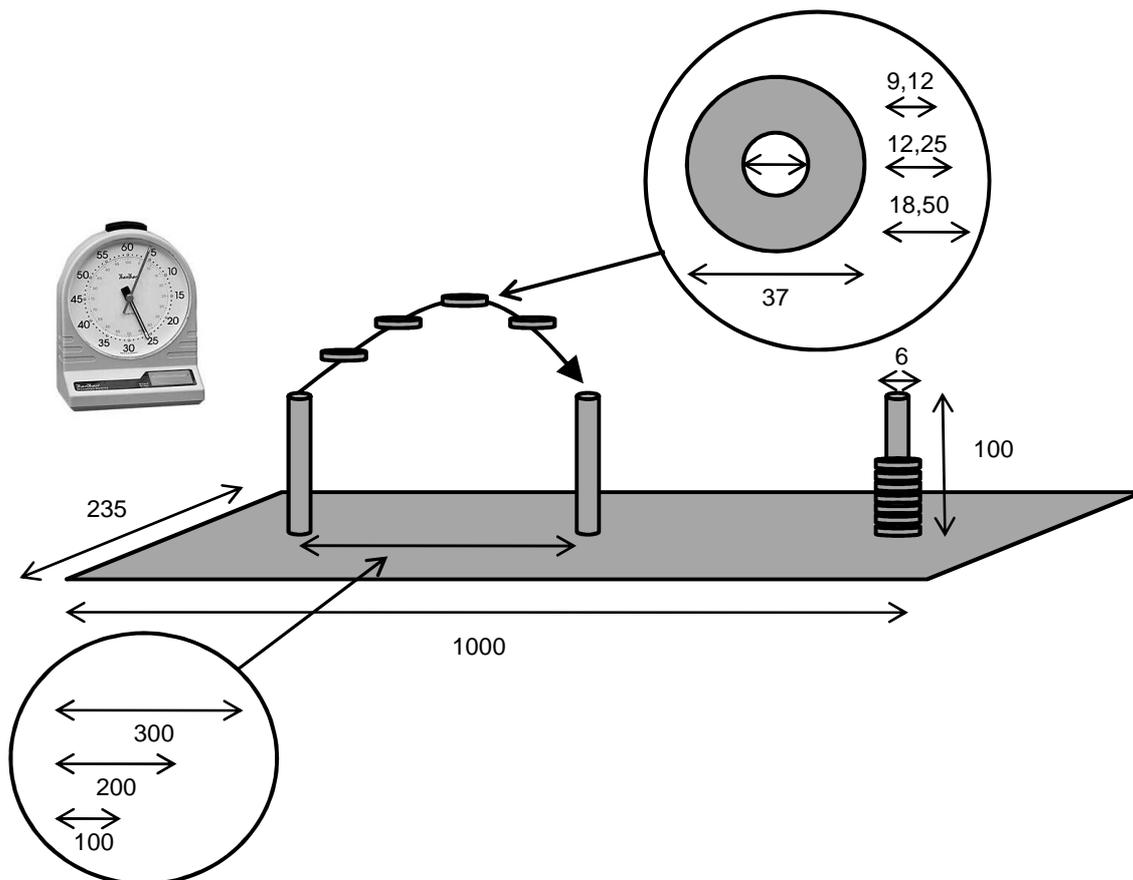


Abbildung 18: Versuchsaufbau der Experimente 1-3 („Scheibentransferaufgabe“). Die systematische Variation der drei Distanzen (100 vs. 200 vs. 300 mm) und der drei Lochdurchmesser (9,12 vs. 12,25 vs. 18,5 mm) ergab neun Versuchskombinationen unterschiedlicher Schwierigkeit auf Basis des Fitts'schen Gesetzes (SI's zwischen 4,0 und 7,6 Einheiten/Sekunde), wobei zwei Indizes doppelt vorkamen.

Dabei saß der Vpn ein Ko-Akteur gegenüber, der die gleiche Aufgabe hatte. Die insgesamt 16 Scheiben mussten im Wechsel mit dem Ko-Akteur auf einen gemeinsamen Zielstab umgesteckt werden, wobei immer nur eine einzelne Scheibe gegriffen werden durfte. Auf das Startsignal des Versuchsleiters („Achtung, fertig, los!“) lösten die Vpn ihre Hände von den Startmarkierungen neben der Versuchsausrüstung (Fitts, 1954) und begannen mit dem Transport der Scheiben. Die Partner legten zu Anfang per Absprache fest, wer die erste Scheibe umsteckt (= Partner 1). Diese Reihenfolge mussten sie für die Dauer des Experiments beibehalten. Die Vpn saßen sich aufrecht in einem Abstand von 1400 mm an einem Tisch (Maße: 1200 x 600 x 720 mm) gegenüber. Ein Nachvorbeugen des Oberkörpers wurde durch Kontakt zur Tischplatte verhindert. Die metallische Versuchsausrüstung (Maße: 1000 x 240 mm) verfügte über Bohrungen in denen die Stäbe flexibel eingeschraubt werden konnten. In diesem Experiment wurden die Distanzen 100, 200 und 300 mm zwischen Start- und Zielstab (Durchmesser: 6 mm; Höhe: 100 mm) gewählt. Insgesamt 48 Metallscheiben mit dem Außendurchmesser 37 mm und einer Höhe von 4 mm verfügten über runde Ausspa-

rungen für den Stab mit unterschiedlichen Lochdurchmessern (klein: 9,12 mm; mittel: 12,25 mm; groß: 18,5 mm). Die Höhe der Sitzfläche der beiden Stühle betrug 470 mm.

6.1.1.3. *Versuchsdesign*

Das im Nachfolgenden beschriebene Versuchsdesign gilt für die Experimente 1, 4, 7, 8 und 9. Die orthogonale Kombination aus jeweils drei *Distanzen* (A) mit drei *Zielgrößen* (W) (Fitts, 1954) ergab neun Versuchsbedingungen, wobei SI's auch doppelt vorkamen. Nach einer Eingewöhnungsphase, in der die Vpn gemeinsam jede Versuchsbedingung einmal ausprobieren konnten, begann die eigentliche Testung. Der jeweils erste Versuch diente ebenfalls als Eingewöhnungsphase und ging nicht in die Datenauswertung ein (vgl. MacKenzie et al., 1987¹⁶). Die experimentellen Randbedingungen ergaben auf Basis des Fitts'schen Gesetzes unterschiedliche Schwierigkeitsindize für die jeweiligen Aufgaben durch die systematische Kombination verschiedener *Distanzen* und *Zielgrößen* (Fitts, 1954). Die orthogonale Kombination von drei Distanzen mit drei Lochdurchmessern ergab neun verschiedene Schwierigkeitsindizes (siehe *Formel 5*, in Kapitel 2.2) zwischen 4,0 und 7,6 (Einheiten/Sekunde), wobei die Indizes 5,0 und 6,0 zweifach vorkamen. Jedes Versuchspaar führte jede der neun Bedingungen viermal hintereinander durch. Mögliche „Sequenzeffekte“, die durch die Messwiederholung auftreten konnten, wurden durch die Randomisierung der Reihenfolge ausgeglichen (Bortz, 1985, S.403). Als Fehler in der Ausführung wurde die Verletzung der Reihenfolge der Partner oder das Fallenlassen einer Scheibe definiert, was den Vpn vor Beginn des Experiments mitgeteilt wurde. Fehlerhafte Durchgänge wurden direkt wiederholt. Bei mehr als drei Wiederholungen pro Bedingung mussten die Vpn alle vier Durchgänge am Ende des Experiments nachholen (6,48 % der Daten) (in Anlehnung an Juras et al., 2009). Es wurde die benötigte Zeit vom Startsignal bis zum Ablegen der letzten Scheibe und die Fehlversuche erfasst. Nach jedem Durchgang erhielten die Versuchspare Ergebnisrückmeldung (KR^{17}) vom Startsignal an bis zum Aufsetzen der letzten Scheibe über die benötigte Bewegungszeit in Zehntelsekunden und die Fehleranzahl. Zwei Videokameras (12.0 MegaPixel; Auflösung 1920 x 1080; HD Recording) dienten der Erfassung der Bewegungen der beiden Partner für weitere Analysen.

¹⁶ MacKenzie et al. (1987) ließen Vpn 15 Durchgänge je Versuchsbedingung durchführen, wobei die ersten fünf der Adjustierung dienten und die verbleibenden zehn Versuche in die Analyse gingen.

¹⁷ Das Wissen über das Lösungsergebnis (*Knowledge of results; KR*) kann zur Fehlerkorrektur hinzugezogen werden. Je differenzierter die Rückmeldung ist, desto besser die Anpassung (bspw. Rückmeldung „zu lang“ oder „zu kurz“ vs. exakte Entfernung „27 cm zu weit“ oder „3 cm übergetreten“). Hier wird die benötigte BZ und die BF (als absolute Zahlen) als KR genutzt. Durch das KR wurde versucht die Motivation der Vpn in den einzelnen Durchgängen konstant hoch zu halten (Locke, 1967). Ergebnisse anderer Versuchspare wurde den Vpn vorenthalten.

6.1.1.4. Datenanalyse

Die graphischen Darstellungen wurden mit dem Programm *Microsoft EXCEL 2010* erstellt. Die deskriptive und inferenzstatistische Auswertung der erhobenen Daten erfolgte mit dem Statistikprogramm *SPSS (IBM Corp.; Armonk, NY, USA; SPSS Statistics 19)*. Als Lokalisationsparameter wird das arithmetische Mittel (Mittelwert) genutzt. Als Dispersionsparameter (Streuung) finden die Standardabweichung und Konfidenzintervalle Verwendung, die die Streuung der Daten repräsentieren (entgegen des Standardfehlers des Mittelfehlers, welcher durch die Größe der Stichprobe beeinflusst wird). Diese Konfidenzintervalle lassen sich mit Hilfe der Formel

$$(11) \quad b_{ci} = \pm t_{krit} \times SE$$

berechnen, wobei b_{ci} das Konfidenzintervall, SE den Standardfehler und der kritische t-Wert (t_{krit} ; als inverse t-Verteilung; mit $\alpha = 0.05$ und $df = n-1$; 2-seitig) repräsentieren.

Durch die systematische Variation der beiden unabhängigen Variablen (uV) *Distanz* und (*Ziel-*)*Größe* ergaben sich auf Basis des Fitts'schen Gesetzes (Fitts, 1954) unterschiedlich schwere Aufgaben. Diese Kombinationen werden im Folgenden über den *Schwierigkeitsindex* (in Einheiten/Sekunde) operationalisiert. Als abhängige Variable dienten die Bewegungszeit (BZ; in ms) und die Bewegungsfehler (BF; in %). Dabei umfasste die aV *Bewegungszeit* die benötigte Zeit einer Vpn für einen vollen Bewegungszyklus vom Greifen einer Scheibe bis zum Greifen der nächsten Scheibe (*Abbildung 19*).

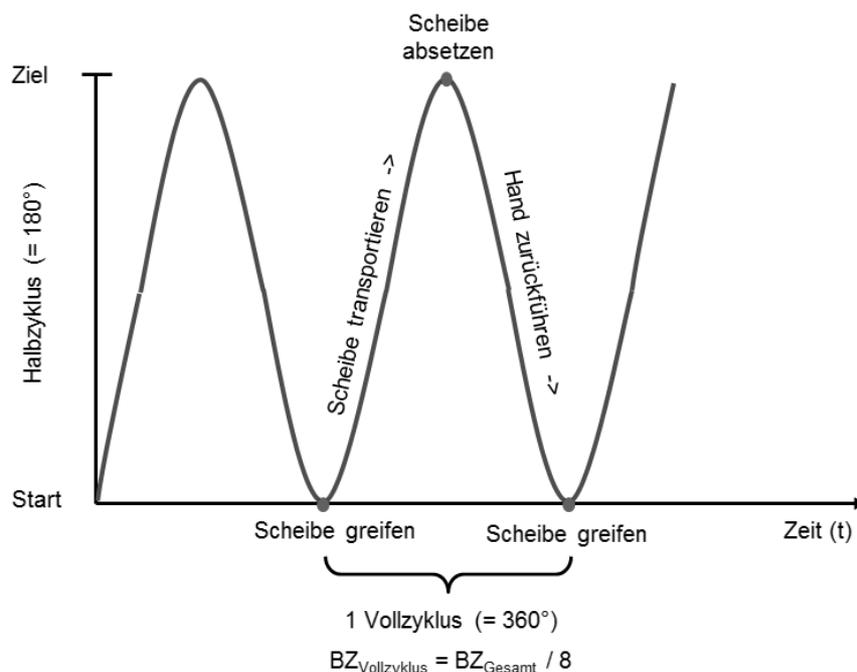


Abbildung 19: Exemplarische Darstellung der Pendelbewegung in Experimentalreihe 1 („Scheibentransferaufgabe“) für einen Partner. Ein Bewegungsvollzyklus umfasst die Zeit vom Greifen einer Scheibe bis zum Greifen der nächsten Scheibe (BZ_{Gesamt}).

Ein Durchgang beinhaltete demnach acht Bewegungsvollzyklen, die die Partner wechselseitig ausführten. Dieses alternierende Koordinationsmuster ist für einen Durchgang exemplarisch in *Abbildung 20* dargestellt:

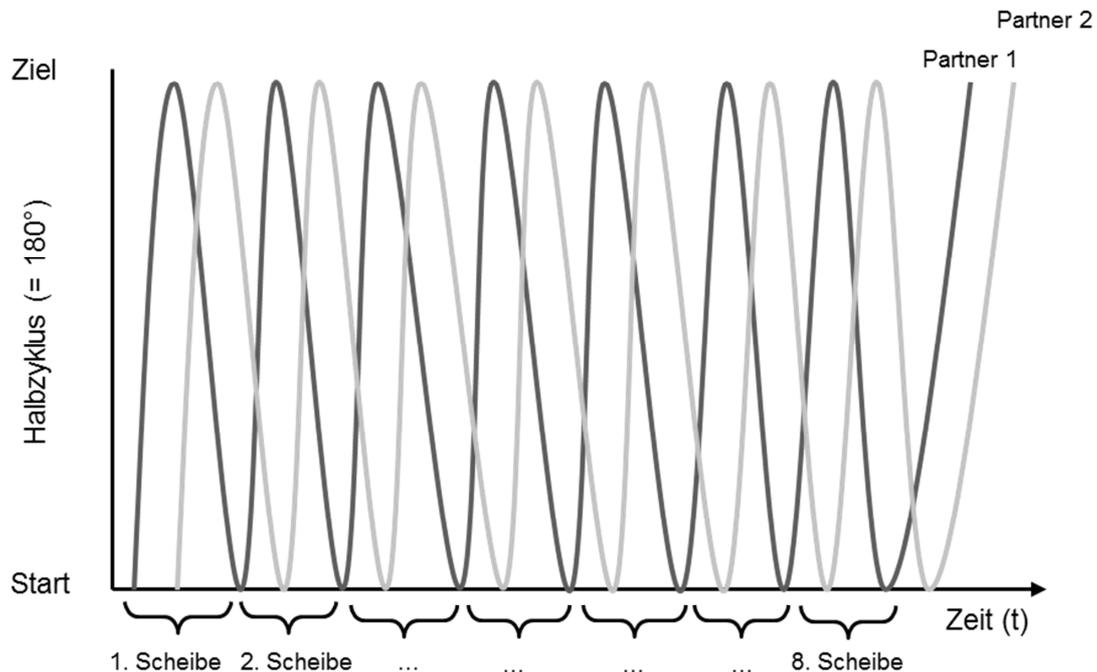


Abbildung 20: Exemplarische Darstellung eines Durchganges mit dem Umsetzen von jeweils acht Scheiben. Die oszillatorischen Bewegungen des Objektes wurden *posthoc* über die jeweiligen Start- (Minima) und Endpunkte (Maxima) der Bewegung anhand der Videoaufnahmen gekennzeichnet. Die Werte zwischen Start- und Ziel der Bewegung wurden dahingehend interpoliert, dass sie (annäherungsweise) die Bewegungstrajektorien der Hände widerspiegeln.

Die oszillatorischen Bewegungen des Objektes wurden *posthoc* über die jeweiligen Start- (Minima) und Endpunkte (Maxima) der Bewegung anhand der Videoaufnahmen gekennzeichnet. Die Werte zwischen Start- und Ziel der Bewegung wurden dahingehend interpoliert, dass sie (annäherungsweise) die Bewegungstrajektorien der Hände von Partner 1 und Partner 2 widerspiegeln.

Als statistisches Verfahren wurde für die BZ eine zwei-faktorielle Varianzanalyse mit dem Faktor *Schwierigkeitsindex* (7-fach gestuft) und dem Zwischensubjektfaktor *Partner* (P1 vs. P2) berechnet. Die Varianzanalyse mit Messwiederholung erspart eine größere Anzahl an Vpn (siehe Bortz, 1985, S. 403). Vorab wurden die Daten auf Normalverteilung, Varianzhomogenität und Sphärizität hin untersucht. Für den Test auf Normalverteilung wurde der Kolmogorov-Smirnov-Test verwendet, da „in Varianzanalysen mit Messwiederholungen [...] die Varianzen unter den einzelnen Faktorstufen und die Korrelationen zwischen den Faktorstufen homogen sein [müssen]“ (Bortz, 1985, S.428). Da es sich in diesen Experimentalstecken um abhängige ANOVA's (within design) handelt, erfolgte der Test auf gleiche Varian-

zen durch SPSS automatisch über F -Max. Sphärizität war gegeben, wenn sich die Varianz der Differenzen (Kovarianzen) bei keinem Paar zwischen den Bedingungen unterschied.

„Der Test auf Sphärizität wird hier verwendet, da es sich um mehr als drei unterschiedliche Bedingungen handelt. Für diese Überprüfung wird der Mauchly-Test genutzt“ (vgl. Bortz, 2005, S.354).

Bei einem p -Wert über .05 wurden gleiche Kovarianzen angenommen. Bei signifikantem Mauchly-Test auf Varianzhomogenität wurde auf das konservative Korrekturverfahren nach Greenhouse-Geisser zurückgegriffen. Die nach Greenhouse-Geisser korrigierten Werte und die Anpassung der Freiheitsgrade (df) wurden dementsprechend angegeben. Für die Varianzanalyse mit Messwiederholung (ANOVA r.m.) wurde die Irrtumswahrscheinlichkeit als asymptotische Signifikanz (2-seitig) von 5% angenommen. Signifikante Interaktionen wurden *posthoc* unter Berücksichtigung der alpha-Fehler-Akkumulation (α -Inflation) separat betrachtet. Dazu dienten t-Tests für verbundene Stichproben als Paarvergleiche. Um die α -Fehler-Inflation zu korrigieren, wurde das Signifikanzniveau durch die Anzahl der durchgeführten Testungen geteilt (vgl. Backhaus, Erichson, Plinke, & Weiber, 2006).

Kurvenanpassungsmodelle gaben Aufschluss über den Einfluss der Prädiktoren (uV's: Distanz, Zielgröße und dem resultierenden SI) auf die Kriteriumsvariable (Bewegungszeit und Bewegungsfehler). Basierend auf dem Fitts'schen Gesetz wiesen die neun (in Experiment 3 und 6 insgesamt zehn) Versuchsbedingungen unterschiedliche SI's auf. Zur Prüfung eines stochastischen Zusammenhangs gingen diese mit den BZ (in ms) und den BF (in %) in separate (bivariate) Korrelationen ein.

„Die Enge des Zusammenhangs zwischen zwei Merkmalen charakterisiert der Korrelationskoeffizient [R], der Werte zwischen +1 und -1 annehmen kann. Erreicht ein Korrelationskoeffizient Werte von +1 bzw. -1, geht der stochastische Zusammenhang in einen funktionalen Zusammenhang über, wobei eine Korrelation von +1 einen linearen gleichsinnigen Zusammenhang und eine Korrelation von -1 einen linearen, gegenläufigen Zusammenhang anzeigt“ (Bortz, 1979, S.214).

Diese so genannte Produkt-Moment-Korrelation berechnet mittels Division der Kovarianz zweier Variablen (s_{xy}) durch das Produkt der jeweiligen Standardabweichung der Variablen ($s_x \cdot s_y$):

$$(12) \quad r = s_{xy} / (s_x \times s_y)$$

Der Determinationskoeffizient (R^2) resultiert dann aus dem Quadrat dieses Korrelationskoeffizienten und gilt als Maß für den Anteil der Varianz der aV, der durch die uV erklärt wird. Er lässt Rückschlüsse auf den Grad der Abhängigkeit der jeweils verglichenen Daten

zu¹⁸. Bei der Berechnung einer linearen Regression kann der Determinationskoeffizient des Weiteren dazu dienen, die Effektstärke eines kausalen Zusammenhanges zu berechnen. Dazu wird der Determinationskoeffizient durch Eins minus den Determinationskoeffizienten geteilt:

$$(13) \text{ Effektstärke } (\epsilon)^2 = R^2 / 1 - R^2$$

Nach der Definition von Cohen (1988) gelten als schwache Effekte ϵ^2 -Werte ab 0,02, als mittlere Effekte ϵ -Werte ab 0,15 und als große Effekte bei ϵ^2 -Werten ab 0,35. Löst man die Formel 14 zum Determinationskoeffizienten auf

$$(14) R^2 = \epsilon^2 / (1 + \epsilon^2)$$

und setzt diese Effektkonventionen nach Cohen (1988; siehe auch „*power primer*“, Cohen, 1992) in die Gleichung ein, erhält man die Konventionen für den Determinationskoeffizienten: schwacher Effekt = 0,0196, mittlerer Effekt = 0,1304 und starker Effekt = 0,2593 (vgl. Bortz & Schuster, 2010, S. 359ff.).

Die Gleichung, die den stochastischen Zusammenhang der Prädiktorvariable, d.h. der unabhängigen Variable, die während eines Experiments (systematisch) variiert wird und der Kriteriumsvariable, der abhängigen Variable, die sich aufgrund der Manipulation der uV verändert, beschreibt, wird Regressionsgleichung genannt (vgl. Bortz, 1979, S. 214).

Basierend auf den Experimenten von Fitts (1954) wird der Zusammenhang der beiden Variablen (uV = SI und aV = BZ) durch eine lineare Funktion, also durch eine Gerade, erklärt. Bei der linearen Regression wird die Gerade über die folgende Geradengleichung beschrieben:

$$(15) y = mx + b$$

Dabei kennzeichnet „x“ die unabhängige Veränderliche, „y“ die abhängige Variable. Der Faktor „m“ stellt die Steigung der Geraden und „b“ die Höhenlage, d.h. den Schnittpunkt mit der y-Achse, dar. Eine positive Steigung bedeutet, dass mit der Erhöhung der uV eine Erhöhung der aV einhergeht. Umgekehrt impliziert eine negative Steigung eine Reduktion der aV bei Erhöhung der uV (vgl. Bortz, 1979, S. 216). Der Achsenabschnitt gibt den jeweiligen Schnittpunkt der Regressionsgeraden mit der Ordinate (y-Achse) bei einem x-Wert von null an. Zur Berechnung der Geraden, die den Datensatz am besten repräsentiert, wird die

¹⁸ Bei der Berechnung des Determinationskoeffizienten (R^2) nutzt das Statistikprogramm SPSS die durchschnittliche Passung des Modells (bspw. bedeutet ein $R^2 = .832$, dass circa 83 % der aufgetretenen Varianz durch die uV erklärt werden kann; Bortz & Döring, 2002).

*Methode der kleinsten Quadrate*¹⁹ (auch *Ordinary-Least-Squares Schätzung*; vgl. Bortz, 2005, S. 185) verwendet. Durch die Minimierung der Summe der quadrierten Abweichungen (der x,y-Punkte von der Regressionsgerade in y-Richtung)

$$(16) \text{ Minimum} = \sum(y_i - \bar{y}_i) = \sum[y_i - (mx_i + b)]^2$$

wird eine Gerade ermittelt, die es ermöglicht anhand der uV auf die Ausprägung der abhängigen Variable zu schließen, vorausgesetzt man kennt die Werte der Regressionskoeffizienten „m“ und „b“. Der experimentell abhängige Parameter „b“ gibt den Achsenabschnitt bzw. die additive Konstante wider, an dem die Gerade die y-Achse schneidet. Bei dem Faktor „m“ handelt es sich um die Steigung bzw. den (unstandardisierten) Regressionskoeffizienten, um die die aV mit jeder Steigerung um eine Einheit der uV ansteigt. Die Voraussetzungen für die bivariate Regression sind in jedem der Experimente erfüllt. Diese sind eine Intervallskalierung von SI und BZ bzw. BF, die Linearität der Ausgleichskurve, die Homoskedastizität der Residuen (die Varianzgleichheit der Fehler) und eine hinreichend große Stichprobe. Wohingegen es umfangreiche Replikationen des Einflusses des SI's auf die BZ gibt, gestaltet sich die Analyse der Bewegungsfehler (BF) schwieriger:

“However, although Fitts' law supports the prediction of speeds, it does not readily support the prediction of errors. In fact, to date, there is no equivalent “error law” that predicts the probability of a user hitting or missing a target using Fitts' law parameters [...]” (Wobbrock et. al, 2008).

Unter Berücksichtigung des aktuellen Forschungsstandes (z.B. Guiard & Olafsdottir, 2011) und der Befunde aus Pilotexperimenten lassen sich die BF am besten über ein *exponentielles Modell* beschreiben. Es gilt bei Exponentialfunktionen zu beachten, dass sich der Korrelationskoeffizient sukzessive verbessert, je mehr erklärende Variablen hinzugefügt werden²⁰, d.h. je mehr Variablen eingesetzt werden. Daher wird die einfachste Exponentialfunktion

$$(17) y = b_0 \times e^{b_1 x}$$

verwendet. Diese beinhaltet die geringste Anzahl erklärender Variablen (b_0 und b_1) und liefert eine plausible Erklärung für die Limitation motorischer Bewegungen (vgl.

¹⁹ Anstelle des Kriteriums der kleinsten Quadrate kann bei der linearen Regressionsanalyse auch die Summe der Vorhersagefehler möglichst gering gehalten werden. Da durch die positiven und negativen Abweichungen auch verschiedene Geraden existieren könnten, wird hier auf die Quadrate zurückgegriffen (Bortz, 2005, S. 185).

²⁰ Bei der Wahl des optimalen Anpassungsmodells kann nicht das Modell, welches den höchsten Korrelationskoeffizienten (R^2) ergibt verwendet werden, da quadratische Gleichungen immer bessere Ergebnisse liefern als die Anpassung einer linearen Funktion, da es sich bei der linearen Funktion lediglich um einen Sonderfall der quadratischen Funktion handelt. Bei quadratischen Funktionen werden zwei Variablen verwendet. Bei der kubischen Anpassung finden sogar drei erklärende Variablen Verwendung. Von wesentlich größerer Bedeutung als die Güte der Anpassung ist die Frage, ob ein bestimmter Kurventyp inhaltlich plausibel erscheint (vgl. Brosius, 2011).

Wobbrock et. al, 2008). Bei dem y-Wert handelt es sich um die relative Anzahl an BF (in %) und bei dem x-Wert analog zu den BZ um den SI. Die Versuchspaare wurden vorab hinsichtlich möglicher Ausreißer (+/- zweifache Standardabweichung) und der Normalverteilung ihrer Daten (Kolmogorov-Smirnov-Test) geprüft.

6.1.2 Ergebnisse

6.1.2.1. Bewegungszeiten (BZ)

Der Kolmogorov-Smirnov-Test zeigte für dieses erste Experiment keine signifikanten Unterschiede innerhalb eines Versuchspaares in den neun Versuchsbedingungen ($p > .05$). Im Mittel benötigten die Vpn 1265 ms ($SD = 118$ ms) für einen Bewegungsvollzyklus, dem Umstecken einer Scheibe. Im Folgenden werden bei der Analyse der BZ die bewegungsinitierenden Partner (P1) und die Partner, die kurz danach beginnen sollten (P2), getrennt voneinander betrachtet. Im Mittel benötigten die Vpn weniger Zeit für das Umstecken einer Scheibe bei Aufgaben, die durch das Fitts'sche Gesetz mit einem niedrigen SI gekennzeichnet sind ($M = 1037$ ms), in denen die Scheiben mit dem größten Lochdurchmesser (18,5 mm) aus der geringsten Distanz von 100 mm transportiert werden sollten. Aufgaben höherer Schwierigkeit, in denen Scheiben mit dem kleinsten Lochdurchmesser (9,12 mm) aus der größten Distanz (300 mm) transportiert wurden, benötigten dagegen im Mittel mehr Zeit ($M = 1506$ ms). Bei der orthogonalen Kombination von Distanz und Zielgröße kommen die SI's 5,0 und 6,0 zweimal vor, die im Folgenden als gemittelte Werte dargestellt werden. Basierend auf dem Fitts'schen Gesetz ergeben sich aus den uV's Distanz und Lochdurchmesser verschiedene SI's zwischen 4,0 und 7,6 Einheiten/Sekunde. In *Tabelle 4* sind die BZ in Abhängigkeit von der Aufgabenschwierigkeit (SI) aufgeführt.

Tabelle 4: Durchschnittliche Bewegungszeit aus Experiment 1 sortiert nach Schwierigkeit (in Einheiten/Sekunde).

SI	4,0	5,0	5,6	6,0	6,6	7,0	7,6
P1	984	1025	1157	1206	1329	1293	1437
(SD)	(91)	(64)	(93)	(63)	(91)	(97)	(138)
P2	1091	1148	1271	1308	1452	1436	1574
(SD)	(121)	(72)	(98)	(79)	(97)	(116)	(187)
M	1037	1087	1214	1257	1390	1364	1506

Mit Hilfe einer zwei-faktoriellen Varianzanalyse mit dem Faktor *Schwierigkeitsindex* (7-fach gestuft) und dem Zwischensubjektfaktor *Partner* (P1 vs. P2) wurde der Einfluss des

SI's auf die BZ geprüft. Da der Mauchly-Test auf Sphärizität eine Verletzung der Varianzen innerhalb der Versuchsbedingungen aufzeigte ($p < .05$), werden im Folgenden die nach dem Greenhouse-Geisser Korrekturverfahren angepassten Kennwerte angegeben. Es zeigte sich ein signifikanter Haupteffekt für den Faktor *Schwierigkeitsindex* ($F(4.12, 288.24) = 225.110$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .763$). Demnach stieg die BZ mit höherem SI an: SI 4,0 = 1037 ms; SI 5,0 = 1087 ms; SI 5,6 = 1214 ms; SI 6,0 = 1257 ms; SI 6,6 = 1390 ms; SI 7,0 = 1364 ms; SI 7,6 = 1506 ms. Der Zwischensubjektfaktor *Partner* wurde ebenfalls signifikant ($F(1, 70) = 79.461$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .532$). Danach agierte der Partner 2 ($M = 1326$ ms) generell langsamer als der Partner 1 ($M = 1204$ ms). Der Faktor *Schwierigkeitsindex* interagiert dabei nicht mit dem Zwischensubjektfaktor *Partner* ($F(4.12, 288.24) = .440$, $p > .05$, $\eta_p^2 = .006$). In *Abbildung 21* ist die benötigte BZ (Ordinate) gegen den SI (Abszisse) abgetragen.

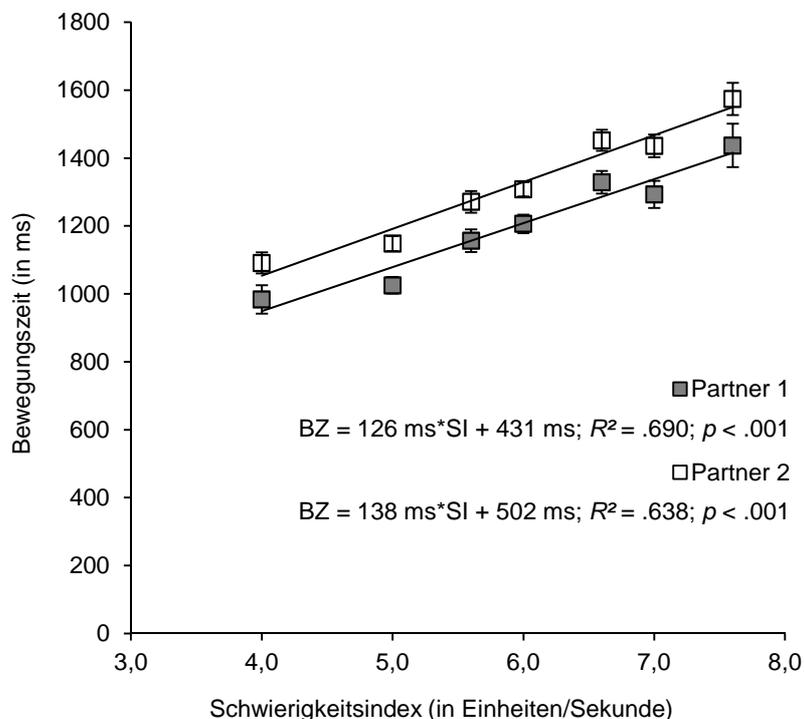


Abbildung 21: Graphische Darstellung der Bewegungszeiten (in ms) für den Transfer einer einzelnen Scheibe in Abhängigkeit vom Schwierigkeitsindex (in Einheiten/Sekunde). Dunkle Vierecke stellen die durchschnittliche BZ der Partner 1 und helle Vierecke die der Partner 2 dar. Konfidenzintervalle geben die jeweilige Streuung der Daten an.

Separate lineare Regressionsanalysen ($uV = SI$; $aV = BZ_P1$ und BZ_P2) zeigten einen signifikanten Zusammenhang zwischen SI und BZ. Für die P1 ($F(1, 250) = 555.920$; $R^2 = .690$; $p < .001$) berechnete sich eine Funktionsvorschrift von $BZ = 126 \text{ ms} \times SI + 431 \text{ ms}$, d.h. dass jede Erhöhung des SI's um eine Einheit, einen Anstieg der BZ um durchschnittlich 126 ms bewirkte. Der Achsenabschnitt von 431 ms stellt die theoretisch berechnete Mindestdauer einer Bewegung bei einem SI von Null dar. Die Funktionsvorschrift für die P2 ($F(1, 250) =$

440.958; $R^2 = .638$; $p < .001$) von $BZ = 138 \text{ ms} \times SI + 502 \text{ ms}$ beschreibt eine ähnliche Steigung der Geraden von 138 ms. Der Achsenabschnitt liegt mit plus 502 ms etwas höher als der von P1. Die Determinationskoeffizienten (R^2) liegen mit .653 und .603 in einem hoch signifikanten Bereich, d.h. dass sich über den Schwierigkeitsindex ein Großteil der Varianz (P1 = 65,3 %; P2 = 60,3 %) der benötigten BZ aufklären lässt (vgl. Bortz, 2005).

6.1.2.2. *Bewegungsfehler (BF)*

Unter Berücksichtigung der Fehlerklassifikation in Kapitel 6.1.1 traten in diesem Experiment nur Fehler der 2. Art (z.B. eine Verletzung der Reihenfolge, das Fallenlassen einer Scheibe, o.ä.) auf. Hier ist es wichtig zu beachten, dass es sich bei der geforderten Aufgabe um einen geführten Objekttransfer handelte, wodurch Fehler der 1. Art nicht vorkamen. Über alle Kombinationen traten auch nur sehr wenige Fehler der 2. Art auf ($M = 1,82 \%$), sodass eine statistische Auswertung der BF hier nicht sinnvoll erschien.

6.1.2.3. *zusätzliche Analysen*

Um den selektiven Einfluss der im experimentellen Design manipulierten Faktoren *Distanz* und (*Ziel-*) *Größe* separat zu prüfen, wurde für die BZ eine zwei-faktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung mit den Faktoren *Distanz* (dreifach gestuft) und *Zielgröße* (als Lochdurchmesser; dreifach gestuft)²¹ durchgeführt. Der Mauchly-Test auf Sphärizität ergab für den Faktor *Zielgröße* einen signifikanten Unterschied in den Varianzen der Differenzen (Kovarianzen) zwischen den Bedingungen. Für diesen Faktor werden die Werte nach dem Greenhouse-Geisser Verfahren korrigiert. Signifikante Haupteffekte traten für den Faktor *Distanz* ($F(2, 140) = 330.086$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .825$) und den Faktor *Zielgröße* ($F(1.78, 124.69) = 356.113$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .836$) auf. Die mittleren BZ (in ms) in Abhängigkeit von der Distanz (100 vs. 200 vs. 300 mm) und dem Lochdurchmesser (9,12 vs. 12,25 vs. 18,50 mm) sind in *Abbildung 22* dargestellt und können dem *Anhang 5* entnommen werden. Isoliert man den Einfluss der einzelnen Faktoren (durch eine zweistufige Subtraktion der Faktoren) ergibt sich für jede Erhöhung der Distanz um 100 mm ein Anstieg der BZ von 126 ms.

²¹ Dieses Vorgehen in der statistischen Datenauswertung findet Anlehnung an Mottet et al. (2001) und Vesper et al. (2013a).

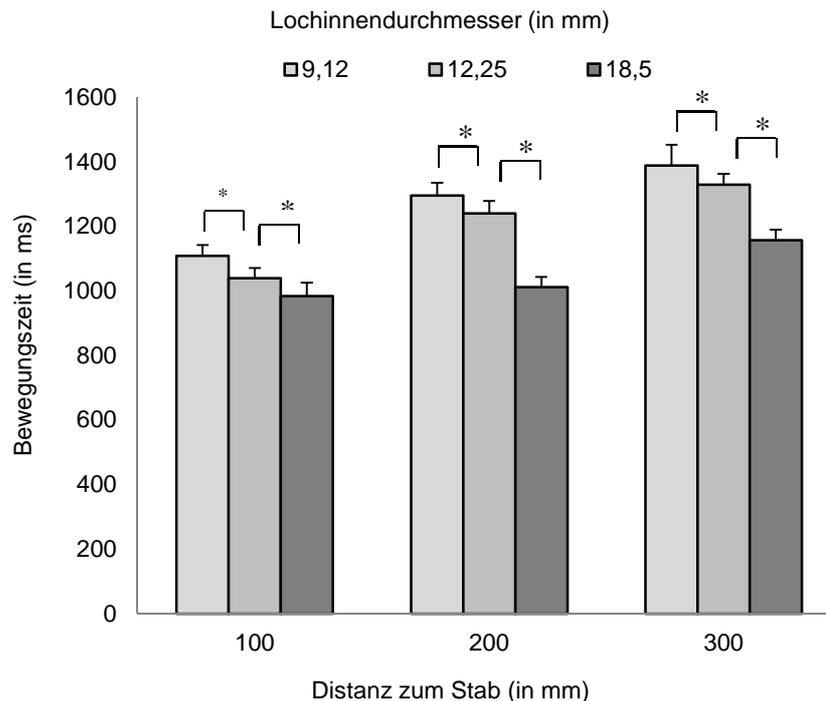


Abbildung 22: Graphische Darstellung der Bewegungszeiten (in ms) für den Transfer einer einzelnen Scheibe einer Vpn in Abhängigkeit von der Distanz (in mm) und dem Lochdurchmesser (in mm).

Gleichzeitig wirkt sich jede Reduktion des Lochdurchmessers um eine Stufe in zusätzlichen 128 ms BZ pro Scheibe aus. Darüber hinaus interagieren die Faktoren *Distanz* und *Zielgröße* miteinander ($F(4, 280) = 15.920, p < .001, \eta_p^2 = .185$), d.h. dass sich beide Faktoren gegenseitig modulieren. Danach nimmt der Einfluss des Lochdurchmessers auf die BZ mit längerer Distanz zu. *Posthoc t-Tests* für abhängige Stichproben (unter Berücksichtigung der Bonferroni Korrektur; $\alpha/6$ -Methode zur Behebung der α -Fehler Akkumulation; $p = .008$) ergaben jedoch, dass sich die BZ zwischen jedem Lochdurchmesser für jede Distanz statistisch signifikant voneinander unterscheiden (alle $p < .008$).

6.1.3 Diskussion

Das Experiment 1 untersuchte die Koordinationsmuster zweier Partner beim Lösen einer kooperativen Aufgabe (hier Scheibentransfer). Nach den vorliegenden Ergebnissen passen die Interaktionspartner die Ausführungsgeschwindigkeit der Bewegungshandlungen an die experimentellen Randbedingungen an²². Damit kann die *Nullhypothese 1.1* verworfen und die *Alternativhypothese 1.1* angenommen werden. Operationalisiert man die Aufgabenanforderungen der einzelnen Bedingungen auf Basis des Fitts'schen Gesetzes (Fitts, 1954) über den Schwierigkeitsindex, dann lassen sich die BZ gut abbilden. Danach benötigten die

²² Die Diskussion der Ergebnisse des Experiments 1 beschränkt sich ausschließlich auf die BZ, da die BF aufgrund der geringen Fehlerzahlen über die Bedingungen hinweg nicht systematisch ausgewertet werden konnten.

Vpn mit steigendem SI im Mittel mehr Zeit für den Transport der Scheiben. Die Determinationskoeffizienten (R^2) der Regressionsanalysen für beide Partner legen zudem einen linearen Zusammenhang zwischen BZ und SI mit hohen Aufklärungswerten der Varianz (jeweils > 60 %) nahe. Diese Befunde bestätigen die *Forschungshypothese 1.1*. Somit können die Erkenntnisse zum Fitts'schen Gesetz bisheriger Studien zur Koordination von Bewegungen innerhalb von EB (z.B. Fitts & Peterson, 1964; Klapp, 1975; Crossman & Goodeve, 1963/1983; Welford, 1960) auf die Koordination von Bewegungen innerhalb von PB erweitert werden.

Dieses Ergebnismuster wird durch zusätzliche Analysen zum Einfluss der im Experiment manipulierten Faktoren *Distanz* und *Zielgröße* untermauert. Danach wirkt sich jeder Faktor systematisch auf die Koordination der Bewegungshandlungen aus. Wie mit Hilfe des Fitts'schen Gesetzes vorhergesagt, steigen die BZ jeweils mit größerer Distanz und kleinerem Lochdurchmesser an. Die Befunde spiegeln somit die Randbedingungen des experimentellen Designs plausibel wider.

6.2 Experiment 2

Ziel des Experiments 2 ist der Vergleich zwischen Einzel- und Paarbedingungen beim Lösen von Aufgaben gleicher Schwierigkeit. Um mögliche Interaktionsmuster zwischen beiden Partnern (s.g. Partnerinteraktionseffekte) zu überprüfen, sollten die Vpn die Scheibentransportaufgabe sowohl in Einzelbedingungen (ohne Partner) als auch in Paarbedingungen (mit Partner) ausführen. Dies ermöglicht die Betrachtung emergenter Koordinationsmuster für beide Partner sowie von systematischen Interaktionsmustern bei der Handlungsausführung im Vergleich zwischen Einzel- und Paarbedingungen. Experiment 2 erlaubt es, die *Nullhypothesen 1.1* und *1.2*, die *Alternativhypothesen 1.1* und *1.2* sowie die *Forschungshypothesen 1.1* und *1.2* zu testen.

6.2.1 Methode

6.2.1.1. Versuchspaare

Es nahmen 24 Studierende der Universität des Saarlandes ($M = 27,51$ Jahre; $SD = 11,4$ Jahre; 9 weiblich) an diesem Experiment teil (*Tabelle 5*). Sie wurden durch den VL randomisiert zu 12 Versuchspaaren zusammengestellt, wobei zwei weibliche, fünf männliche und fünf gemischt-geschlechtliche Paare resultierten. Drei Vpn waren linkshändig und vier trugen eine Sehhilfe. Die freiwillige Teilnahme wurde finanziell nicht entlohnt.

Tabelle 5: Zusammenfassung der anthropometrischen Daten der Versuchspersonen aus Experiment 2.

	Paare			Gesamt
	männlich	weiblich	gemischt	
<i>N</i>	10	4	10	24
Alter (in Jahren)	30,9 ($\pm 14,5$)	32,0 ($\pm 11,6$)	22,4 ($\pm 1,8$)	27,5 ($\pm 11,4$)
Größe (in cm)	179,9 ($\pm 5,9$)	164,5 ($\pm 7,2$)	177,7 ($\pm 10,8$)	176,6 ($\pm 9,9$)
Händigkeit (rechts in %)	90	100	80	87,5
Sehhilfe (benötigt in %)	0	50	20	16,7

6.2.1.2. Versuchsaufgabe und -aufbau

Laborraum, Versuchsaufgabe und Versuchsaufbau glichen Experiment 1. Die Dauer des Experiments lag bei insgesamt 90 Minuten. Die Vpn benötigten durchschnittlich 60 Minuten für ihren Teil des Experiments. In den Einzelbedingungen wurden jeweils acht und in der Paarbedingung jeweils 16 Scheiben umgesetzt.

6.2.1.3. *Versuchsdesign*

Das experimentelle Design glich Experiment 1 mit dem Unterschied, dass erst Partner 1 (P1; Einzelbedingung) die neun Versuchsbedingungen mit den Kombinationen aus Distanz und Zielgröße aus Experiment 1 absolvierte. Im Anschluss wurde der Ko-Akteur (Paarbedingung) hinzugebeten, um die neun Versuchsbedingungen in einer neu randomisierten Reihenfolge gemeinsam mit dem P1 zu wiederholen. Abschließend verließ der erste Partner den Raum damit Partner 2 (P2; Einzelbedingung) die neun Versuchsbedingungen durchführen konnte. Die Anzahl der Wiederholungen reduzierte sich auf drei, um einem Absinken der Konzentrations- und Motivationsleistungen aufgrund der verdoppelten Versuchsanzahl (zweimal neun Versuchsbedingungen) entgegenzuwirken. Instruktion, Einverständnis- und Teilnahmeerklärung sowie der Fragebogen entsprachen denen aus Experiment 1.

6.2.1.4. *Datenanalyse*

Mittels einer drei-faktoriellen Varianzanalyse mit den Innersubjektfaktoren *Schwierigkeit* (7-fach gestuft) und *Bedingung* (Einzel- vs. Paarbedingung) und dem Zwischensubjektfaktor *Reihenfolge* (P1: EB→ PB vs. P2: PB→ EB) wurden die Bewegungszeiten (Vollzyklus) geprüft. Die P1 führten dabei immer die Einzelbedingungen (EB) vor den Paarbedingungen (PB) und die P2 zuerst die PB und dann die EB durch. Dabei ist der P1, der mit der Reihenfolge EB→ PB beginnt, in der PB auch immer der Partner, der die erste Scheibe transportiert. Ein Bewegungszyklus umfasste in den EB das Umsetzen von 8 Scheiben und in der PB von 16 Scheiben.

6.2.2 **Ergebnisse**

6.2.2.1. *Bewegungszeiten (BZ)*

Die Prüfung der 21 Versuchsbedingung ($7 \cdot P1 + 7 \cdot P1/P2 + 7 \cdot P2$) auf Normalverteilung mit Hilfe des Kolmogorov-Smirnov-Tests zeigte keinen signifikanten Unterschied innerhalb eines der Versuchspaare ($p > .05$). Die Mittelwerte der BZ in den einzelnen Bedingungen werden für beide Partner im Anhang berichtet (*Anhang 6*).

Die drei-faktorielle Varianzanalyse mit den Faktoren *Schwierigkeitsindex* und *Bedingung* (Einzel- vs. Paarbedingung) und dem Zwischensubjektfaktor *Reihenfolge* (EB→ PB vs. PB→ EB) zeigte einen signifikanten Haupteffekt für den Faktor *Schwierigkeitsindex* ($F(4.60, 322.092) = 244.948, p < .001, \eta_p^2 = .778$) und den Faktor *Bedingung* ($F(1, 70) = 16.097, p < .001, \eta_p^2 = .187$). Demnach stieg die BZ mit höherem SI an: SI 4,0 = 939 ms; SI 5,0 = 1053 ms; SI 5,6 = 1122 ms; SI 6,0 = 1127 ms; SI 6,6 = 1241 ms; SI 7,0 = 1202 ms; SI 7,6 = 1314 ms). Die Bewegungshandlungen wurden in der EB (1090 ms) insgesamt schneller ausge-

führt als in der PB (1196 ms). Der Zwischensubjektfaktor *Reihenfolge* (P1: EB → PB vs. P2: PB → EB) wirkte sich hingegen nicht auf die BZ aus ($F(1, 70) = .0374$, $p > .05$, $\eta_p^2 = .005$), d.h. die BZ der Vpn waren unabhängig von der Reihenfolge, in der die EB und PB absolviert wurden (EB → PB = 1147 ms; PB → EB = 1139 ms). Es ergaben sich keine signifikanten Zweifachinteraktionen. Auch die Dreifachinteraktion wurde nicht signifikant.

Im Folgenden werden zunächst die beiden EB von P1 und P2 betrachtet. Danach finden die PB Berücksichtigung. Abschließend werden die EB und PB verglichen. In der EB benötigten die Vpn im Mittel 1090 ms ($SD = 109$ ms) für den Transport einer Scheibe. Dabei sind die Vpn schneller in jenen Versuchsbedingungen, die durch einen niedrigen SI gekennzeichnet sind und langsamer in Bedingungen mit einem hohen SI (siehe *Tabelle 6*), d.h. die Vpn berücksichtigten die experimentellen Randbedingungen und passten ihre Bewegungsgeschwindigkeit an die Schwierigkeit der Aufgabe an.

Tabelle 6: Durchschnittliche Bewegungszeit in der Einzelbedingung aus Experiment 2 sortiert nach Schwierigkeit (in Einheiten/Sekunde).

SI	4,0	5,0	5,6	6,0	6,6	7,0	7,6
P1	922	1044	1110	1114	1245	1215	1278
(SD)	(99)	(76)	(104)	(73)	(107)	(108)	(103)
P2	840	947	1039	1032	1148	1119	1203
(SD)	(88)	(86)	(118)	(86)	(119)	(126)	(108)
M	881	996	1075	1073	1197	1167	1240

Lineare Regressionsanalysen bestätigten einen signifikanten Zusammenhang von SI und BZ (P1: $F(1, 250) = 330.033$; $p < .001$; $R^2 = .569$; P2: $F(1, 250) = 280.451$; $p < .001$; $R^2 = .529$) für beide Partner. Höhere Schwierigkeitsindizes der Aufgabe führten demnach zu langsameren Bewegungszeiten. Die Funktionsvorschrift für die P1 von $BZ = 99 \text{ ms} \cdot SI + 540 \text{ ms}$ gibt an, dass die BZ für den Transport einer Scheibe im Mittel um 99 ms steigt, wenn der SI um eine Einheit erhöht wird. Der Achsenabschnitt von 540 ms stellt den Schnittpunkt mit der y-Achse dar. Eine ähnliche Funktionsvorschrift ergibt sich für die P2 mit $BZ = 99 \text{ ms} \cdot SI + 454 \text{ ms}$. Demnach waren die BZ für den Transport einer Scheibe durchschnittlich 99 ms länger, wenn der SI um eine Einheit erhöht wurde. Für die P2 lag der Achsenabschnitt, der den Schnittpunkt der Geraden mit der y-Achse bei einem theoretischen SI von Null angibt, mit 454 ms unter dem der Vpn, die nicht mit der Paarbedingung begannen (*Abbildung 23*). Aufgrund des fehlenden Haupteffekts für den Faktor *Reihenfolge* sind diese numerischen Unterschiede in den EB jedoch statistisch nicht signifikant.

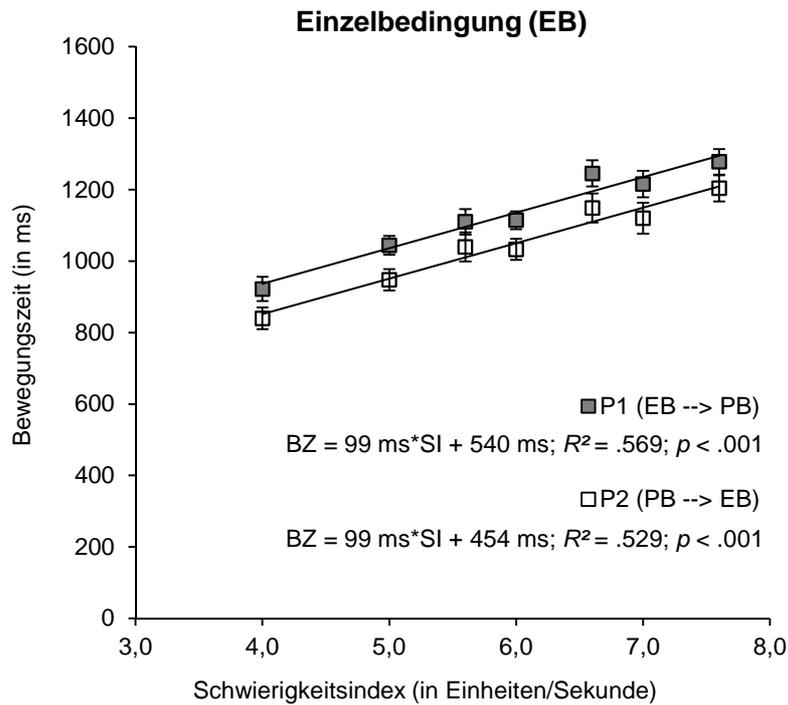


Abbildung 23: Graphische Darstellung der Bewegungszeiten (in ms) in der Einzelbedingung aus Experiment 2 für den Transfer einer Scheibe in Abhängigkeit vom Schwierigkeitsindex (in Einheiten/Sekunde) der Partner 1 (dunkle Vierecke) und der Partner 2 (helle Vierecke). Konfidenzintervalle geben die jeweilige Streuung der Daten an.

In der PB benötigten die Vpn im Mittel 1196 ms ($SD = 108$ ms) für den Transport einer Scheibe. Dabei sind die Bewegungszeiten der P1 mit durchschnittlich 971 ms in der leichtesten Versuchsbedingung kürzer als in der schwersten Versuchsbedingung mit durchschnittlich 1359 ms. In *Anhang 7* finden sich die BZ beider Partner in der PB. Die P2 agierten in den Aufgaben niedriger Schwierigkeit mit 1025 ms und 1416 ms in den Aufgaben höherer Schwierigkeit. In *Tabelle 7* sind die gemittelten BZ in der PB sortiert in aufsteigender Reihenfolge der Aufgabenschwierigkeit auf Basis des Fitts'schen Gesetzes aufgeführt.

Tabelle 7: Durchschnittliche Bewegungszeit in der PB aus Experiment 2 sortiert nach Schwierigkeit.

SI	4,0	5,0	5,6	6,0	6,6	7,0	7,6
P1	971	1076	1138	1143	1241	1198	1359
(SD)	(81)	(67)	(88)	(84)	(96)	(95)	(224)
P2	1025	1143	1203	1219	1330	1275	1416
(SD)	(94)	(67)	(103)	(84)	(111)	(92)	(126)
M	998	1090	1170	1184	1286	1236	1388

Regressionsanalysen ergaben auch in der PB einen positiven linearen Zusammenhang von SI und BZ für die P1 ($F(1, 250) = 215.294$; $R^2 = .463$; $p < .001$) und die P2 ($F(1,$

250) = 319. 174; $R^2 = .561$; $p < .001$). Demnach benötigten die Vpn mit steigendem SI zunehmend mehr Zeit für die Bewältigung der (Bewegungs-)Aufgabe (*Abbildung 24*).

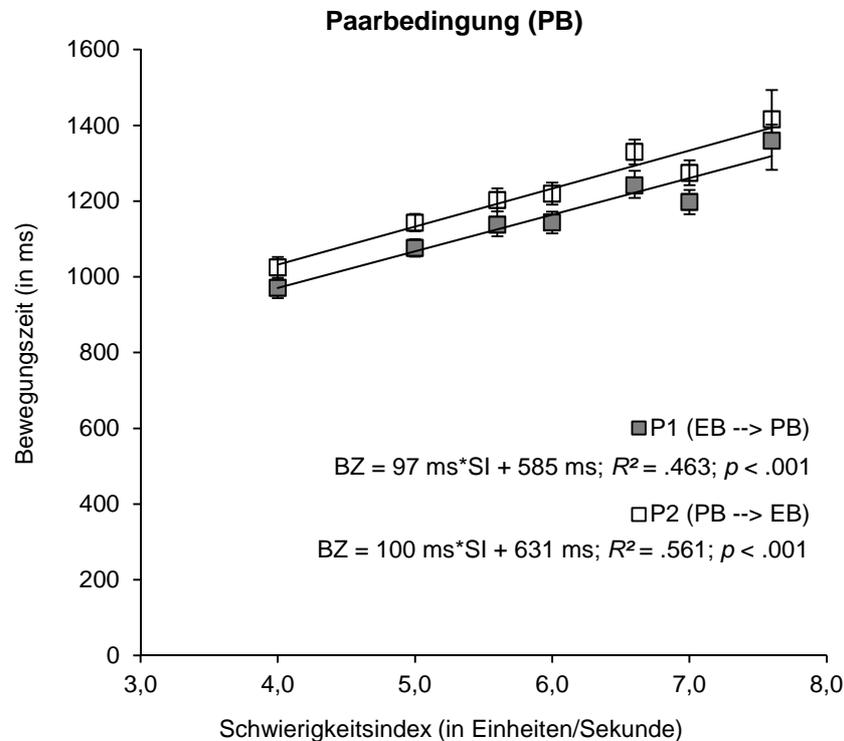


Abbildung 24: Graphische Darstellung der Bewegungszeiten (in ms) in der Paarbedingung aus Experiment 2 für den Transfer einer einzelnen Scheibe in Abhängigkeit vom Schwierigkeitsindex (in Einheiten/Sekunde). Dunkle Vierecke stellen die durchschnittliche BZ der Partner 1 und helle Vierecke die der Partner 2 dar. Konfidenzintervalle geben die jeweilige Streuung der Daten an.

Die Funktionsvorschrift berechnete sich für P1 mit $BZ = 97 \text{ ms} \cdot SI + 585 \text{ ms}$ und für P2 mit $BZ = 100 \text{ ms} \cdot SI + 631 \text{ ms}$. Dies bedeutet, dass der Transport einer Scheibe für die P1 mit jeder Erhöhung des SI's um eine Einheit zusätzliche 97 ms bewirkte. Für die P2 dauerte ein Scheibentransport durchschnittlich 100 ms länger bei einer Erhöhung des SI's um eine Einheit. Der Achsenabschnitt für die P1 zeigt an, dass bei einer hypothetischen Aufgabenschwierigkeit von Null circa 585 ms für einen Scheibentransport benötigt werden würden. Der Achsenabschnitt für P2 lag mit 631 ms etwas darüber. Auch hier blieb der Haupteffekt für den Faktor *Reihenfolge* aus, sodass diese numerischen Unterschiede in den PB auch zufällig zustande gekommen sein konnten.

Der Vergleich zwischen der EB und PB ergab, dass die BZ der Vpn unabhängig von der Reihenfolge in den EB ($M = 1090 \text{ ms}$; $SD = 109 \text{ ms}$) schneller waren als in den PB ($M = 1196 \text{ ms}$; $SD = 108 \text{ ms}$). Dies zeigte sich sowohl graphisch (*Abbildung 25*) als auch in dem signifikanten Haupteffekt für den Faktor *Bedingung*.

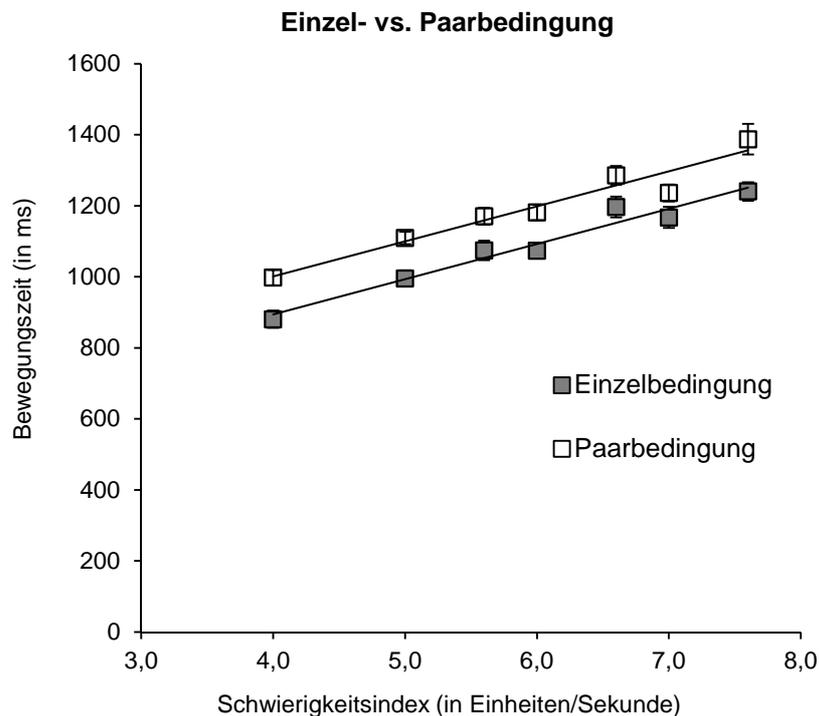


Abbildung 25: Graphische Darstellung der Bewegungszeiten (in ms) in der Einzelbedingung (dunkle Vierecke) und der Paarbedingung (helle Vierecke) aus Experiment 2 für den Transport einer Scheibe in Abhängigkeit vom Schwierigkeitsindex (in Einheiten/Sekunde). Konfidenzintervalle geben die jeweilige Streuung der Daten an.

Dabei ist der Unterschied zwischen den beiden Bedingungen weniger auf die Steigung (m) der Geraden bei einer systematischen Erhöhung des SI's zurückzuführen (EB: $m = 99$ ms vs. PB: $m = 98$ ms), da die beiden Regressionsgeraden zwischen SI und BZ nahezu parallel verlaufen. Die jeweiligen Schnittpunkte mit der Ordinate (b) liegen in der EB ($b = 540$ und $b = 454$ ms) deutlich unter den Achsenabschnitten der Regressionsgeraden in der PB ($b = 585$ und $b = 631$ ms). Demnach agieren die Vpn in der PB generell langsamer als in der EB.

6.2.2.2. Bewegungsfehler (BF)

Die Fehler 1. Art waren auch in diesem Experiment gering (1,18 % Fehler), so dass keine statistische Analyse vorgenommen wurde.

6.2.2.3. zusätzliche Analysen

Die mittleren BZ (in ms) in der EB in Abhängigkeit von der Distanz (100 vs. 200 vs. 300 mm) für die EB und dem Lochdurchmesser (9,12 vs. 12,25 vs. 18,50 mm) sind in *Abbildung 26* dargestellt und können *Anhang 6* entnommen werden.

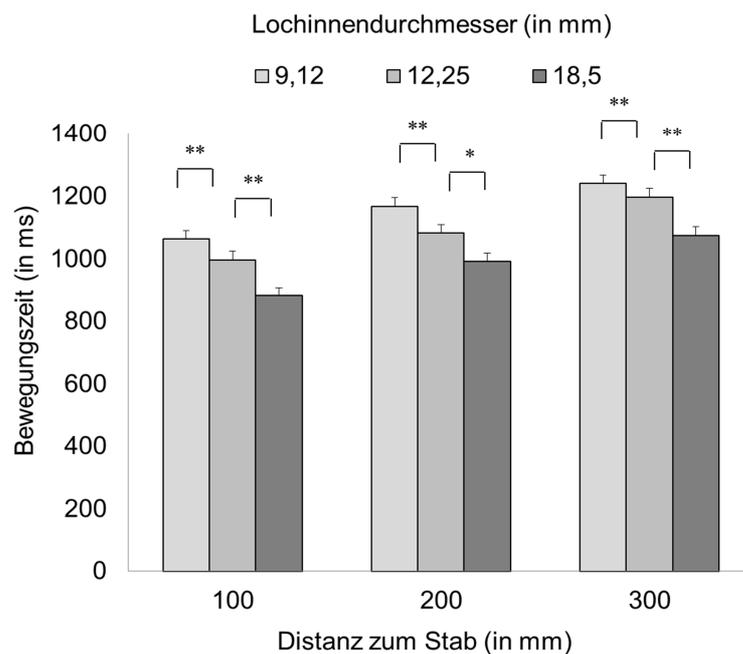


Abbildung 26: Graphische Darstellung der Bewegungszeiten (in ms) für den Transfer einer einzelnen Scheibe in der Einzelbedingung in Abhängigkeit von Distanz (in mm) und Lochdurchmesser (in mm).

Um den selektiven Einfluss der im experimentellen Design manipulierten Faktoren *Distanz* und *Zielgröße* separat zu prüfen, wurde für die BZ eine zwei-faktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung mit den Faktoren *Distanz* (dreifach gestuft) und *Zielgröße* (als Lochdurchmesser; dreifach gestuft) berechnet. Der Mauchly-Test auf Sphärizität ergab für den Faktor *Zielgröße* einen signifikanten Unterschied in den Varianzen der Differenzen (Kovarianzen) zwischen den Bedingungen. Für diesen Faktor werden die Werte nach dem Greenhouse-Geisser Verfahren korrigiert. Signifikante Haupteffekte traten für die *Distanz* ($F(2, 142) = 210.373, p < .001, \eta_p^2 = .748$) und die *Zielgröße* ($F(1.84, 130.26) = 211.812, p < .001, \eta_p^2 = .749$) auf. Isoliert man den Einfluss der einzelnen Faktoren ergab sich für jede Erhöhung der Distanz um 100 mm ein Anstieg der BZ von 95 ms. Gleichzeitig wirkte sich jede Reduktion des Lochdurchmessers um eine Stufe in zusätzlichen 87 ms BZ pro Scheibe aus. Die Interaktion zwischen Distanz und Zielgröße wurde nicht signifikant ($F(4, 284) = 1.177, p > .05, \eta_p^2 = .016$). Die BZ unterscheiden sich bei jeder Distanz und jedem Lochdurchmesser statistisch signifikant voneinander (alle $p < .008$).

Die mittleren BZ (in ms) in Abhängigkeit von der Distanz und dem Lochdurchmesser für die PB sind in *Abbildung 27* dargestellt und können dem *Anhang 7* entnommen werden. Für die PB wurde die gleich Varianzanalyse der BZ wie für die EB berechnet. Der Mauchly-Test zeigte hier für die Faktoren *Distanz* und *Zielgröße*, sowie die Interaktion beider Faktoren eine signifikante Verletzung der Sphärizität ($p < .05$). In der PB hatte die *Distanz* ($F(1.75, 124.22) = 231.792, p < .001, \eta_p^2 = .766$) und der *Zielgröße* ($F(1.80, 127.60) = 191.560, p < .001, \eta_p^2 = .730$) einen signifikanten Einfluss auf die BZ.

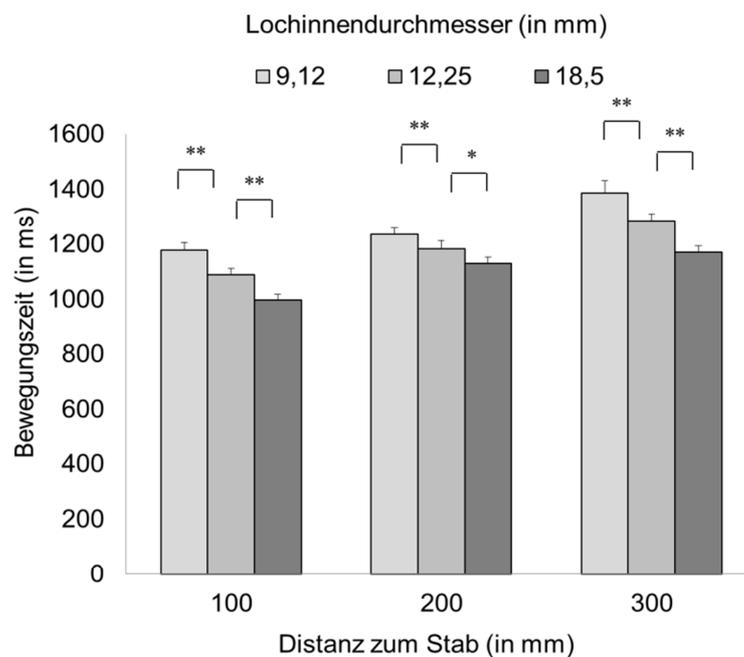


Abbildung 27: Graphische Darstellung der Bewegungszeiten (in ms) für den Transfer einer einzelnen Scheibe in der Paarbedingung in Abhängigkeit von Distanz (in mm) und Lochdurchmesser (in mm).

Die isolierte Betrachtung beider experimenteller Randbedingungen ergab, dass jede Erhöhung der Distanz um 100 mm einen Anstieg der BZ von 96 ms provozierte. Gleichzeitig wirkte sich jede Reduktion des Lochdurchmessers um eine Stufe in zusätzlichen 85 ms BZ pro Scheibe aus. Die Interaktion zwischen Distanz und Lochdurchmesser wurde ebenfalls signifikant ($F(2.60, 184.70) = 5.611, p < .05, \eta_p^2 = .073$). Demnach modulierten sich die beiden Faktoren gegenseitig, d.h. dass der Einfluss des Lochdurchmessers auf die BZ mit längerer Distanz zunahm. Mittels *posthoc t*-Tests für abhängige Stichproben (unter Berücksichtigung der Bonferroni Korrektur; $p = .008$) konnte jedoch nachgewiesen werden, dass sich die BZ zwischen jedem Lochdurchmesser für jede Distanz statistisch signifikant voneinander unterscheidet (alle $p < .008$).

6.2.3 Diskussion

Im Fokus von Experiment 2 stand der Vergleich der emergenten Koordinationsmuster zwischen EB und PB sowie die Betrachtung systematischer Interaktionseffekte beim Lösen von Aufgaben gleicher Schwierigkeit. Dafür sollten die Vpn die Scheibentransportaufgabe sowohl ohne Partner (EB) als auch mit Partner (PB) ausführen. Zunächst lässt sich für beide Bedingungen (EB und PB) feststellen, dass sich die experimentellen Randbedingungen im Sinne des Fitts'schen Gesetzes auf die Ausführung der Bewegungen auswirkten, was auch durch die zusätzlichen Analysen unterstrichen wird. Damit kann die *Nullhypothese 1.1* verworfen und die *Alternativhypothese 1.1* angenommen werden. Diese Ergebnisse stehen im

Einklang mit Experiment 1 und unterstützen die Generalisierbarkeit früherer Befunde aus Untersuchungen zum Fitts'schen Gesetz innerhalb von EB (z.B. Fitts & Peterson, 1964; Klapp, 1975; Crossman & Goodeve, 1963/1983; Welford, 1960) auf PB. Bewegungshandlungen wurden mit steigendem SI über alle Bedingungen hinweg langsamer vollzogen. Die Determinationskoeffizienten (R^2) der Regressionsanalysen für beide Partner legen zudem einen linearen Zusammenhang zwischen BZ und SI mit hohen Aufklärungswerten der Varianz (EB > 54 % und PB > 46 %) nahe. Dieses Koordinationsmuster entspricht der Vorhersage der *Forschungshypothese 1.1*. Das steht jedoch im Gegensatz zu den Ergebnissen von Fine & Amazeen (2011), die in ihrer Studie keinen Zusammenhang zwischen den BZ und den SI's in PB fanden. Ein wesentlicher Unterschied bestand allerdings darin, dass jene Vpn gleichzeitig Aufgaben unterschiedlicher Schwierigkeit ausführten, während im vorliegenden Experiment 2 die Schwierigkeiten für beide Partner immer gleich waren. Es stellt sich also die Frage nach dem Einfluss gleicher versus unterschiedlicher Aufgabenschwierigkeiten auf die Entstehung emergenter Koordinationsmuster innerhalb von Fitts'schen Aufgaben.

Darüber hinaus konnte ein systematischer Einfluss der PB auf die BZ im Gegensatz zu den EB beobachtet werden, welcher sich in langsameren BZ manifestierte. Dies ist ein wichtiger Hinweis dafür, dass es tatsächlich zu Interaktionseffekten zwischen zwei Partnern in der PB kommt, wenn die eigene Handlung mit der eines Partners abgestimmt werden muss. Danach kann die *Nullhypothese 1.2* abgelehnt und die *Alternativhypothese 1.2* bestätigt werden. Unterschiede zwischen EB und PB wurden bereits in anderen Studien berichtet (z.B. Fine & Amazeen, 2011; Mottet et al., 2001; Sebanz et al., 2006b) und deuten auf die Notwendigkeit hin, die eigene Bewegungshandlungen im Interaktionskontext auf die Bewegungen des Ko-Akteurs abzustimmen. Nach Sebanz und Kollegen (2003, 2005, 2007) bilden die Vpn in diesen Fällen Ko-Repräsentationen und repräsentieren dadurch die Aufgabe des Partner mit.

Weiterhin interessant ist insbesondere, dass langsamere BZ in der PB selektive Interaktionskosten nahelegen, obwohl die Partner ihre Bewegungshandlungen im Wechsel absolvierten und die Schwierigkeit der Aufgabe gleich war. Damit kann auch die *Forschungshypothese 1.2* bestätigt werden. Ein ähnliches Ergebnis beobachteten Vesper und Kollegen (2010) als sie zwei Vpn in einer Sprungaufgabe in EB separat und in PB gleichzeitig über unterschiedliche Distanzen springen ließen. Auch in dieser Untersuchung führten die Vpn die Bewegungen in der PB langsamer aus. Vesper und Kollegen (2010) begründeten dies mit s.g. *coordination smoothers*, die Ko-Akteure nutzen, um ihre Handlungen aufeinander abzustimmen. Langsamere Bewegungen können danach einfacher zwischen den Partner koordiniert werden. Das vorliegende Experiment liefert also einen ersten Einblick in Interaktionseffekte während der Koordination gemeinsamer Handlungen.

6.3 Experiment 3

Experiment 3 greift die Frage nach dem Einfluss unterschiedlicher Schwierigkeitsanforderungen zwischen den Partnern beim Lösen kooperativer Aufgaben auf. Fine und AMAZEEN (2011) berichteten in diesem Zusammenhang von einer Verletzung des Fitts'schen Gesetzes, wenn beide Partner gleichzeitig Aufgaben unterschiedlicher Schwierigkeitsanforderung zu bewältigen hatten. Deshalb untersucht Experiment 3 die Koordinationsmuster beider Partner beim Scheibentransfer, während sie Bewegungshandlungen von gleicher oder unterschiedlicher Schwierigkeit ausführen. In Experiment 3 können die *Nullhypothesen 1.1* und *1.2*, die *Alternativhypothesen 1.1* und *1.2* sowie die *Forschungshypothesen 1.1* und *1.3* geprüft werden.

Im Speziellen wurde der SI für Partner 1 (P1) systematisch zum SI für Partner 2 (P2) über alle Bedingungen hinweg variiert, wobei das arithmetische Mittel für jede Kombination gleich blieb (SI = 5,8 Einheiten/Sekunde). Für die Bewegungszeiten lassen sich fünf mögliche Vorhersagen treffen, die in den Vorhersagemodellen A-E in *Abbildung 28* graphisch dargestellt sind. Dabei ist auf der Abszisse die jeweilige Differenz der Versuchsbedingungen abgetragen (z.B. bedeutet für die P1 die Kombination 1|9 eine Differenz von „-8“, wohingegen sie aus Sicht der P2 „+8“ darstellt. Die Kombination 2|8 stellt eine Differenz von „-6“ für P1 und „+6“ für P2 dar usw.; siehe auch *Tabelle 9*). Auf der Ordinate ist die (prognostizierte) BZ (in ms) für einen Bewegungshalbzyklus abgetragen.

Nach dieser Konzeption sollten sich die BZ ähnlich dem Vorhersagemodell A abbilden, wenn die Vpn bei der Lösung der Aufgabe jeweils nur ihre eigene Aufgabenschwierigkeit berücksichtigen. Es handelt sich dabei nicht um ein *gemeinsames Handeln* (A; „Kein joint action“ = eigener SI), wenn längere BZ mit steigendem SI einhergehen. Die Vpn könnten hingegen auch die eigenen Aufgabenanforderungen ignorieren und den SI des Partners ko-repräsentieren. Danach sollten mit steigendem SI schnellere BZ einhergehen, da die Aufgabe des Partners genau gespiegelt ist (B; „Kein Joint Action“ = anderer SI). Es wäre auch möglich, dass die Interaktionspartner sowohl den eigenen als auch den SI des Partners berücksichtigen, d.h. sich die BZ aus dem arithmetischen Mittel beider Aufgabenschwierigkeiten ergibt. Dabei sollten die BZ parallel zur Abszisse verlaufen, also keine Steigung aufweisen, da sich aufgrund des experimentellen Designs ein konstanter arithmetischer SI (von 5,8 Einheiten/Sekunde) ergibt (C; „Joint Action“ = arithmetischer SI). Eine weitere Vorhersage wäre, dass die Interaktionspartner ihre Bewegungsgeschwindigkeit an der jeweils leichteren Aufgabe eines Partners orientieren könnten. Demnach würden sich schnellere BZ bei großen Differenzen der Kombinationen der Versuchsbedingungen und langsamere BZ bei ähnlich schweren Aufgaben zeigen. Dies äußerte sich dann graphisch in einer umgekehrten U-Funktion (D; „Joint Action“ = kleinerer SI).

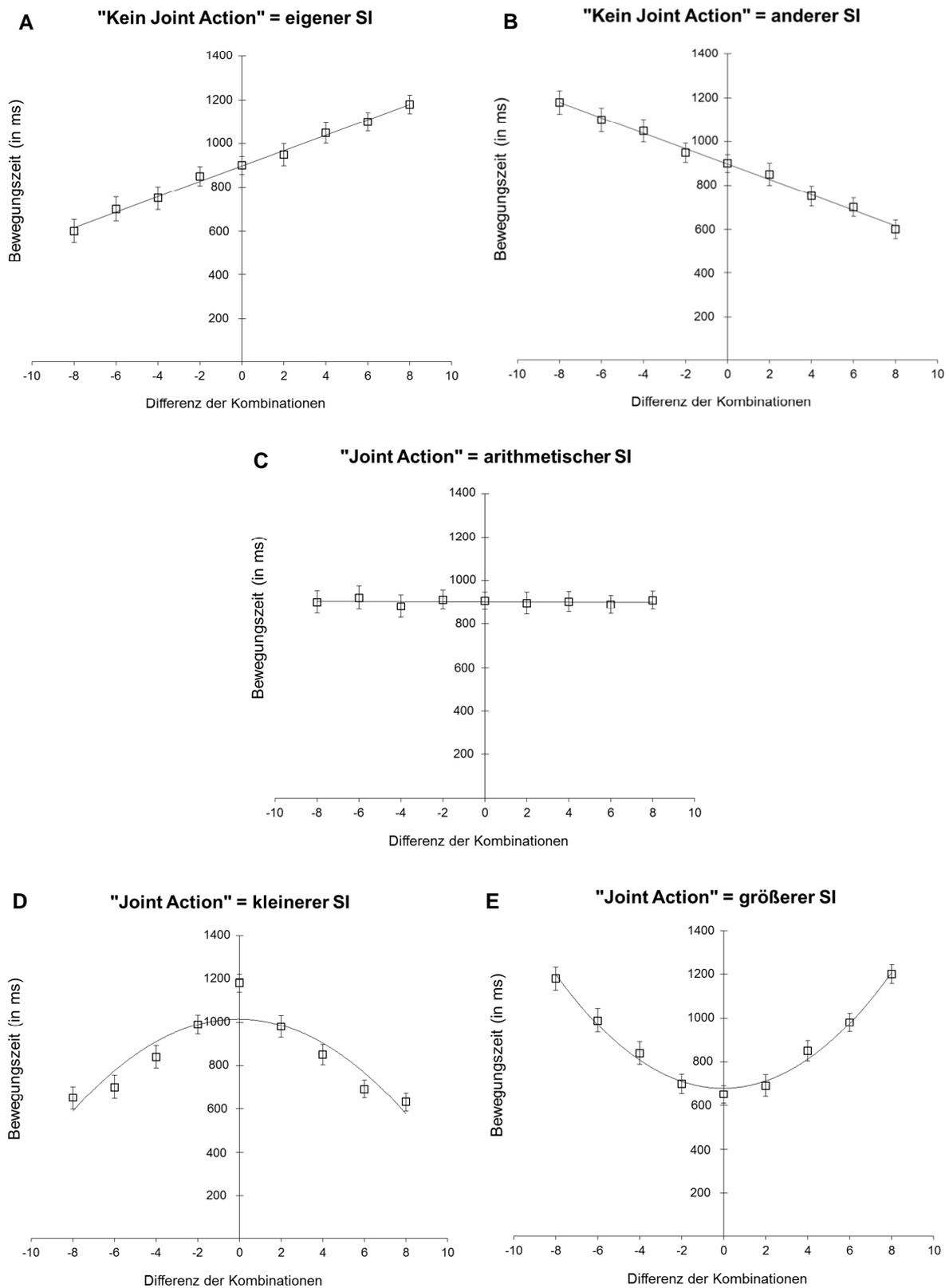


Abbildung 28: Vorhersagemodelle zum Verlauf der BZ in Experiment 3. Modell A und B gehen von keinem *gemeinsamen Handeln* aus, d.h. Vpn orientieren sich am eigenen SI (A; „Kein Joint Action“ = eigener SI) bzw. an dem des Ko-Akteurs (B; „Kein Joint Action“ = anderer SI). Nutzen Vpn das arithmetische Mittel der SI's beider Ko-Akteure (C; „Joint Action“ = arithmetischer SI), sollten die BZ parallel zur Abszisse verlaufen. Berücksichtigen die Vpn hingen den SI der jeweils leichteren Aufgabe (D; „Joint Action“ = kleinerer SI) oder jeweils schwereren Aufgabe (E; „Joint Action“ = größerer SI), sollten mit steigender Differenz der Kombinationen sinkende bzw. steigende BZ einhergehen.

Hängen die BZ der Vpn jedoch in stärkerem Maße von dem jeweils höheren SI der schwereren Aufgabe ab, sollten mit steigender Differenz der Kombination der Versuchsbedingungen (z.B. -8 | +8), steigende BZ einhergehen und umgekehrt schnellere BZ resultieren, wenn die Differenz der Kombinationen sehr gering (bzw. gleich) ist (E; „Joint Action“ = größerer SI). Diese letzten drei Vorhersagen würden für interpersonelle Interaktionsmuster trotz unterschiedlich schwieriger Aufgaben sprechen, d.h. bei jedem dieser Fälle kommt es zu Interaktionsmustern aufgrund der Aufgabe des Partners.

6.3.1 Methode

6.3.1.1. Versuchspaare

Es nahmen 24 Studierende der Universität des Saarlandes ($M = 22,83$ Jahre; $SD = 3,2$ Jahre; 10 weiblich) an diesem Experiment teil. Durch die randomisierte Zusammenstellung zu 12 Versuchspaaren resultierten ein weibliches, fünf männliche und sechs gemischtgeschlechtliche Paare. Die Teilnahme war freiwillig und wurde finanziell nicht entlohnt. Eine Vpn war linkshändig und acht trugen eine Sehhilfe (Tabelle 8).

Tabelle 8: Zusammenfassung der anthropometrischen Daten der Versuchspersonen aus Experiment 3.

	Paare			Gesamt
	männlich	weiblich	gemischt	
<i>N</i>	10	2	12	24
Alter (in Jahren)	22,3 ($\pm 4,0$)	24,7 ($\pm 0,4$)	23,4 ($\pm 2,5$)	22,8 ($\pm 3,2$)
Größe (in cm)	182,4 ($\pm 6,8$)	183,0 ($\pm 2,1$)	178,1 ($\pm 11,0$)	180,3 ($\pm 9,2$)
Händigkeit (rechts in %)	90	100	100	95,8
Sehhilfe (benötigt in %)	30	0	41,6	33,3

6.3.1.2. Versuchsaufgabe und –aufbau

Experimenteller Aufbau, Laborraum, Versuchsaufgabe, Instruktion, Fragebogen sowie Einverständnis- und Teilnahmeerklärung glichen den ersten beiden Experimenten. Die Vpn agierten in diesem Experiment ausschließlich gemeinsam, d.h. es gab keine EB.

6.3.1.3. Versuchsdesign

Die Vpn absolvierten die gleichen Experimentalbedingungen wie in den ersten beiden Experimenten, allerdings konnten die Interaktionspartner mit gleichen (z.B. SI von 5,8 und 5,8), sehr ähnlichen (z.B. SI von 5,6 und 6,0) oder sehr unterschiedlichen (z.B. SI von 4,0 und SI von 7,6) Aufgabenschwierigkeiten konfrontiert werden. Über alle Kombinationen hinweg lag die gemeinsame Aufgabenschwierigkeit bei 5,8 Einheiten/Sekunde. Die jeweiligen

Kombinationen der Bedingungen wurden gespiegelt, sodass jeder Ko-Akteur die gleiche Anzahl an Versuchsbedingungen mit den gleichen Aufgabenschwierigkeiten löste (*Tabelle 9*).

Tabelle 9: Versuchsbedingungen als Kombination von Distanz und Lochdurchmesser in Experiment 3.

Kombination Bedingung		Partner 1			Partner 2			Paar
P1 P2	P1 P2	Distanz	Zielgröße	SI _{P1}	Distanz	Zielgröße	SI _{P2}	SI _{Paar}
1 9	-8 +8	100	12,5	4,0	300	3,12	7,6	5,8
2 8	-6 +6	100	6,25	5,0	200	3,12	7,0	5,8
3 7	-4 +4	200	12,5	5,0	300	6,25	6,6	5,8
4 6	-2 +2	300	12,5	5,6	100	3,12	6,0	5,8
5 5	0 0	200	6,25	5,8	200	6,25	5,8	5,8
5 5	0 0	200	6,25	5,8	200	6,25	5,8	5,8
6 4	+2 -2	100	3,12	6,0	300	12,5	5,6	5,8
7 3	+4 -4	300	6,25	6,6	200	12,5	5,0	5,8
8 2	+6 -6	200	3,12	7,0	100	6,25	5,0	5,8
9 1	+8 -8	300	3,12	7,6	100	12,5	4,0	5,8

6.3.1.4. Datenanalyse

Drei gültige Versuche pro Bedingung gingen in die Datenauswertung ein. Analog zu den vorangegangenen beiden Experimenten stellte die BZ, die Transportzeit für das Umsetzen einer Scheibe, dar. Die BF als Versuche, die wiederholt werden mussten, weil die Vpn entweder die Reihenfolge verletzen oder eine Scheibe fallenließen, wurden aufgrund der geringen Anzahl statistisch nicht analysiert. Der S als Kombination aus *Distanz* zwischen Start- und Zielstab (3-fach gestuft) und *Zielgröße*, als Lochdurchmesser der Scheibe (3-fach gestuft; siehe Formel 4), ging als uV in die Varianz- und Regressionsanalysen ein.

6.3.2 Ergebnisse

6.3.2.1. Bewegungszeiten (BZ)

Damit beide Ko-Akteure in einem ausbalancierten Versuchsdesign die jeweiligen Kombinationen aus Distanz und Zielgröße gleich häufig durchführen, wurden die drei Distanzen und drei Lochdurchmesser wiederum orthogonal kombiniert und die mittlere Bedingung

(5|5) gespiegelt. Dadurch kommen die SI's 5,0 und 6,0 doppelt vor, die im Folgenden gemittelt dargestellt werden. Die P1 benötigten über alle Versuchsbedingungen im Mittel die geringste BZ ($M = 671$ ms; $SD = 93$ ms) in der Versuchsbedingung, die für die P1 mit dem SI 5,6 Einheiten/Sekunde gekennzeichnet ist. Am längsten dauerte der Scheibentransport im Mittel ($M = 804$ ms; $SD = 93$ ms) in der Bedingung in der die P1 den höchsten SI von 7,6 Einheiten/Sekunde zu absolvieren. Die P2 agierten ebenfalls im Mittel am schnellsten ($M = 725$ ms; $SD = 84$ ms) in der Bedingung mit dem SI von 5,6 Einheiten/Sekunde und am langsamsten ($M = 855$ ms; $SD = 84$ ms) in der Bedingung, die den höchsten SI von 7,6 Einheiten/Sekunde besaß (Anhang 8). Die zwei-faktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung mit dem Faktor SI und dem Zwischensubjektfaktor Partner zeigte im Gegensatz zu den beiden vorangegangenen Experimenten keinen signifikanten Haupteffekt für den Faktor Schwierigkeitsindex ($F(5.08, 355.76) = 1.020$; $p > .05$; $\eta_p^2 = .072$). Demnach gehen mit steigendem SI keine längeren BZ einher (Tabelle 10).

Tabelle 10: Durchschnittliche Bewegungszeit aus Experiment 3 sortiert nach Schwierigkeit.

SI	4,0	5,0	5,6	6,0	6,6	7,0	7,6
P1	735	701	671	692	745	756	804
(SD)	(103)	(84)	(93)	(68)	(100)	(89)	(93)
P2	825	788	725	773	793	791	855
(SD)	(107)	(95)	(84)	(71)	(97)	(91)	(84)
M	780	744	698	733	769	773	829

Die lineare Regressionsanalyse zeigte für die P1 einen signifikanten Zusammenhang ($F(1, 250) = 16.675$, $p < .001$, $R^2 = .063$) zwischen BZ und SI allerdings mit sehr niedrigem Determinationskoeffizient ($R^2 = .063$). Für die P2 wurde diese Abhängigkeit statistisch nicht signifikant ($F(1, 250) = 1.812$, $p > .05$, $R^2 = .007$). Die Determinationskoeffizienten (R^2) klären in beiden Analysen nur einen Bruchteil der Varianz (< 7 %) auf, d.h. dass sich die Bewegungsgeschwindigkeit der Ko-Akteure nicht über die (gemeinsame) Schwierigkeit der Aufgabe erklären lässt. Abbildung 29 stellt die durchschnittlichen Bewegungszeiten in Abhängigkeit von der Differenz der Versuchskombinationen von P1 und P2 dar:

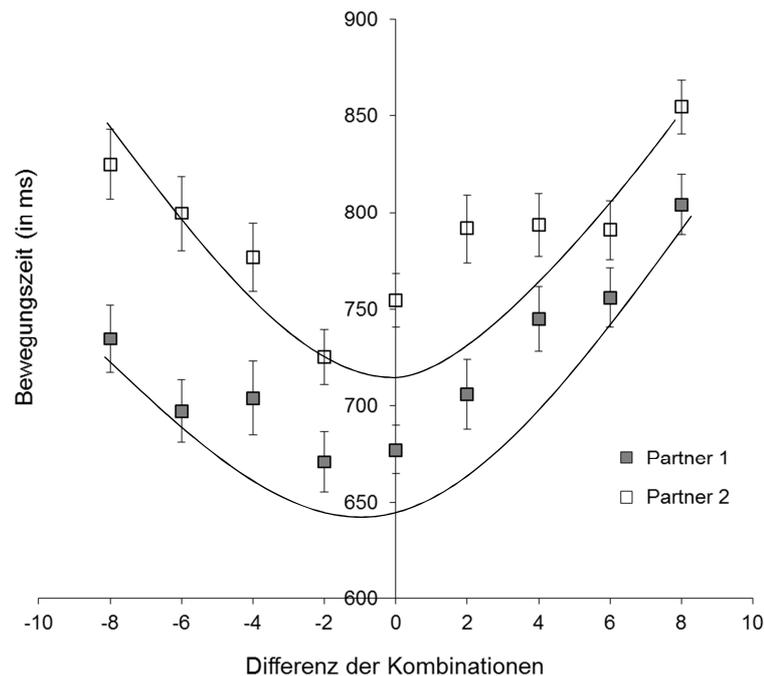


Abbildung 29: Graphische Darstellung der Bewegungszeiten (in ms) in Experiment 3 für den Transfer einer einzelnen Scheibe in Abhängigkeit von der Differenz der Kombinationen (Versuchsbedingungen, z.B. 1|9 = -8). Dunkle Vierecke stellen die durchschnittliche BZ der Partner 1 und helle Vierecke die der Partner 2 dar. Lineare Regressionsanalysen zeigten keinen signifikanten Einfluss des SI's auf die BZ. Die Daten entsprechen am ehesten dem Vorhersagemodell C („Joint Action“ = größerer SI).

In Bezug zu den oben genannten Vorhersagemodellen ähneln die Daten dem Modell E („Joint Action“ = größerer SI), nach dem die Vpn den SI der jeweils schwereren Aufgabe in ihrer Bewegungsplanung berücksichtigen. Mit steigender Differenz der Kombinationen (-8 | +8) gehen längere BZ einher. Umgekehrt resultieren schnellere BZ, wenn die Differenz der Kombinationen sehr gering (bzw. gleich) ist. Graphisch äußert sich dies in einem U-förmigen Verlauf der BZ. Der Zwischensubjektfaktor *Partner* wurde in diesem Experiment signifikant ($F(1, 70) = 23.167$; $p < .001$; $\eta_p^2 = .249$), so dass die P1 über alle Versuchsbedingungen hinweg im Mittel schneller waren ($M = 729$ ms) als die P2 ($M = 793$ ms).

Trägt man die durchschnittlichen BZ der beiden Partner gegen den jeweils *größeren Schwierigkeitsindex* der jeweiligen Bedingung ab (bspw. $SI(4,0+7,6) = 7,6$ Einheiten/Sekunde) ergeben lineare Regressionsanalysen sowohl für die P1 ($F(1, 322) = 30.586$, $p < .001$, $R^2 = .581$) als auch für die P2 ($F(1, 322) = 30.522$; $p < .001$, $R^2 = .724$) einen signifikanten Zusammenhang auf dem 1 %-igen-Signifikanzniveau. In *Abbildung 30* ist die BZ pro Scheibe (in ms) in Abhängigkeit vom größeren SI (in Einheiten/Sekunde) der jeweiligen Bedingung graphisch dargestellt.

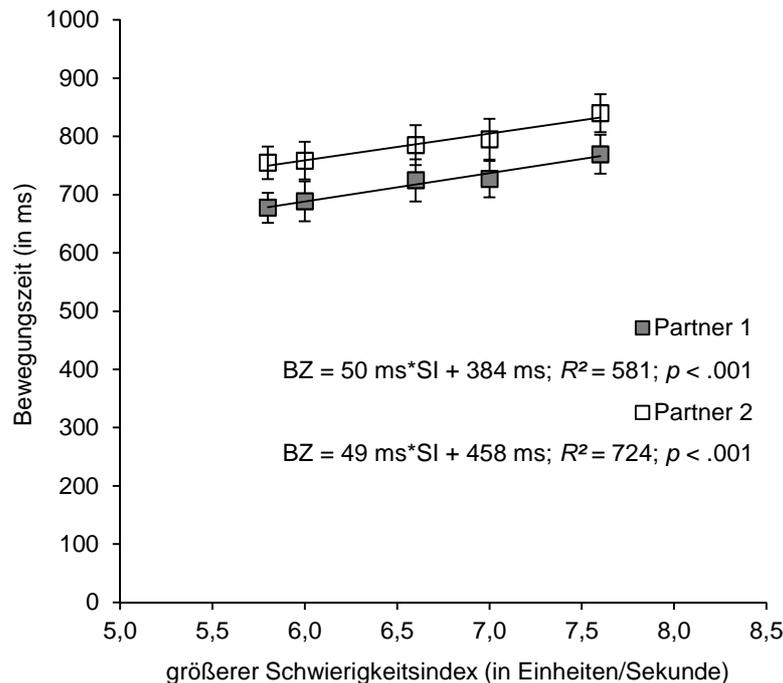


Abbildung 30: Graphische Darstellung der Bewegungszeiten (in ms) aus Experiment 3 für den Transfer einer einzelnen Scheibe in Abhängigkeit vom größeren Schwierigkeitsindex (in Einheiten/Sekunde). Dunkle Vierecke stellen die durchschnittliche BZ der Partner 1 und helle Vierecke die der Partner 2 dar. Konfidenzintervalle geben die jeweilige Streuung der Daten an.

Für die P1 resultierte die Funktionsvorschrift $BZ = 50 \text{ ms} \cdot SI + 384 \text{ ms}$ und für P2 $BZ = 49 \text{ ms} \cdot SI + 458 \text{ ms}$. Mit jeder Erhöhung der Schwierigkeit um eine Einheit stieg die BZ um durchschnittlich circa 50 ms.

6.3.2.2. Bewegungsfehler (BF)

Die Fehler 1. Art waren auch in diesem Experiment so gering (2,35 % Fehler), dass keine statistische Analyse vorgenommen wurde.

6.3.2.3. zusätzliche Analysen

Die zusätzlichen Analysen (zwei-faktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung) ergaben in diesem Experiment 3 keinen systematischen Einfluss des Faktors *Distanz* ($F(2, 142) = 2.503$; $p > .05$; $\eta_p^2 = .047$) und des Faktors *Lochdurchmesser* ($F(1.82, 129.43) = 1.746$; $p > .05$; $\eta_p^2 = .075$) auf die BZ. Die Interaktion beider Faktoren wurde ebenfalls nicht signifikant ($F(4, 284) = 1.750$; $p > .05$; $\eta_p^2 = .017$). Genau wie für den SI, bleibt der Einfluss der beiden manipulierten Faktoren aus.

6.3.3 Diskussion

In Experiment 3 wurde geprüft, ob sich die Koordinationsmuster zweier Partner beim Lösen einer einfachen Objektmanipulation (hier „Scheibentransferaufgabe“) während sie Bewegungshandlungen von gleicher oder unterschiedlicher Schwierigkeit ausführen quantitativ über das Fitts'sche Gesetz abbilden lassen. Zwei mögliche Vorhersagen für die BZ waren, dass sich die beiden Partner an den jeweiligen experimentellen Randbedingungen ihrer eigenen (A) oder denen des Partners (B) orientieren. Nach Vorhersagemodell C berücksichtigen beide Interaktionspartner sowohl den eigenen als auch den SI des Partners und bilden das arithmetische Mittel beider Aufgabenschwierigkeiten für ihre Bewegungshandlung. Der SI könnte sich ebenfalls *vermittelt über die Ko-Repräsentation des Partners* auf die BZ auswirken, indem sie ihre Bewegungsgeschwindigkeit an die jeweils leichtere (D) oder schwerere (E) Aufgabe eines Partners anpassen.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Vpn mit steigender Differenz der Kombination der Versuchsbedingungen (z.B. -8 | +8) mehr Zeit für den Transport einer Scheibe benötigen, d.h. je unterschiedlicher die individuellen Aufgabenschwierigkeiten sind, desto langsamer sind die Bewegungen. Der ausbleibende Haupteffekt für den Faktor *Schwierigkeit* sowie die linearen Regressionsanalysen mit geringen Aufklärungswerten der Varianz ($R^2 < 7\%$) belegen, dass sich die individuellen Koordinationsmuster eines Partners beim wechselseitigen Transfer von Scheiben nicht durch die experimentellen Randbedingungen beeinflussen und damit nicht über das Fitts'sche Gesetz abbilden lassen. *Nullhypothese 1.1* wird daher beibehalten und die *Alternativhypothesen 1.1* verworfen. Dieser Befund unterstützt die Ergebnisse der Studie von Fine und Amazeen (2011), die eine Verletzung des Fitts'schen Gesetzes bei unterschiedlich schweren Aufgaben innerhalb eines Versuchspaares berichteten. Demnach führen höhere SI's der Aufgabe nicht zu langsameren BZ (*Forschungshypothese 1.1*).

Es finden sich jedoch systematische Interaktionseffekte zwischen beiden Partnern, da sich die BZ nicht allein über die individuelle Aufgabenschwierigkeit der jeweiligen Bedingungen vorhersagen lassen (entgegen Vorhersagemodell A). *Alternativhypothese 1.2* wird daher angenommen und die *Nullhypothese 1.2* zurückgewiesen. Dies steht im Einklang der Studien zur Joint-Action-Forschung von Knoblich und Kollegen (2011) und Sebanz et al. (2006a, b, 2007).

Das U-förmige Interaktionsmuster der BZ spricht dafür, dass die Bewegungshandlungen der Vpn in hohem Maße vom Partner abhängig sind, indem sich die Bewegungsausführung der leichteren Aufgabe die Anforderungen der schwereren Aufgabe anpasst (Vorhersagemodell E). Demnach wirkt sich der SI *vermittelt über die Ko-Repräsentation des Partners* auf die BZ aus. Vesper und Kollegen (2013a) zeigten, dass ihre Vpn die zeitlichen und räumlichen Parameter der Bewegung an die des langsameren Ko-Akteurs anpassen (siehe

auch Kelso et al., 1979). Dabei war es ebenfalls jeweils der Partner mit der kürzeren Distanz und den größeren Zielfeldern (in einer Sprungaufgabe), der sich am Partner mit der schwierigeren Anforderung (längere Distanz und kleineres Zielfeld) orientierte. Vpn bilden also keine *gemeinsame (arithmetische) Aufgabenschwierigkeit* heraus, sondern passen sich jeweils an den Ko-Akteur an, der die schwerere Aufgabe zu bewältigen hat. Die *Forschungshypothese 1.3* nach der Partner beim Lösen von Aufgaben unterschiedlicher Schwierigkeit gerichtete Interaktionseffekte zeigen, kann somit bestätigt werden. Damit liefert dieses Experiment weitere Evidenz für systematische Interaktionsmuster, die zwischen zwei Kooperationspartnern während der gleichzeitigen Ausführung gemeinsamer Handlungen entstehen.

6.4 Diskussion – Experimentalreihe 1

Die Experimentalreihe 1 („Scheibentransferaufgabe“) untersuchte die Gültigkeit des Fitts’schen Gesetzes für die Partnerinteraktion beim Lösen kooperativer Aufgaben. Dafür führten die Versuchspaare gemeinsam *einfache Objektmanipulationen* (Experiment 1-3) durch, indem sie so schnell wie möglich jeweils 8 Scheiben im Wechsel von zwei getrennten Ausgangspositionen zu einer gemeinsamen Zielposition transportieren. Es wurde geprüft, ob die Koordinationsmuster zweier Partner bei diesem wechselseitigen Transfer von Scheiben durch die experimentellen Randbedingungen bestimmt werden und sich quantitativ über das Fitts’sche Gesetz abbilden lassen. Außerdem wurde der Frage nachgegangen, ob systematische Interaktionsmuster zwischen den Partnern beim Lösen der kooperativen Aufgabe entstehen.

Experiment 1 zeigte, dass die Interaktionspartner die Ausführungsgeschwindigkeit der Bewegungshandlungen an die experimentellen Randbedingungen anpassen. Vpn benötigten mit steigendem SI im Mittel mehr Zeit für den Transport der Scheiben. Das experimentelle Design dieser geführten Objektmanipulationsaufgabe erlaubte dabei keine (sinnvolle) statistische Analyse der Bewegungsfehler, da die beobachtete Anzahl der Fehler zu gering war. Im Fokus von Experiment 2 stand der Vergleich zwischen Bewegungshandlungen im Kontext von EB, in denen die Vpn ohne Partner agieren sollten, und PB, in denen die Partner die korrespondierenden Aufgaben gleichzeitig ausführten. Die Ergebnisse bestätigen zum einen, dass sich die experimentellen Randbedingungen unabhängig von der Bedingung (EB vs. PB) im Sinne des Fitts’schen Gesetzes auf die Ausführung der Bewegungen auswirkten, sodass Bewegungshandlungen mit steigendem SI über alle Bedingungen hinweg langsamer vollzogen wurden. Darüber hinaus konnte ein systematischer Einfluss der PB auf die BZ im Gegensatz zu den EB beobachtet werden, welcher sich in langsameren BZ manifestierte. In Experiment 3 führten die Versuchspaare ausschließlich in der PB Bewegungshandlungen von gleicher oder unterschiedlicher Schwierigkeit aus. Dabei ließen sich die individuellen

Koordinationsmuster eines Partners beim wechselseitigen Transfer der Scheiben nicht länger durch die experimentellen Randbedingungen im Sinne des Fitts'schen Gesetzes beschreiben. Mit steigender Differenz der Kombination der Versuchsbedingungen (z.B. -8 | +8) benötigten die Vpn mehr Zeit für den Transport einer Scheibe, d.h. je unterschiedlicher die individuellen Aufgabenschwierigkeiten waren, desto langsamer waren die Bewegungen. Stattdessen waren die Bewegungshandlungen der Vpn in hohem Maße abhängig vom Partner, indem sich die Bewegungsausführung der leichteren Aufgabe an die Anforderungen der schwereren Aufgabe anpasste (Vorhersagemodell E). Demnach wirkte sich der SI *vermittelt über die Ko-Repräsentation des Partners* auf die BZ aus.

Zum einen konnte die Experimentalreihe 1 („Scheibentransferaufgabe“) die Erkenntnisse zum Fitts'schen Gesetz bisheriger Studien zur Koordination von Bewegungen innerhalb von EB (z.B. Fitts & Peterson, 1964; Klapp, 1975; Crossman & Goodeve, 1963/1983; Welford, 1960) auf die Koordination von Bewegungen innerhalb von PB erweitert. Weiterhin gab sie zusätzliche Evidenz für systematische Interaktionsmuster zwischen EB und PB, welche bereits in anderen Studien berichtet (z.B. Fine & Amazeen, 2011; Mottet et al., 2001; Sebanz et al., 2006b) wurden. Eigene Bewegungshandlungen werden demnach im Interaktionskontext an die Bewegungen des Ko-Akteurs angepasst. Nach Sebanz und Kollegen (2003, 2005, 2007) bilden die Vpn in diesen Fällen Ko-Repräsentationen und verarbeiten so die Aufgabe des Partners mit. Dies steht im Einklang der Studien zur Joint-Action-Forschung (Knoblich et al., 2008, 2011 und Sebanz et al., 2006a, b, 2007). Die Partner absolvierten die Bewegungshandlungen im Wechsel. Obwohl die Schwierigkeit der individuellen Aufgabe der beiden Partner gleich war, legen langsamere BZ in der PB selektive Interaktionskosten nahe. Dies wurde bereits von Vesper und Kollegen (2010) beobachtet, als sie zwei Vpn in einer Sprungaufgabe in EB separat und in PB gleichzeitig über unterschiedliche Distanzen springen ließen. Sie führten die langsameren Bewegungen in der PB auf s.g. *coordination smoothers* zurück, die Ko-Akteure nutzen, um ihre Handlungen aufeinander abzustimmen. Langsamere Bewegungen können nach den Autoren einfacher zwischen den Partner koordiniert werden.

Zum anderen kann mit Hilfe dieser Experimentalreihe 1 der Konflikt zwischen den Studien von Mottet und Kollegen (2001) und Fine und Amazeen (2011) aufgeklärt werden: Die Ergebnisse aus Experiment 3 stehen zunächst im Einklang mit den Befunden von Fine und Amazeen (2011), die eine Verletzung des Fitts'schen Gesetzes berichteten, wenn beide Partner gleichzeitig Aufgaben unterschiedlicher Schwierigkeitsanforderung bewältigen. Allerdings belegen die systematischen Interaktionsmuster, dass Interaktionspartner zwar ihre Bewegungsplanung nicht direkt an der eigenen Aufgabenschwierigkeit orientieren, aber dass das Fitts'sche Gesetz indirekt *vermittelt über die Ko-Repräsentation* des Partners auf die BZ wirkt (vgl. auch Knoblich, 2011; Sebanz, 2006a, b, 2007; Vesper et al., 2013a). Damit kommt

es zu einer Anpassung der Koordinationsmuster bei der Ausführung von Bewegungen zu jeweils unterschiedlichen Aufgabenanforderungen, wobei die Interaktionspartner die Aufgabenanforderungen des Partners mitrepräsentieren (Sebanz et al., 2006b). Der Partner mit der leichteren Aufgabe orientiert sich während seiner Bewegungsausführung an den Anforderungen des Partners mit der schwereren Aufgabe, sodass sich die experimentellen Randbedingungen (Schwierigkeitsindex) quantitativ über das Fitts'sche Gesetz abbilden lassen (siehe auch Kelso et al., 1979). Diese Ergebnisse stehen im Einklang mit mentalen Simulationsaufgaben von Grosjean, Shiffrar, und Knoblich (2007), in denen gezeigt wurde, dass das Fitts'sche Gesetz nicht nur dann gültig ist, wenn Bewegungen ausgeführt, sondern auch wenn fremde Bewegungen beobachtet werden. Auch in den vorliegenden Experimenten schienen die Vpn in der Lage zu sein, die Aufgabenschwierigkeit des Partners abschätzen zu können und ihr (optimales) Bewegungsverhalten dahingehend abzustimmen. Diese Anpassung sollte jedoch nur vom Partner mit der leichteren Aufgabe auf den Partner mit der schwereren Aufgabe möglich sein. Denn sollte dagegen der Partner mit der schwereren Aufgabe versuchen sich an die Geschwindigkeit des Partners mit der leichteren Aufgabe anzupassen, dann müsste sich dies im Sinne des Fitts'schen Gesetzes in einer erhöhten Anzahl an Bewegungsfehlern widerspiegeln. Da Fehler hier nicht (und auch bei Grosjean et al., 2007, nicht) zulässig waren, war diese Kompensationsstrategie (d.h. eine höhere Geschwindigkeit bei mehr Fehlern) nicht möglich.

Es gilt zu berücksichtigen, dass die Vpn bei Fine und Amazeen (2011) Bewegungen zu räumlich voneinander getrennten, stationären Zielfeldern hin ausführten. In diesen drei Experimenten und in der Studie von Mottet und Kollegen (2001) sollte ein „gemeinsames Ziel“ erreicht werden. Unter Umständen ist dieses gemeinsame Ziel eine Grundvoraussetzung dafür, dass ein aufeinander abgestimmtes, kooperatives Handeln (im Sinne von *joint action*) stattfindet. Diese Annahme stimmt auch mit den Überlegungen von Vesper und Kollegen überein, die berichten, dass ein gemeinsames Handlungsziel zur Generierung von Ko-Repräsentationen notwendig ist (siehe auch Kapitel 3.4 zum „minimalen Architektur-Modell“ des gemeinsamen Handelns; Vesper et al., 2010).

7 Experimentalreihe 2 – „Wurfaufgabe“

Die Experimentalreihe 2 stellt einen Zwischenschritt von der einfachen Objektmanipulation der Scheibentransferaufgabe (Experimentalreihe 1) hin zur komplexen sportspielspezifischen Fertigkeit der Basketballpassaufgabe (Experimentalreihe 3) dar. Dafür sollen die Ergebnisse aus den Experimenten 1 bis 3 graduell auf eine komplexere (Wurf-)Bewegung erweitert werden. Beide Aufgaben, die Scheibentransferaufgabe und die Wurfaufgabe, verlangen die Ausführung einer ballistischen (Hand-)Bewegung. Der größte Unterschied zur Scheibentransferaufgabe besteht für die Wurfaufgabe darin, dass die (Flug-)Trajektorie des Objektes nach dem Verlassen der Hand nicht mehr korrigiert werden kann. Die Vpn müssen daher das Ergebnis der Handlung frühzeitig antizipieren und die Bewegungsplanung vor dem Abwurf abschließen. Eine Korrektur der Ausführung ist danach nicht mehr möglich. Die Versuchsaufgabe ähnelt den Studien zum Dartwurf, die zur Überprüfung des Fitts'schen Gesetzes in der Sagittal-Ebene vor dem Körper durchgeführt wurden (Kerr & Langgolf, 1977; Etnyre, 1998).

Im Folgenden wird der gleiche Untersuchungsaufbau wie in der Experimentalreihe 1 „Scheibentransferaufgabe“ angewandt. Es erfolgt zunächst die Prüfung der Gültigkeit des Fitts'schen Gesetzes bei einer Partnerinteraktion (Experiment 4), danach der Vergleich zwischen der Einzel- und Paarbedingung (Experiment 5) und abschließend die Konfrontation der Vpn mit unterschiedlichen Aufgabenschwierigkeiten (Experiment 6). Durch die Operationalisierung der Aufgabenanforderung über den Schwierigkeitsindex ist es zudem möglich, die Ergebnisse beider Experimentalreihen direkt miteinander zu vergleichen.

7.1 Experiment 4

Experiment 4 dient dazu, die Befunde des Experiments 1 (aus Experimentalreihe 1 „Scheibentransferaufgabe“) auf eine Objektmanipulationsaufgabe mittlerer Komplexität zu übertragen (hier „Wurfaufgabe“). Die Vpn warfen dazu jeweils 8 Bälle möglichst schnell in unterschiedlich große Kisten aus verschiedenen Distanzen. Der Aspekt, der diese Aufgabe komplexer machte, war, dass das zu manipulierende Objekt nach dem Verlassen der Hand nicht mehr beeinflusst werden konnte. Die (Flug-)Trajektorie des Objektes relativ zum Ziel musste demnach vorab antizipiert werden. Im Fokus dieses Experiments stehen die beobachtbaren Koordinationsmuster beim Lösen kooperativer Aufgaben, d.h. eine Anpassung der Bewegungshandlungen an die experimentellen Randbedingungen der Aufgabe. Mit Hilfe dieses Experiments 4 kann der *Nullhypothese 2.1*, der *Alternativhypothese 2.1* und der *Forschungshypothese 2.1* nachgegangen werden.

7.1.1 Methode

7.1.1.1. Versuchspaare

24 freiwillige Vpn ($M = 23,32$; $SD = 5,24$ Jahre; 11 weiblich) der Universität Paderborn nahmen an diesem Experiment teil. Die randomisierte Zuordnung durch den Versuchsleiter zu zwölf Versuchspaaren ergab fünf gemischtgeschlechtliche, vier männliche und drei weibliche Paare. Bei 10 Vpn lag nach eigenen Angaben eine Einschränkung der Sehleistung vor bzw. war diese entsprechend korrigiert. Die Studierenden verfügten alle über Vorerfahrungen im Sport. Die Sportexpertise in Wurfsporarten (Basketball, Handball und Volleyball) lag durchschnittlich bei 3,9 Jahren (*Tabelle 11*).

Tabelle 11: Zusammenfassung der anthropometrischen Daten der Versuchspersonen aus Experiment 4.

	Paare			Gesamt
	männlich	weiblich	gemischt	
<i>N</i>	8	6	10	24
Alter (in Jahren)	23,4 ($\pm 0,8$)	20,7 ($\pm 1,0$)	28,2 ($\pm 7,8$)	23,3 ($\pm 5,2$)
Größe (in cm)	181,1 ($\pm 4,5$)	169,3 ($\pm 7,5$)	170,3 ($\pm 2,8$)	173,7 ($\pm 8,9$)
Händigkeit (rechts in %)	100	100	66,7	92,9
Sehhilfe (benötigt in %)	40,0	41,2	50,0	42,9
Sportexpertise (in Jahren)	7,6 ($\pm 8,1$)	1,3 ($\pm 2,4$)	2,7 ($\pm 4,6$)	3,9 ($\pm 5,9$)

7.1.1.2. Versuchsaufgabe und –aufbau

Die Untersuchungen fanden in einem Raum der Universität Paderborn statt, der in der Regel für Tanzveranstaltung genutzt wird. Vor Beginn des Experiments füllten die Vpn eine Einverständnis- und Teilnahmeerklärung (siehe *Anhang 2*) aus und gaben ihre persönlichen Daten mit Geschlecht, Händigkeit und Körpergröße in einem Fragebogen an (*Anhang 3*). Danach erhielten sie eine standardisierte Instruktion, die bei Nachfragen gegebenenfalls mit weiteren mündlichen Angaben ergänzt wurde.

Die Aufgabe der Vpn war es, so schnell wie möglich in alternierender Reihenfolge jeweils acht Bälle in unterschiedlich große Kisten (groß: 550 x 765 mm; mittel: 375 x 535 mm; klein: 250 x 365 mm) zu werfen. Die Vpn saßen rittlings auf einem Stuhl (Höhe: 470 mm) dessen Distanz zur Kiste (1000, 1500 und 2000 mm) systematisch variiert wurde. Die Höhe der Kisten war auf 420 mm normiert. Die Diagonale der Öffnungsfläche der Kiste (390, 600 und 880 mm) ging als Zielgröße (W) in die Berechnung des SI 's ein. Farbige Markierungen auf dem Boden kennzeichneten die Position der Kisten und die drei (Wurf-)Distanzen. Die Vpn saßen mit der Brust zur Lehne gerichtet (rittlings) auf dem Stuhl, um ein nach vorne

beugen zu verhindern. Dies gewährleistete konstante Distanzen zwischen Kiste und Vpn. Unterschiede in den Armlängen wurden nivelliert, indem die Vpn an der entsprechenden Distanzmarkierung mit ausgestreckten Armen ein Pendel hielten und die Stühle so positioniert wurden, dass sie die Distanz plus die individuelle Armlänge beinhalteten. Neben den Vpn befanden sich Ablageflächen (Höhe: 420 mm; Auflagefläche: 510 x 710 mm) für die jeweils acht Bälle (*Abbildung 31*).

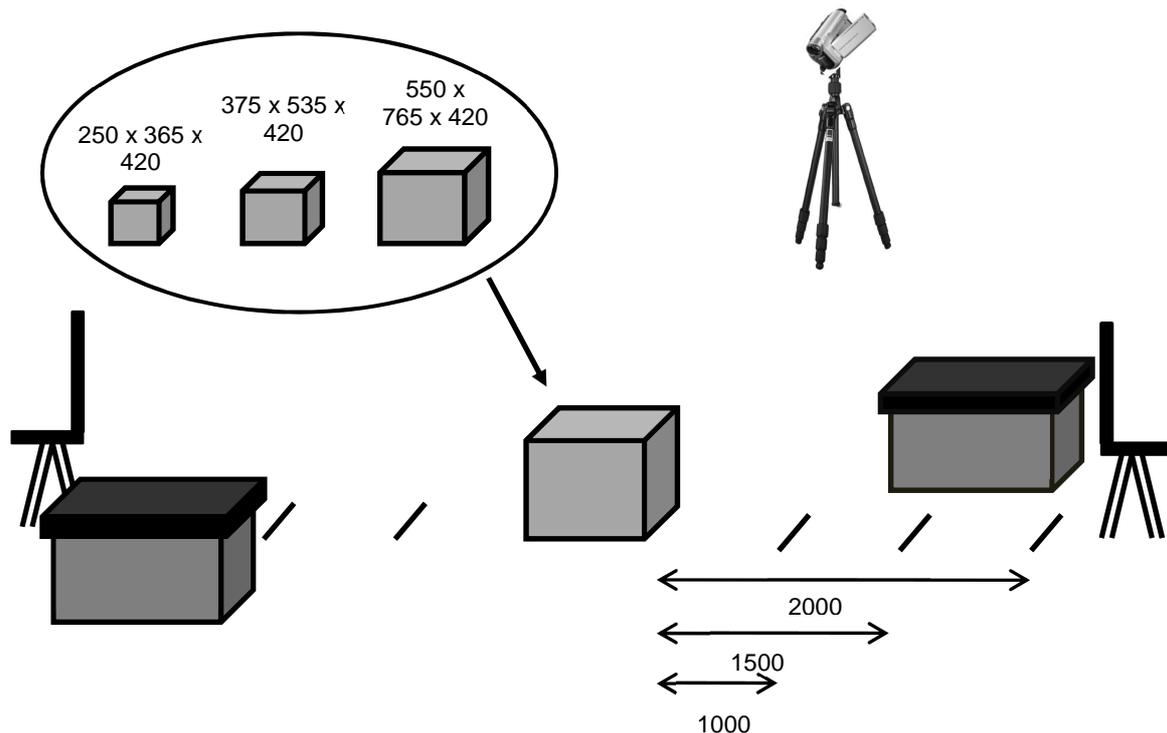


Abbildung 31: Versuchsaufbau der zweiten Experimentalreihe „Wurfaufgabe“ (Experimente 4-6). Die systematische Variation von drei Distanzen (1000 vs. 1500 vs. 2000 mm) zwischen Stuhl und Kiste und drei Kisten unterschiedlicher Größe (Diagonale = 390 vs. 600 vs. 880 mm) ergab neun unterschiedlich schwere Aufgaben auf Basis des Fitts'schen Gesetzes (SI's zwischen 2,2 und 4,4 Einheiten/Sekunde).

Die Ablageflächen durften die Vpn nach eigenem Ermessen ausrichten, so dass sie diese angenehm erreichen konnten. Die einzige Limitierung war die Positionierung *neben* dem Stuhl (nicht dahinter oder davor). Ein Behälter (230 x 230 x 120 mm) verhinderte das Wegrollen der Bälle. Es handelte sich um mit Reis gefüllte Bälle ($U = 165$ mm), welche den Vorteil hatten, dass sie aufgrund ihrer elastischen Eigenschaften nicht aus der Kiste herauspringen und die Vpn dadurch nicht irritieren konnten. Eine Kamera (12.0 MegaPixel; 1920 x 1080; HD Recording) war so positioniert, dass sie den gesamten Versuchsaufbau erfasste.

7.1.1.3. Versuchsdesign

Auf das Kommando des Versuchsleiters (hier: „Achtung, Fertig, Los!“) sollten die Vpn einen Oberhandwurf ausführen, wobei jeweils nur ein Ball gegriffen werden durfte. Ein Wurf

umfasste das Greifen, die ballistische Wurfbewegung und das Loslassen des Balles. Die Partner legten per Absprache selbstständig fest wer mit dem ersten Wurf beginnen sollte und behielten dies bis zum Ende des Experiments bei. Die Partner mussten wechselseitig agieren, also immer abwechselnd werfen. Dabei kam es lediglich darauf an, dass die Bälle in der richtigen Reihenfolge in der Kiste landeten, d.h. die Vpn durften bereits werfen, wenn der Ball des Partners die Kiste noch nicht erreicht hatte. Nach jedem Durchgang erhielten die Vpn Ergebniswissen in Form der benötigten BZ und der Anzahl getroffener Bälle. Mehr als drei Fehlwürfe²³ pro Vpn hatte eine Wiederholung des Durchgangs zur Folge. Dabei konnten zu viele Fehler des Partners (z.B. vier Fehlwürfe) nicht durch eine niedrigere Fehleranzahl (z.B. kein Fehlwurf) des anderen Partners kompensiert werden. Fehlerhafte Durchgänge wurden vom VL vermerkt und so lange wiederholt bis pro Versuchsbedingung vier erfolgreiche Versuche absolviert wurden. Die durchschnittliche Dauer des gesamten Experiments betrug circa 45 Minuten. Aus der orthogonalen Kombination der drei Distanzen mit den drei Kistengrößen ergaben sich neun SI's zwischen 2,2 und 4,4 Einheiten/Sekunde (*Tabelle 12*).

Tabelle 12: Versuchsbedingungen der Experimentalreihe 2 „Wurfaufgabe“ sortiert nach Schwierigkeit (Einheiten/Sekunde).

SI	2,2	2,8	2,8	3,2	3,4	3,4	3,8	4,0	4,4
Distanz	200	200	300	400	300	200	400	300	400
Kistengröße	880	600	880	880	600	390	600	390	390

In einer Eingewöhnungsphase absolvierten die VP alle drei Kistengrößen aus den Übungsdistanzen (1250 und 2500 mm) jeweils einmal erfolgreich²⁴. Die Reihenfolge der neun Versuchsbedingungen wurde für jedes Paar randomisiert.

7.1.1.4. Datenanalyse

Die Datenanalyse glich den Experimenten 1 bis 3 mit der Ausnahme, dass zusätzlich zu den BZ auch die Bewegungsfehler 2. Art erfasst werden konnten. Dabei handelte es sich um die relative Anzahl an Bällen, die nicht in der Kiste landeten. Analog zu Experiment 1 prüfte eine zwei-faktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung den Einfluss des Faktors *Schwierigkeitsindex* (7-fach gestuft) und des Zwischensubjektfaktors *Partner* (P1 vs. P2) für die abhängigen Variablen BZ (in ms) und BF (in %). Für die Regressionsanalysen der BZ

²³ Als Fehler 2. Art galten alle Bälle, die nicht in der Kiste landeten, also auch jene, die vom Rand der Kiste auf den Fußboden fielen und Bälle, die schon beim Herausnehmen den Boden berührten.

²⁴ Die Übungsdistanzen dienten der Gewöhnung an die Versuchsaufgabe und an das Flugverhalten der Bälle. Es wurden Distanz-Kistengrößen-Kombinationen gewählt, die nicht im späteren Experimentaldesign enthalten waren, um konfundierende Effekte auszuschließen. Die Reihenfolge war hier für alle Paare beginnend mit einer geringen, dann großen Distanz auf eine große, dann mittlere, dann kleine Kiste für alle VP standardisiert.

wurde ein lineares, für die BF ein exponentielles Annäherungsmodell des SI's verwendet. Die Prüfung auf Ausreißer (+/- zweifache Standardabweichung) und auf Normalverteilung (Kolmogorov-Smirnov-Test) erlaubte die Aufnahme aller Versuchspaare in die Datenauswertung. Zusätzliche Analysen (zwei-faktorielle ANOVA's r.m.) prüften den separaten Einfluss der manipulierten Faktoren *Distanz* und *Kistengröße*. Bei einer signifikanten Interaktion der beiden Faktoren zeigten *posthoc t*-Tests (unter Berücksichtigung der Bonferroni-Korrektur) die jeweilige Gewichtung der Einflussfaktoren.

7.1.2 Ergebnisse

7.1.2.1. Bewegungszeiten (BZ)

Der Kolmogorov-Smirnov-Test zeigte für keine der neun Bedingungen einen signifikanten Unterschied innerhalb eines Versuchspaars ($p > .05$). Im Mittel benötigten die Vpn 1544 ms ($SD = 272$ ms) für einen Bewegungszyklus, d.h. für das Greifen eines Balles, das Zielen und Werfen (*Anhang 9*). Sortiert man die BZ nach dem jeweiligen SI der Versuchsbedingung, fällt auf, dass mit steigender Aufgabenschwierigkeit wiederum längere BZ einhergehen. Für das Werfen eines Balles benötigten die P1 durchschnittlich 1145 ms in der Bedingung, die durch den niedrigsten SI gekennzeichnet ist, in der die Vpn aus zwei Metern Entfernung auf die große Kiste warfen. Aufgaben höherer Schwierigkeit, beispielsweise Würfe aus vier Metern Entfernung auf die kleinste Kiste ($SI_{4,4}$) dauerten länger ($M_{P1} = 1970$ ms).

Tabelle 13: Durchschnittliche Bewegungszeiten aus Experiment 4 sortiert nach Schwierigkeit (in Einheiten/Sekunde).

SI	2,2	2,8	3,2	3,4	3,8	4,0	4,4
P1	1145	1270	1504	1464	1767	1882	1970
(SD)	(187)	(204)	(263)	(240)	(352)	(385)	(431)
P2	1120	1274	1529	1464	1773	1882	2277
(SD)	(202)	(205)	(225)	(240)	(349)	(388)	(460)
M	1133	1272	1517	1464	1770	1882	2123

Die P2 agierten in der leichtesten Bedingung ($SI_{2,2}$) mit 1120 ms ebenfalls schneller als in der schwierigsten Bedingung ($SI_{4,4}$) mit durchschnittlich 2277 ms. Basierend auf dem Fitts'schen Gesetz ergaben sich aus den uV's Distanz und Lochdurchmesser verschiedene SI's zwischen 2,2 und 4,4 Einheiten/Sekunde (*Tabelle 13*). Durch die orthogonale Kombination von Distanz und Zielgröße kamen die SI's 2,8 und 3,4 zweimal vor, die im Folgenden als gemittelte Werte dargestellt werden. Mit Hilfe einer zwei-faktoriellen Varianzanalyse mit

Messwiederholung mit dem Faktor *Schwierigkeitsindex* (7-fach gestuft) und dem Zwischen-subjektfaktor *Partner* (P1 vs. P2) wurde der Einfluss des SI's auf die BZ geprüft. Da der Mauchly-Test auf Sphärizität eine Verletzung der Varianzen innerhalb der Versuchsbedingungen vorfand ($p < .05$), werden im Folgenden die nach dem Greenhouse-Geisser Korrekturverfahren angepassten Kennwerte angegeben. Es zeigte sich ein signifikanter Haupteffekt für den Faktor *Schwierigkeitsindex* ($F(3.15, 220.42) = 260.356, p < .001, \eta_p^2 = .788$). Demnach stieg die BZ systematisch mit höherem SI an (*Abbildung 32*): SI 2,2 = 1133 ms; SI 2,8 = 1272 ms; SI 3,2 = 1517 ms; SI 3,4 = 1464 ms; SI 3,8 = 1770 ms; SI 4,0 = 1882 ms; SI 4,4 = 2123 ms. Zwischen den beiden Partnern gab es keinen Unterschied in den BZ ($F(1, 70) = .562, p > .05, \eta_p^2 = .008$). Demnach agieren die Partner in den Versuchsbedingungen gleich schnell ($M_{P1} = 1572$ ms vs. $M_{P2} = 1617$ ms). Die Interaktion beider Faktoren wurde nicht signifikant.

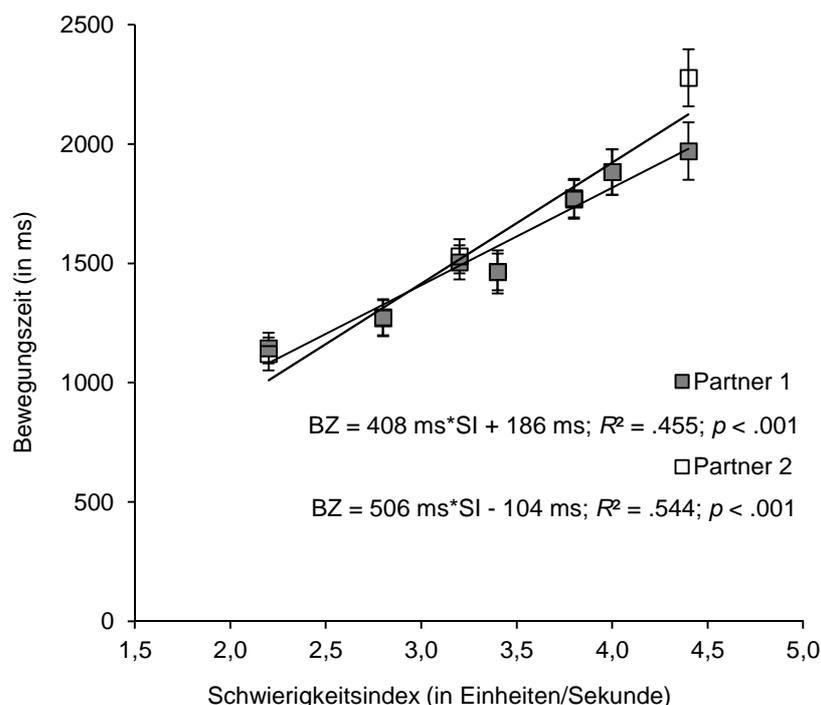


Abbildung 32: Graphische Darstellung der durchschnittlichen Bewegungszeiten (in ms) für das Werfen eines Balles in Abhängigkeit vom Schwierigkeitsindex (in Einheiten/Sekunde) in Experiment 4. Dunkle Vierecke stellen die durchschnittliche BZ der P1 und helle Vierecke die der P2 dar. Konfidenzintervalle geben die jeweilige Streuung der Daten an.

Separate lineare Regressionsanalysen ($uV = SI$; $aV = BZ_{P1}$ und BZ_{P2}) zeigten einen signifikanten Zusammenhang zwischen SI und BZ. Für P1 ($F(1, 250) = 209.093; R^2 = .455; p < .001$) berechnete sich eine Funktionsvorschrift von $BZ = 408 \text{ ms} \times SI + 186 \text{ ms}$, d.h. dass jede Erhöhung des SI's um eine Einheit, einen Anstieg der BZ um durchschnittlich 408 ms bewirkte. Der Achsenabschnitt von 186 ms stellte die theoretisch berechnete Mindestdauer einer Bewegung bei einem hypothetischen SI von Null dar. Die Funktionsvorschrift für

die P2 ($F(1, 250) = 298.516$; $R^2 = .544$; $p < .001$) von $BZ = 506 \text{ ms} \times SI - 106 \text{ ms}$ beschreibt einen Anstieg der Geraden von 506 ms mit jeder Erhöhung des SI's um eine Einheit. Der Achsenabschnitt lag bei minus 106 ms. Für beide Abhängigkeiten zwischen SI und BZ ergaben sich Determinationskoeffizienten (P1: $R^2 = .455$; P2: $R^2 = .544$) in einem hoch signifikanten Bereich, d.h. dass sich ein Großteil der Varianz (P1 = 45,5 %; P2 = 54,4 %) in den BZ über den SI aufklären lässt (vgl. Bortz, 2005).

7.1.2.2. Bewegungsfehler (BF)

In der Experimentalreihe 2 („Wurfaufgabe“) konnten im Gegensatz zu Experimentalreihe 1 („Scheibentransferaufgabe“) die *Bewegungsfehler* systematisch ausgewertet werden. Dabei wurden *Fehler 1. Art* und *Fehler 2. Art* unterschieden (Juras et al., 2009). Bei den Fehlern 1. Art handelte es sich um geringfügige Ungenauigkeiten in der Bewegungsausführung (z.B. dem Verfehlen der Kiste oder das Fallenlassen eines Balles beim Greifen auf der Ablagefläche). Überschritten diese Ungenauigkeiten die maximal erlaubte Anzahl (*Fehler 1. Art* > 3) oder trat eine schwerwiegendere Ungenauigkeit wie beispielsweise eine Verletzung der Reihenfolge auf, wurde dies als Fehler 2. Art gewertet. Die jeweilige Versuchsbedingung musste dann direkt wiederholt werden. Insgesamt verfehlten die Versuchspaare in 14,08 % der Fälle die jeweilige Kiste. Diese Fehler der 1. Art gingen als aV in die Datenauswertung ein (*Anhang 10*). Die zwei-faktorielle Varianzanalyse ergab einen signifikanten Haupteffekt für den Faktor *Schwierigkeit* ($F(4.40, 153.90) = 70.818$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .669$), demnach wurden auch die relativen BF durch den SI moduliert. Die Abhängigkeit der BF von dem SI der Aufgabe wurde aufgrund der Erkenntnisse aus Pilotexperimenten und den Befunden von Guiard und Olafsdottir (2011) mittels eines exponentiellem Kurvenanpassungsmodell berechnet (*Abbildung 33*).

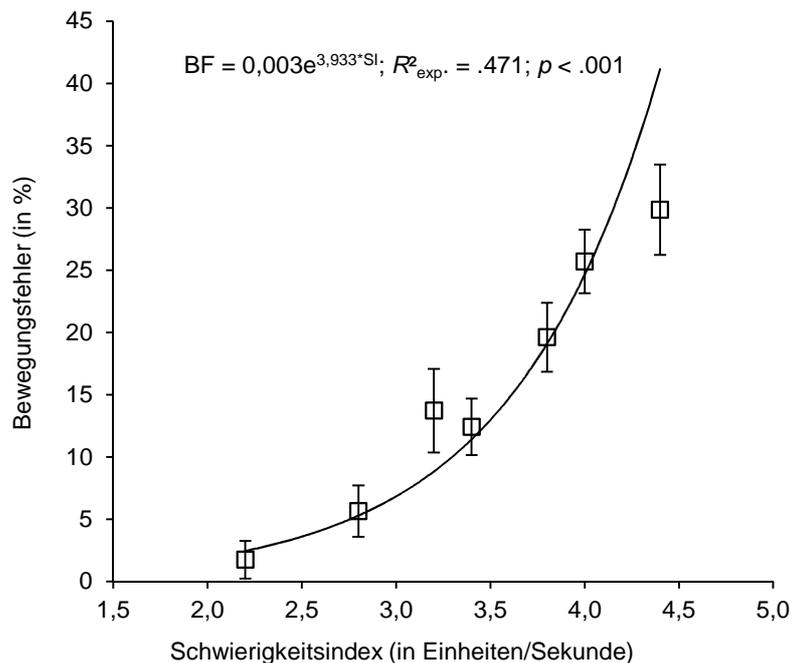


Abbildung 33: Graphische Darstellung der Bewegungsfehler (in %) aus Experiment 4 in Abhängigkeit vom Schwierigkeitsindex (in Einheiten/Sekunde) über beide Partner kollabiert. Der Verlauf der BF wird über ein exponentielles Kurvenanpassungsmodell beschrieben. Konfidenzintervalle geben die jeweilige Streuung der Daten an.

Dieses ergab einen signifikanten Zusammenhang von SI und BF ($F(1, 250) = 223.006$; $R_{exp.}^2 = .471$; $p < .001$), der sich mit der Funktionsvorschrift $BF = 0.003 * e^{3.933 * SI}$ beschreiben lässt. Danach scheint es eine maximale Aufgabenschwierigkeit zu geben, die es den Vpn nicht ermöglicht die Toleranzanforderungen der Aufgabe durch eine Reduktion der BZ zu kompensieren (Wobbrock et al., 2008), d.h. trotz einer Reduktion der Bewegungsgeschwindigkeiten werden zunehmend mehr Fehler (Fehlwürfe) gemacht.

7.1.2.3. zusätzliche Analysen

Wie in den vorangegangenen Experimenten prüfte eine zwei-faktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung mit den uV's *Distanz* (3-fach gestuft) und *Zielgröße* (3-fach gestuft) den separaten Einfluss der beiden im Experiment manipulierten Parameter. Die Prüfung auf Sphärizität (Mauchly-Test) ergab signifikante Unterschiede in den Varianzen der Differenzen zwischen den Bedingungen für den Faktor *Distanz* und den Faktor *Kistengröße*, sowie deren Interaktion ($p < .05$). Im Folgenden werden daher die nach Greenhouse und Geisser korrigierten Werte angegeben. Beide Faktoren (*Distanz*: $F(1.84, 129.05) = 436.698$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .862$; *Kistengröße*: $F(1.45, 101.30) = 313.167$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .817$) wirkten sich signifikant auf die BZ aus, sodass sich mit jeder schrittweisen Verringerung der Kistengröße die benötigte Zeit durchschnittlich um 222 ms erhöht. Die Vergrößerung der Distanz um einen Meter zwischen den Vpn hatte durchschnittlich zusätzliche 293 ms BZ zur Folge (Abbildung 34).

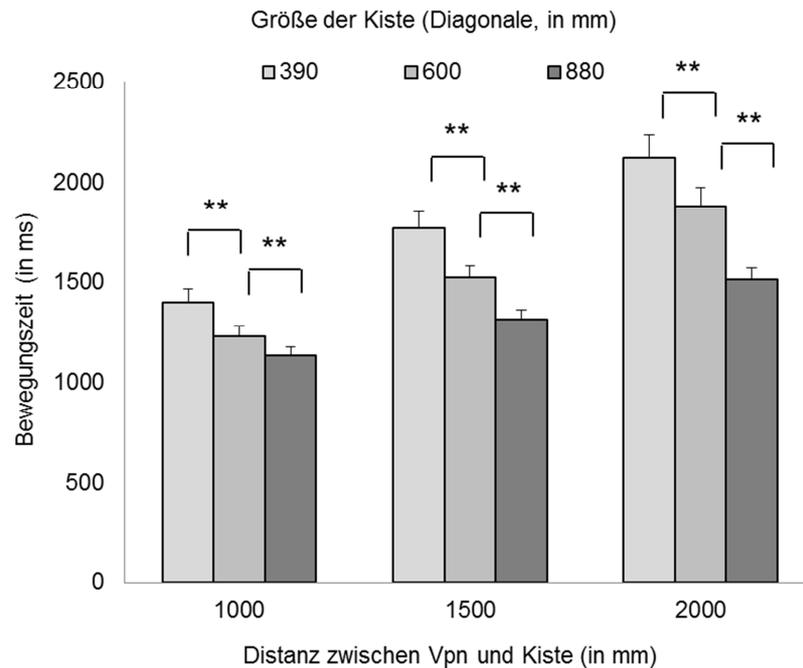


Abbildung 34: Graphische Darstellung der Bewegungszeiten (in ms) für das Werfen eines Balles in Experiment 4 in Abhängigkeit von der Distanz und der Kistengröße.

Zusätzlich interagierten die Faktoren *Distanz* und *Kistengröße* miteinander ($F(3.35, 234.38) = 26.677, p < .001, \eta_p^2 = .276$). Alle *posthoc* Tests (*t*-Tests; $\alpha/6$ -Methode zur Behebung der α -Fehler Akkumulation; $p = .008$) zeigten signifikante Unterschiede bei der separaten Betrachtung der Bewegungszeiten. Danach nimmt der Einfluss der Kistengröße auf die BZ mit größerer Distanz zu.

Für die Bewegungsfehler ergab die Varianzanalyse (analog zur ANOVA der BZ) signifikante Haupteffekte für die Faktoren *Kistengröße* ($F(2, 70) = 116.907, p < .001, \eta_p^2 = .770$), *Distanz* ($F(2, 70) = 97.781, p < .001, \eta_p^2 = .736$) und sowie die *Interaktion* beider Faktoren ($F(4, 140) = 3.907, p < .01, \eta_p^2 = .100$). Demnach lassen sich auch hier die beiden Haupteffekte nicht separat voneinander interpretieren (Abbildung 35).

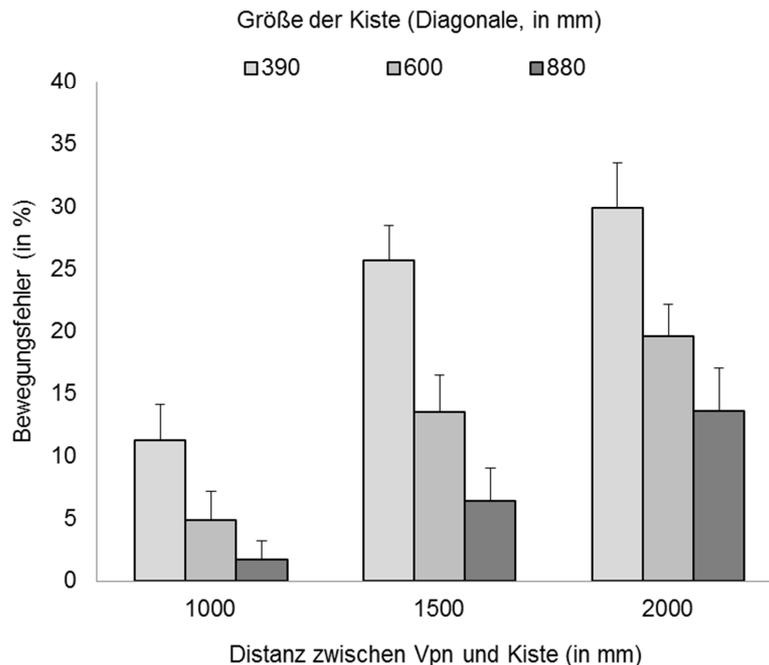


Abbildung 35: Graphische Darstellung der Bewegungsfehler (in %) in Abhängigkeit von Distanz und Kistengröße.

Verbundene *t*-Tests zeigten, dass eine Vergrößerung der Distanz zwischen den Vpn bei gleich bleibender Kistengröße einen direkten Einfluss auf die relative Anzahl an BF hatte. Ebenso wirkte sich die Reduktion der Kistengröße bei konstanter Distanz signifikant auf die BF aus (alle $p < 0.08$), sodass mit kleinerer Kistengröße steigende Fehlerzahlen einhergehen. Einzig der Unterschied zwischen der großen und mittleren Kiste bei Würfeln aus der kürzesten Distanz wurde statistisch nicht signifikant ($t(35) = -2.108, p > .008$).

7.1.3 Diskussion

Das Ziel von Experiment 4 lag in der Erweiterung der Befunde der Experimentalreihe 1 „Scheibentransferaufgabe“ auf eine Objektmanipulationsaufgabe mittlerer Komplexität (hier dem wechselseitigen Werfen von Bällen). Es wird von mittlerer Komplexität gesprochen, da das zu manipulierende Objekt in dieser Experimentalreihe 2 „Wurfaufgabe“ nach dem Verlassen der Hand nicht mehr beeinflusst werden konnte. Die (Flug-)Trajektorie des Objektes relativ zum Ziel musste daher vor dem Abwurf antizipiert werden. Da es sich bei dieser kooperativen Aufgabe um eine ungeführte Bewegung handelte, konnten auch Bewegungsfehler in Form von Fehlwürfen systematisch erfasst werden.

Nach den vorliegenden Ergebnissen passen die Interaktionspartner die Ausführungsgeschwindigkeit der Bewegungshandlungen an die experimentellen Randbedingungen an. Daher wird die *Nullhypothese 2.1* zurückgewiesen und die *Alternativhypothese 2.1* angenommen, das heißt, dass sich die BZ und die BF gut im Sinne des Fitts'schen Gesetzes

(Fitts, 1954) abbilden lassen, wenn man die Aufgabenanforderungen der einzelnen Bedingungen über den SI operationalisiert. Vpn benötigen mit steigendem SI durchschnittlich mehr Zeit für das Werfen der jeweils acht Bälle. Lineare Regressionsanalysen bestätigen für beide Partner einen signifikanten Zusammenhang zwischen BZ und SI mit hohen Aufklärungswerten der Varianz (Determinationskoeffizienten R^2 jeweils $> 45\%$). Außerdem zeigte sich, dass die BF mit einer Erhöhung der Aufgabenschwierigkeit überproportional ansteigen.

Diese negative Beschleunigung (Singer & Munzert, 2004) wird am besten über ein exponentielles Anpassungsmodell beschrieben. Mit diesen Resultaten lässt sich die *Forschungshypothese 2.1* bestätigen. Somit können die Erkenntnisse zum Fitts'schen Gesetz bisheriger Studien zur Koordination von Bewegungen innerhalb von EB (z.B. Fitts & Peterson, 1964; Klapp, 1975; Crossman & Goodeve, 1963/1983; Welford, 1960) und zur Stabilität des Fitts'schen Gesetzes in der Sagittal-Ebene vor dem Körper (z.B. Kerr & Langgolf, 1977; Etnyre, 1998) auf die Koordination von Bewegungen innerhalb von PB erweitert werden.

Zudem stehen die Ergebnisse der BF im Einklang mit bisherigen Studien (z.B. Guiard & Olafsdottir, 2011), die die Daten der Fitts'schen Originalexperimente hinsichtlich der Anzahl an BF analysierten. Guiard und Olafsdottir (2011) führten den exponentiellen Anstieg der BF ab einer spezifischen Aufgabenschwierigkeit auf Limitationen des Bewegungsapparates zurück. Dieses Ergebnismuster wird durch zusätzliche Analysen zum Einfluss der im Experiment manipulierten Faktoren *Distanz* und *Zielgröße* untermauert. Danach wirkt sich jeder experimentell Randfaktor systematisch auf die Koordination der Bewegungshandlungen aus. Wie mit Hilfe des Fitts'schen Gesetzes vorhergesagt, steigen die BZ und die BF jeweils mit größerer Distanz und kleinerem Lochdurchmesser an. Auch hier spiegeln die Befunde somit die Randbedingungen des experimentellen Designs plausibel wider.

7.2 Experiment 5

Experiment 5 geht äquivalent zu Experiment 2 der Frage nach, ob sich Unterschiede in den Interaktionsmustern zwischen beiden Partnern (s.g. Interaktionseffekte) beim Vergleich zwischen EB und PB beim Lösen von Aufgaben gleicher Schwierigkeit ergeben. Dazu sollten die Vpn die Wurfaufgabe sowohl in EB als auch in PB ausführen. Dies ermöglicht die Betrachtung emergenter Koordinationsmuster für beide Partner sowie von systematischen Interaktionsmustern bei der Handlungsausführung im Vergleich zwischen EB und PB für eine Aufgabe mittlerer Komplexität. Experiment 5 erlaubt es, die *Nullhypothesen 2.1* und *2.2*, die *Alternativhypothesen 2.1* und *2.2* sowie die *Forschungshypothesen 2.1* und *2.2* zu prüfen.

7.2.1 Methode

7.2.1.1. Versuchspaare

30 freiwillige Vpn ($M = 25,3$; $SD = 4,2$; davon 10 weiblich) nahmen an dem Experiment teil. Aufgrund der erhöhten Anzahl an Mehrfachvergleichen in diesem Versuchsdesign wurde die Anzahl rekrutierter Vpn erhöht. Durch die randomisierte Zusammenstellung zu 15 Versuchspaaren resultierten fünf weibliche, vier rein männliche und sechs gemischtgeschlechtliche Paare. Vier Vpn waren nach eigenen Angaben linkshändig und 13 trugen eine Sehhilfe. Die Teilnahme war freiwillig und wurde finanziell nicht entlohnt. Eine genaue Beschreibung der Versuchspaare findet sich in *Tabelle 14*.

Tabelle 14: Zusammenfassung der anthropometrischen Daten der Versuchspersonen aus Experiment 5.

	Paare			Gesamt
	männlich	weiblich	gemischt	
<i>N</i>	8	10	12	30
Alter (in Jahren)	25,6 ($\pm 1,9$)	23,2 ($\pm 1,1$)	26,8 ($\pm 6,1$)	25,3 ($\pm 4,2$)
Größe (in cm)	184,4 ($\pm 10,2$)	169,1 ($\pm 4,6$)	173,0 ($\pm 12,3$)	174,7 ($\pm 11,3$)
Händigkeit (rechts in %)	100	90,0	70,0	86,7
Sehhilfe (benötigt in %)	37,5	50,0	41,7	56,7
Sportexpertise (in Jahren)	19,5 ($\pm 8,4$)	10,5 ($\pm 6,8$)	9,5 ($\pm 7,1$)	12,5 ($\pm 8,3$)

7.2.1.2. Versuchsaufgabe und –aufbau

Die Vpn führten die gleiche Versuchsaufgabe mit dem gleichen Versuchsaufbau wie in Experiment 4 durch.

7.2.1.3. *Versuchsdesign*

Das Versuchsdesign orientierte sich an Experiment 2, d.h. dass die Vpn die neun Versuchsbedingungen einmal in der Einzel- und einmal in der Paarbedingung absolvierte. Drei erfolgreiche Durchgänge gingen in die Datenauswertung ein.

7.2.1.4. *Datenanalyse*

Alle 15 VP konnten in die Datenauswertung aufgenommen werden. Die BZ (in ms) und die relative Anzahl an BF (in %) dienten als abhängige Variablen. Dabei umfasste die BZ das Werfen der acht (EB) bzw. 16 Bälle (PB) vom Startsignal des VL an bis zum Aufsetzen des letzten Balles. Zur statistischen Auswertung der BZ wurde eine drei-faktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung mit den Faktoren *Schwierigkeit* (7-fach gestuft), *Bedingung* (Einzel- vs. Paarbedingung) und dem Zwischensubjektfaktor *Reihenfolge* (P1: EB→ PB vs. P2: PB→ EB) genutzt. Die asymptotische Signifikanz wurde auf das Niveau von 5 % festgelegt. Korrelations- und Regressionsgeraden gaben Auskunft über Abhängigkeiten zwischen dem SI und den BZ sowie den BF. Vorab wurden die Daten hinsichtlich möglicher Ausreißer (+/- zweifache Standardabweichung) und ihrer Normalverteilung (Kolmogorov-Smirnov-Test) geprüft.

7.2.2 **Ergebnisse**

7.2.2.1. *Bewegungszeiten (BZ)*

Die Prüfung der 21 Versuchsbedingung (7 x P1 + 7 x P1/P2 + 7 x P2) auf Normalverteilung mit Hilfe des Kolmogorov-Smirnov-Testes zeigte keine signifikanten Unterschiede innerhalb eines Versuchspaares ($p > .05$). Auch in diesem Experiment handelt es sich bei den P1 um die Akteure, die mit der Reihenfolge EB→ PB begannen, und bei den P2 um die Akteure, die mit der PB starteten und anschließend alleine agierten.

In der EB benötigten die Vpn im Mittel 1632 ms ($SD = 366$ ms) für das Werfen eines Balles. Dabei sind die BZ der P1 sowie der P2 schneller in Versuchsbedingungen, die durch einen niedrigen SI gekennzeichnet sind und langsamer in Bedingungen mit einem hohen SI (*Tabelle 15*), d.h. die Vpn passen ihre Bewegungsgeschwindigkeit an die Schwierigkeit der Aufgabe an (*Anhang 11*).

Tabelle 15: Durchschnittliche Bewegungszeiten in der Einzelbedingung aus Experiment 5 sortiert nach Schwierigkeit (Einheiten/Sekunde).

SI	2,2	2,8	3,2	3,4	3,8	4,0	4,4
P1	1324	1528	1720	1817	2010	1993	2120
(SD)	(336)	(344)	(411)	(419)	(398)	(417)	(419)
P2	1133	1266	1418	1414	1560	1638	1901
(SD)	(292)	(225)	(354)	(279)	(362)	(411)	(457)
M	1229	1397	1569	1616	1785	1816	2010

Die drei-faktorielle Varianzanalyse mit den Faktoren *Schwierigkeitsindex* und *Bedingung* (Einzel- vs. Paarbedingung) und dem Zwischensubjektfaktor *Reihenfolge* (P1: EB → PB vs. P2: PB → EB) zeigte signifikante Haupteffekte für die Faktoren *Schwierigkeitsindex* ($F(2.11, 54.86) = 95.476, p < .001, \eta_p^2 = .786$) und *Bedingung* ($F(1, 26) = 39.609, p < .001, \eta_p^2 = .604$) sowie die *Interaktion* beider Faktoren ($F(2.84, 73.93) = 4,059; p < .05; \eta_p^2 = .135$). Demnach hat die Aufgabenschwierigkeit auf Basis des Fitts'schen Gesetzes einen spezifischen Einfluss auf die Koordinationsmuster der beiden Partner: SI 2,2 = 1229 ms; SI 2,8 = 1397 ms; SI 3,2 = 1569 ms; SI 3,4 = 1616 ms; SI 3,8 = 1785 ms; SI 4,0 = 1816 ms; SI 4,4 = 2010 ms (Abbildung 36).

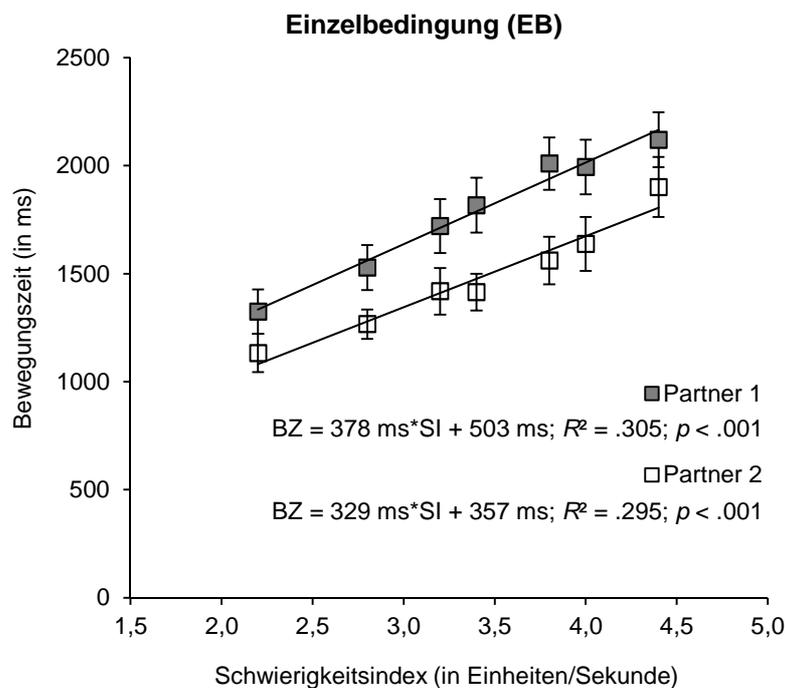


Abbildung 36: Graphische Darstellung der Bewegungszeiten (in ms) für das Werfen eines Balles in der Einzelbedingung in Experiment 5 in Abhängigkeit vom Schwierigkeitsindex (in Einheiten/Sekunde). Dunkle Vierecke stellen die durchschnittliche BZ der Partner 1 und helle Vierecke die der Partner 2 dar. Konfidenzintervalle geben die jeweilige Streuung der Daten an.

Lineare Regressionsanalysen zeigten einen signifikanten Zusammenhang von SI und BZ (P1: $F(1, 313) = 137.231$; $R^2 = .305$; $p < .001$; P2: $F(1, 313) = 131.257$; $R^2 = .295$; $p < .001$). Mit steigender Aufgabenschwierigkeit gingen demnach steigende BZ einher. Die Funktionsvorschrift für die P1 von $BZ = 378 \text{ ms} \cdot SI + 503 \text{ ms}$ besagte, dass die BZ für das Werfen eines Balles im Mittel um 378 ms stieg, wenn der SI um eine Einheit erhöht wurde. Der Achsenabschnitt von 503 ms gab den Schnittpunkt mit der y-Achse wieder. Eine ähnliche Funktionsvorschrift zeigte sich für die P2 mit $BZ = 329 \text{ ms} \cdot SI + 357 \text{ ms}$. D.h., dass die BZ für das Werfen eines Balles durchschnittlich 329 ms länger waren, wenn sich der SI um eine Einheit erhöhte. Zwar lag der Achsenabschnitt für die P2 mit 357 ms deutlich unter dem der P1, allerdings war dieser numerische Unterschied statistisch nicht signifikant (Zwischensubjektfaktor *Reihenfolge*; $F(1, 26) = .596$, $p > .05$, $\eta_p^2 = .022$). D.h. die P1 und P2 warfen die Bälle über die verschiedenen SI's hinweg im Mittel gleich schnell.

In der PB benötigten die Vpn im Mittel 2087 ms ($SD = 411 \text{ ms}$) für das Werfen eines Balles. Dabei waren sie in den leichtesten Aufgaben mit durchschnittlich 1451 ms systematisch schneller als in den schwersten Versuchsbedingung mit 2505 ms (*Anhang 12*). Die P2 lagen mit 1544 ms bei einem SI von 2,2 und 2321 ms bei einem SI von 4,4 etwas höher (*Tabelle 16*).

Tabelle 16: Durchschnittliche Bewegungszeiten in der Paarbedingung aus Experiment 5 sortiert nach Schwierigkeit (Einheiten/Sekunde).

SI	2,2	2,8	3,2	3,4	3,8	4,0	4,4
P1	1451	1603	1857	1875	2018	2183	2505
(SD)	(308)	(356)	(348)	(403)	(281)	(507)	(592)
P2	1544	1707	1982	1999	2152	2321	2678
(SD)	(335)	(391)	(381)	(440)	(314)	(548)	(644)
M	1497	1655	1919	1937	2085	2252	2591

Regressionsanalysen ergaben auch in der Paarbedingung einen positiv linearen Zusammenhang von SI und BZ für die P1 ($F(1, 100) = 58.038$; $R^2 = .367$; $p < .001$) und die P2 ($F(1, 100) = 56.057$; $R^2 = .359$; $p < .001$). Demnach benötigen die Vpn mit steigendem SI zunehmend mehr Zeit für die Bewältigung der (Bewegungs-)Aufgabe: SI 2,2 = 1497 ms; SI 2,8 = 1655 ms; SI 3,2 = 1919 ms; SI 3,4 = 1937 ms; SI 3,8 = 2085 ms; SI 4,0 = 2252 ms; SI 4,4 = 2591 ms (*Abbildung 37*).

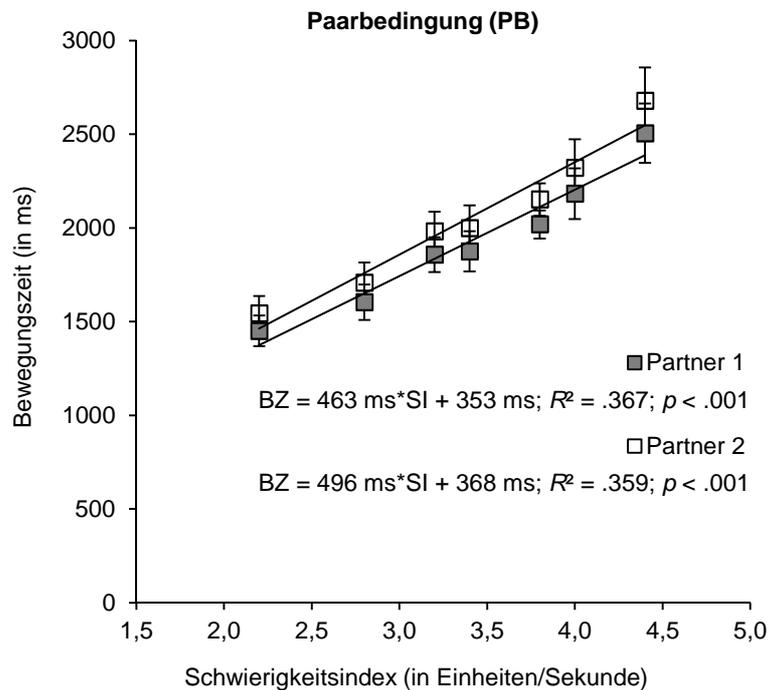


Abbildung 37: Graphische Darstellung der Bewegungszeiten (in ms) für das Werfen eines Balles in der Paarbedingung in Experiment 5 in Abhängigkeit vom Schwierigkeitsindex (in Einheiten/Sekunde). Dunkle Vierecke stellen die durchschnittliche BZ der Partner 1 und helle Vierecke die der Partner 2 dar. Konfidenzintervalle geben die jeweilige Streuung der Daten an.

Als Funktionsvorschriften ergab sich für die P1: $BZ = 463 \text{ ms} \cdot SI + 353 \text{ ms}$ und für die P2: $BZ = 496 \text{ ms} \cdot SI + 368 \text{ ms}$, d.h. dass bei den P1 mit jeder Erhöhung des SI's um eine Einheit eine 463 ms längere BZ und bei den P2 eine 496 ms längere BZ einherging. Die Schnittpunkte mit der Ordinate lagen für die P1 bei plus 353 ms und für die P2 bei 368 ms.

Der Vergleich zwischen der EB und PB ergab, dass die BZ der Vpn unabhängig von der Reihenfolge in den EB ($M = 1632 \text{ ms}; SD = 366 \text{ ms}$) schneller waren als in den PB ($M = 2087 \text{ ms}; SD = 411 \text{ ms}$). Dies zeigte sich sowohl graphisch (Abbildung 38) und in dem signifikanten Haupteffekt für den Faktor *Bedingung*. Im Gegensatz zu Experiment 2 verliefen die beiden Regressionsgeraden in diesem Experiment 5 jedoch nicht parallel, d.h. dass die steigenden BZ, die mit einer Erhöhung der Aufgabenschwierigkeit einhergingen (Steigung), davon abhingen, ob sich die Partner im Interaktionskontext befanden oder nicht (EB = 353 ms; PB = 577 ms). Dies deutet daraufhin, dass die „Interaktionskosten“, also die zusätzliche Zeit, die Vpn in der PB im Vergleich zur EB mehr benötigten, durch die Schwierigkeit der Aufgabe moduliert wird. Mit steigenden Aufgabenanforderungen dauerte die Ausführung der Bewegungshandlungen länger. Statistisch lässt sich dieser Effekt über die signifikante Interaktion der Faktoren *Schwierigkeitsindex* und *Bedingung* nachweisen.

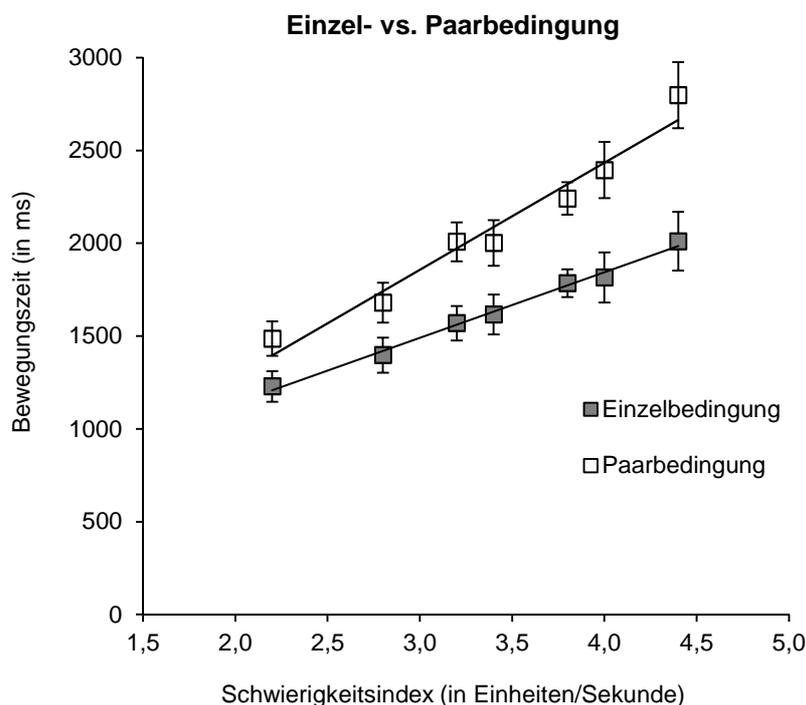


Abbildung 38: Graphische Darstellung der Bewegungszeiten (in ms) in der Einzel- (dunkle Vierecke) und der Paarbedingung (helle Vierecke) in Experiment 5 in Abhängigkeit vom Schwierigkeitsindex (in Einheiten/Sekunde). Die Regressionsgeraden wurden über alle EB und PB berechnet. Konfidenzintervalle geben die jeweilige Streuung der Daten an.

Die Dreifachinteraktion zwischen *Bedingung*, *Schwierigkeit* und *Zwischensubjektfaktor Reihenfolge* wurde nicht signifikant ($F(6, 156) = .666; p > .05; \eta_p^2 = .025$).

7.2.2.2. Bewegungsfehler (BF)

Die Fehler der 2. Art sind für beide Partner in *Anhang 13* tabellarisch aufgeführt. Da es sich um die relative Anzahl an BF handelt, lassen sich die EB und PB direkt miteinander vergleichen, indem die jeweiligen Fehlerzahlen in den EB durch 8 Bälle und in den PB durch 16 Bälle dividiert werden. In *Tabelle 17* finden sich die gemittelten relativen BF (in %) sortiert nach der Aufgabenschwierigkeit für beide Partner:

Tabelle 17: Durchschnittliche Anzahl der Bewegungsfehler (in %) in den EB und PB in Experiment 5.

SI	2,2	2,8	3,2	3,4	3,8	4,0	4,4
EB (P1)	1,11	6,11	12,22	15,69	21,94	28,06	31,11
EB (P2)	4,44	7,22	11,39	13,89	20,28	25,56	30,56
Paarbedingung	1,39	5,00	12,22	13,47	19,72	25,28	35,00
<i>M</i>	2,31	6,11	11,94	14,35	20,65	26,30	32,22

Die Varianzanalyse (analog zu Experiment 2) ergab einen signifikanten Haupteffekt für den Faktor *Schwierigkeitsindex* ($F(8, 224) = 166.183, p < .001, \eta_p^2 = .856$), d.h. die Vpn begingen bei Aufgaben, die durch einen niedrigen SI gekennzeichnet sind, im Mittel weniger Fehler als bei Aufgaben mit einem hohen SI: SI 2,2 = 2,31 %; SI 2,8 = 6,11 %; SI 3,2 = 11,94 %; SI 3,4 = 14,35 %; SI 3,8 = 20,65 %; SI 4,0 = 26,30 %; SI 4,4 = 32,22 %. Dies galt sowohl für die P1 und P2 in den EB als auch in den PB (Abbildung 39).

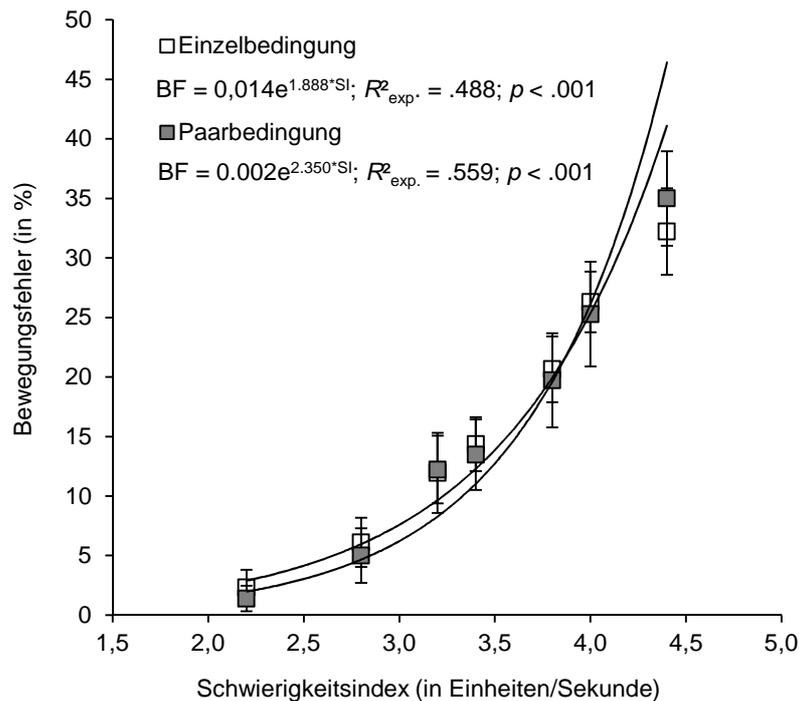


Abbildung 39: Graphische Darstellung der Bewegungsfehler (in %) in Abhängigkeit vom Schwierigkeitsindex (in Einheiten/Sekunde) für die Einzel- und die Paarbedingung (kollabiert über beide Partner) in Experiment 5. Der Verlauf der BF wird am besten über exponentielles Kurvenanpassungsmodell beschrieben. Konfidenzintervalle geben die jeweilige Streuung der Daten an.

Insgesamt verfehlten die Versuchspaare in 16,40 % der Fälle die jeweilige Kiste in den EB und in 16,01 % der Fälle in den PB. Dieser numerische Unterschied wurde jedoch statistisch nicht signifikant (Faktor *Bedingung* (EB vs. PB): $F(1, 28) = .055, p > .05, \eta_p^2 = .022$). Demnach begingen die Vpn durchschnittlich genauso viele Fehler in der Einzel- wie in der Paarbedingung. Regressionsanalysen zwischen dem SI und den BF ergaben für die P1 die Funktionsvorschrift $BF = 0.001 * e^{3.019 * SI}$, für die P2 $BF = 0.003 * e^{2.235 * SI}$ und für die Paarbedingung $BF = 0.002 * e^{2.350 * SI}$. Aufgrund der Erkenntnisse des vorangegangenen Experiments wird auf ein exponentielles Anpassungsmodell zur Schätzung der Regressionsgleichung zurückgegriffen (EB: $F(1, 103) = 70.015; p < .001; R_{exp.}^2 = .488$); PB: $F(1, 103) = 130.327; p < .001; R_{exp.}^2 = .559$).

Die Interaktion zwischen *Schwierigkeit* und *Bedingung* hatte keinen signifikanten Effekt ($F(5.57, 156.01) = 1.829, p > .05, \eta_p^2 = .061$). Der Einfluss der Aufgabenschwierigkeit auf

die Anzahl der BF wurde demnach nicht dadurch moduliert, ob die Vpn in der EB oder PB agierten. Der Zwischensubjektfaktor *Reihenfolge* (EB → PB vs. PB → EB) und die Interaktionen mit beiden Faktoren wurden ebenfalls nicht signifikant (alle $p > .05$).

7.2.2.3. zusätzliche Analysen

Die separate Prüfung des selektiven Einflusses der im experimentellen Design manipulierten Faktoren *Distanz* und *Zielgröße* ergab in der EB einen signifikanten Haupteffekt für den Faktor *Distanz* ($F(2, 58) = 108.734, p < .001, \eta_p^2 = .789$) als auch den Faktor *Kistengröße* ($F(2, 58) = 106.384, p < .001, \eta_p^2 = .786$). Die Interaktion beider Faktoren wurde hingegen nicht signifikant ($F(4, 116) = .931, p > .05, \eta_p^2 = .031$), d.h. dass beide Faktoren unabhängig voneinander Einfluss auf die BZ nahmen (*Abbildung 40*).

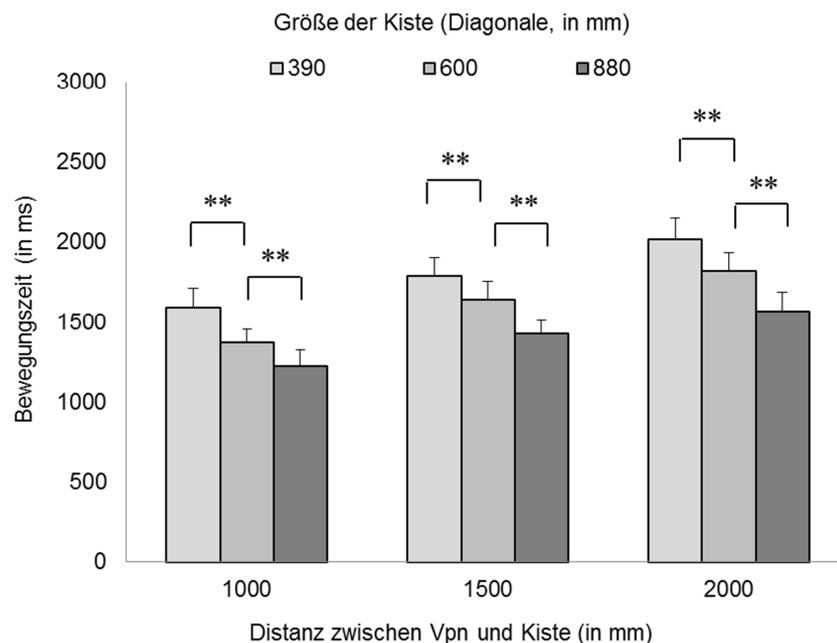


Abbildung 40: Graphische Darstellung der Bewegungszeiten (in ms) für das Werfen eines Balles in Experiment 5 in Abhängigkeit von der Distanz zwischen Vpn und Kiste und der Kistengröße in der EB.

Posthoc t-Tests (unter Berücksichtigung der Bonferroni Korrektur; $\alpha/6$ -Methode zur Behebung der α -Fehler Akkumulation; $p = .008$) zeigten, dass sich jede Kistengröße bei jeder Distanz signifikant in den BZ widerspiegelte. Mit jeder schrittweisen Verringerung der Kistengröße erhöhte sich die benötigte Zeit durchschnittlich um 194 ms. Die Vergrößerung der Distanz zwischen den Vpn hatte ebenfalls einen Einfluss auf die BZ: Mit jedem zusätzlichen Meter Entfernung zwischen den Partnern stieg die BZ durchschnittlich um 201 ms.

In der PB zeigte sich für die BZ ebenfalls ein signifikanter Haupteffekt für den Faktor *Distanz* ($F(1.23, 33.16) = 69.909, p < .001, \eta_p^2 = .721$) als auch den Faktor *Kistengröße* ($F(1.16, 31.38) = 64.451, p < .001, \eta_p^2 = .705$). Die Interaktion zwischen Distanz und Kisten-

größe wurde hier ebenfalls signifikant ($F(2.68, 72.45) = 3.646, p < .05, \eta_p^2 = .119$), d.h. dass sich beide Faktoren gegenseitig modulierten (Abbildung 41).

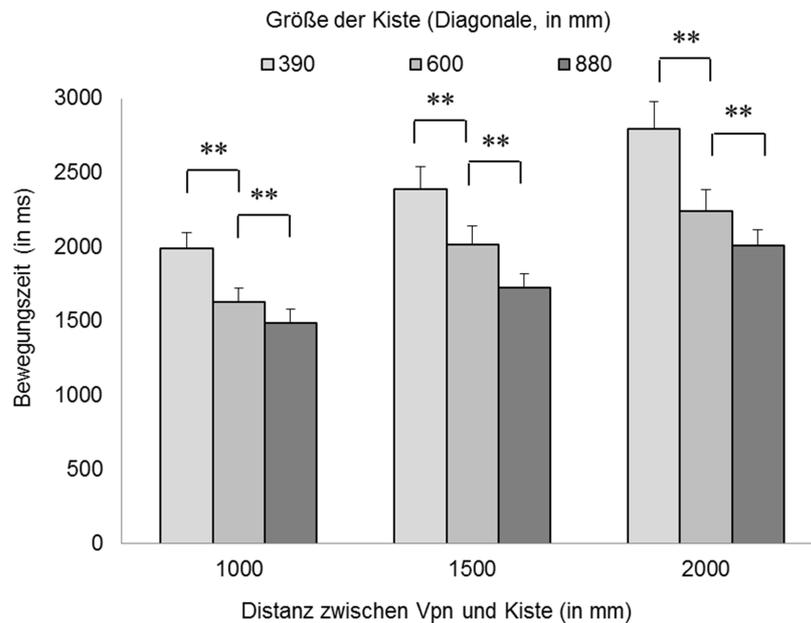


Abbildung 41: Graphische Darstellung der Bewegungszeiten (in ms) für das Werfen eines Balles in Experiment 5 in Abhängigkeit von der Distanz zwischen Vpn und Kiste und der Kistengröße in der PB.

Posthoc t-Tests ergaben jedoch wiederum, dass jede Kistengröße einen signifikanten Einfluss in jeder Distanz auf die BZ hatte. Mit jeder schrittweisen Verringerung der Kistengröße erhöhte sich dabei die benötigte Zeit durchschnittlich um 326 ms. Die Vergrößerung der Distanz zwischen den Vpn bewirkte mit jedem zusätzlichen Meter eine um 324 ms längere BZ.

Für die BF wies die Varianzanalyse (analog zu der ANOVA der BZ) in den EB einen signifikanten Haupteffekt für den Faktor *Distanz* ($F(2, 88) = 156.399, p < .001, \eta_p^2 = .780$) und den Faktor *Kistengröße* ($F(2, 88) = 252.598, p < .001, \eta_p^2 = .852$) auf. Die Interaktion der beiden Faktoren wurde ebenfalls signifikant ($F(4, 176) = 4.210, p < .01, \eta_p^2 = .087$). Demnach bestimmte die jeweilige Kombination von Distanz und Kistengröße zusätzlich den Einfluss der Faktoren (Abbildung 42).

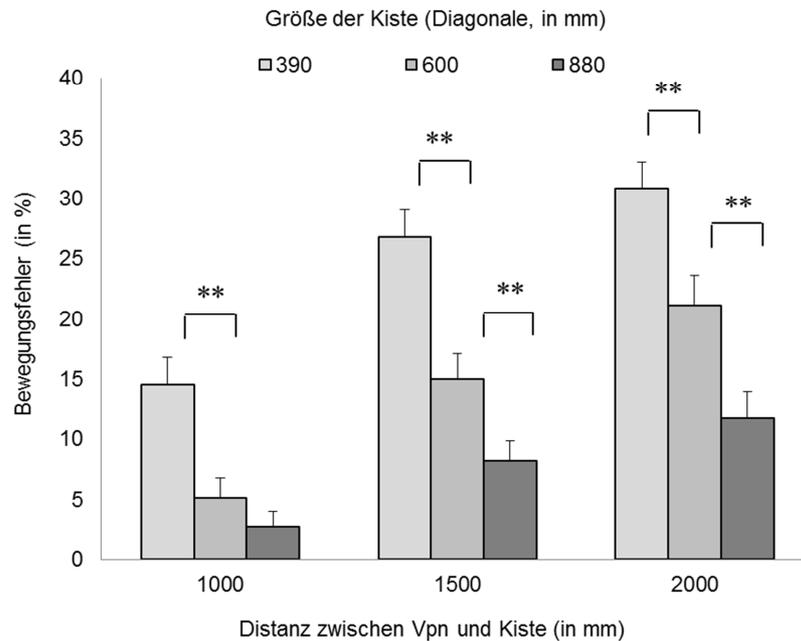


Abbildung 42: Graphische Darstellung der Bewegungsfehler (in %) für das Werfen eines Balles in Experiment 5 in Abhängigkeit von der Distanz zwischen Vpn und Kiste und der Kistengröße in der EB.

Auch hier zeigten verbundene t -Tests, dass mit jeder Erhöhung der Distanz zwischen den Vpn bei gleicher Kistengröße +6,88 % mehr BF einhergingen. Bei konstanter Distanz wirkte jede Reduktion der Kistengröße signifikant auf die BF (+ 8,24 %; alle $p < 0.08$). Einzig der Unterschied zwischen der großen und mittleren Kiste bei Würfeln aus der kürzesten Distanz wurde statistisch nicht signifikant ($t(29) = -2.247, p > .008$).

In der PB ergab die Varianzanalyse ebenfalls einen signifikanten Haupteffekt für den Faktor *Distanz* ($F(2, 88) = 150.167, p < .001, \eta_p^2 = .773$) und den Faktor *Kistengröße* ($F(1, 75) = 161.154, p < .001, \eta_p^2 = .786$). Auch die Interaktion der beiden Faktoren wurde signifikant ($F(3.30, 145.25) = 5.459, p < .01, \eta_p^2 = .110$). Demnach wurde der Einfluss der beiden Faktoren durch die Kombination von Distanz und Kistengröße moduliert (Abbildung 41).

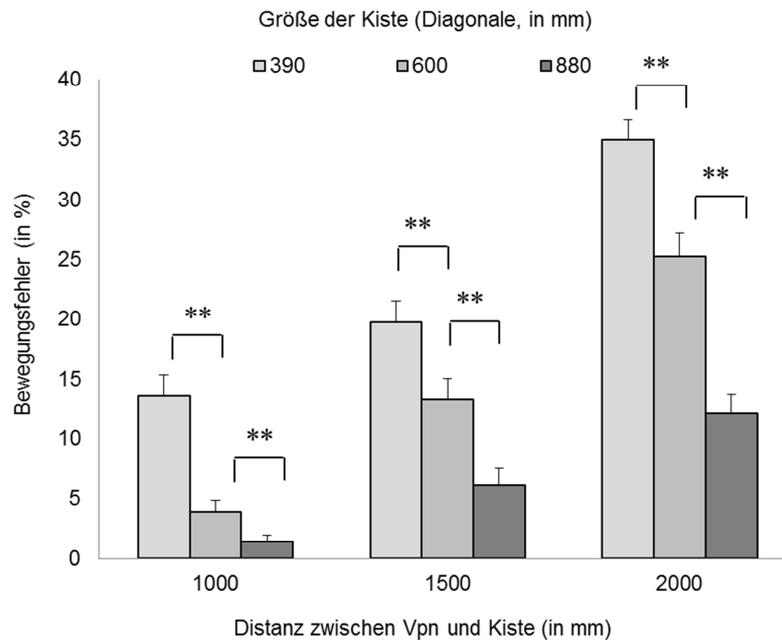


Abbildung 43: Graphische Darstellung der Bewegungsfehler (in %) für das Werfen eines Balles in Experiment 5 in Abhängigkeit von der Distanz zwischen Vpn und Kiste und der Kistengröße in der PB.

Mittels verbundener t -Tests konnte auch hier nachgewiesen werden, dass die beiden Faktoren einen separaten Einfluss auf die BF hatten, d.h. dass mit jeder Erhöhung der Distanz zwischen den Vpn bei gleicher Kistengröße mehr BF einhergingen (+ 8,94 %). Gleichzeitig wirkte sich bei konstanter Distanz die Reduktion der Kistengröße signifikant in einer Erhöhung der BF aus (+ 8,10 %; alle $p < 0.08$).

7.2.3 Diskussion

Experiment 5 betrachtet vor allem emergente Koordinationsmuster der beiden Partner zwischen EB und PB sowie systematische Interaktionseffekte beim Lösen von Aufgaben gleicher Schwierigkeit. Dazu führten die Vpn die Wurfaufgabe sowohl ohne Partner (EB) als auch mit Partner (PB) aus. Auf der einen Seite findet sich für beide Bedingungen (EB und PB) ein signifikanter Einfluss der experimentellen Randbedingungen auf die Bewegungsausführung im Sinne des Fitts'schen Gesetzes. Dies wird auch durch die zusätzlichen Analysen unterstrichen. Damit kann die *Nullhypothese 2.1* verworfen und die *Alternativhypothese 2.1* angenommen werden. Diese Ergebnisse stehen damit im Einklang mit den Experimenten 1, 2 und 4. Zudem unterstützen sie die Generalisierbarkeit früherer Befunde aus Untersuchungen zum Fitts'schen Gesetz innerhalb von EB (z.B. Fitts & Peterson, 1964; Klapp, 1975; Crossman & Goodeve, 1963/1983; Welford, 1960) auf PB für eine Objektmanipulationsaufgabe von mittlerer Komplexität.

Mit steigendem SI vollzogen beide Partner ihre Bewegungshandlungen langsamer, was durch den linearen Zusammenhang von SI und BZ mit hohen Aufklärungswerten der Varianz (EB > 30 % und PB > 35 %) statistisch belegt wird. Die experimentellen Randbedingungen der Aufgabe (operationalisiert über den SI; Fitts, 1954) spiegeln sich auch in der Anzahl der relativen Bewegungsfehler wider: Die Fehlwürfe steigen sowohl in der EB als auch der PB mit steigendem SI (überproportional) an und lassen sich über ein exponentielles Anpassungsmodell darstellen. Auch Knoblich und Jordan (2003) fanden in ihren Experimenten in PB mehr Fehler (stärkere Abweichungen von einem zu treffenden Zielfeld) im Vergleich zur EB. Dieses Koordinationsmuster entspricht der Vorhersage der *Forschungshypothese 2.1*.

Darüber hinaus unterscheiden sich die BZ der PB systematisch von den BZ der EB. Vpn agieren mit einem Ko-Akteur zusammen generell langsamer als ohne einen Ko-Akteur. Demnach kann die *Nullhypothese 2.2* abgelehnt und die *Alternativhypothese 2.2* bestätigt werden. Interaktionsmuster zwischen EB und PB wurden bereits in anderen Studien berichtet (z.B. Fine & Amazeen, 2011; Mottet et al., 2001; Sebanz et al., 2006b) und deuten auf die Notwendigkeit hin, die eigene Bewegungshandlungen im Interaktionskontext auf die Bewegungen des Ko-Akteurs abzustimmen. Nach Sebanz und Kollegen (2003, 2005, 2007) ist dies ein Hinweis darauf, dass Vpn beim Lösen kooperativer Aufgaben Ko-Repräsentationen bilden und dadurch die Aufgabe des Partner mitrepräsentieren.

Weiterhin interessant ist insbesondere, dass langsamere BZ in der PB selektive Interaktionskosten nahelegen, obwohl die Partner ihre Bewegungshandlungen im Wechsel absolvierten und die Schwierigkeit der Aufgabe gleich war. Damit kann auch die *Forschungshypothese 2.2* bestätigt werden. In diesem Fall werden diese s.g. „Interaktionskosten“, d.h. die zusätzliche Zeit, die Vpn im gemeinsamen Kontext benötigen, über die Schwierigkeit der Aufgabe moduliert. Dies äußert sich in der signifikanten Interaktion des Faktors *Schwierigkeitsindex* mit der *Bedingung* (EB vs. PB). Aus Sicht der Informationsverarbeitungstheorie bedeutet dies, dass zusätzliche (kognitive) Ressourcen für die Abstimmung der Handlungen mit dem Ko-Akteur aufgewendet werden müssen (Shannon & Weaver, 1949; vgl. auch Vesper et al., 2010).

7.3 Experiment 6

Experiment 6 greift – wie schon Experiment 3 allerdings für eine Objektmanipulation mittlerer Komplexität (hier eine „Wurfaufgabe“) – die Frage nach dem Einfluss unterschiedlicher Schwierigkeitsanforderungen zwischen den Partnern beim Lösen kooperativer Aufgaben auf. Da Fine und Amazeen (2011) eine Verletzung des Fitts’schen Gesetzes berichteten, wenn beide Partner gleichzeitig Aufgaben unterschiedlicher Schwierigkeitsanforderung zu bewältigen hatten, prüft Experiment 6 die Koordinationsmuster beider Partner beim Lösen von Aufgaben gleicher oder unterschiedlicher Schwierigkeit. Es können somit die *Nullhypothesen 2.1* und *2.2*, die *Alternativhypothesen 2.1* und *2.2* sowie die *Forschungshypothesen 2.1* und *2.3* geprüft werden. Der SI für Partner 1 wurde systematisch zum SI für Partner 2 über alle Bedingungen hinweg variiert. Für die BZ lassen sich die gleichen fünf möglichen Vorhersagen wie in Experiment 3 treffen (*Abbildung 28*).

7.3.1 Methode

7.3.1.1. Versuchspaare

40 Studierende der Universität Paderborn ($M = 23,18$ Jahre; $SD = 2,35$ Jahre; 15 weiblich) nahmen an diesem Experiment teil. Durch die randomisierte Zusammenstellung zu 20 VP resultierten drei rein weibliche, acht rein männliche und neun gemischtgeschlechtliche Paare. Sechs Vpn waren nach eigenen Angaben linkshändig und 13 trugen eine Sehhilfe (siehe *Tabelle 18*). Die Teilnahme war freiwillig und wurde finanziell nicht entlohnt.

Tabelle 18: Zusammenfassung der anthropometrischen Daten der Versuchspersonen aus Experiment 6.

	Paare			Gesamt
	männlich	weiblich	gemischt	
<i>N</i>	16	6	18	40
Alter (in Jahren)	23,7 ($\pm 2,7$)	22,0 ($\pm 2,5$)	23,5 ($\pm 2,1$)	23,2 ($\pm 2,4$)
Größe (in cm)	186,2 ($\pm 6,3$)	172,2 ($\pm 5,1$)	175,6 ($\pm 8,2$)	179,7 ($\pm 9,5$)
Händigkeit (rechts in %)	75	83,3	94,4	85,0
Sehhilfe (benötigt in %)	31,3	33,3	33,3	32,5

7.3.1.2. Versuchsaufgabe und –aufbau

Experimenteller Aufbau, Versuchsaufgabe, Instruktion, demographischer Fragebogen sowie die Einverständnis- und Teilnahmeerklärung glichen Experiment 4 und 5.

7.3.1.3. Versuchsdesign

Damit beide Ko-Akteure in einem ausbalancierten Versuchsdesign die jeweiligen Kombinationen aus Distanz und Zielgröße gleich häufig durchführen, wurden die drei Distanzen und drei Kistengrößen wiederum orthogonal kombiniert und die mittlere Bedingung (5|5) gespiegelt. Die SI's 2,8 und 3,4 kamen doppelt vor. Es resultierten damit SI's zwischen 2,2 und 4,4 (Einheiten/Sekunde). Die Aufgabenanforderung eines Versuchspaares lag gemittelt bei 3,3 bzw. 3,4 Einheiten/Sekunde (*Tabelle 19*).

Tabelle 19: Versuchsbedingungen als Kombination aus Distanz und Kistengröße in Experiment 5.

Kombination Bedingung		Partner 1			Partner 2			Paar
P1 P2	P1 P2	Distanz	Zielgröße	SI _{P1}	Distanz	Zielgröße	SI _{P2}	SI _{Paar}
1 9	-8 +8	200	880	2,2	400	390	4,4	3,3
2 8	-6 +6	200	600	2,8	300	390	4,0	3,4
3 7	-4 +4	300	880	2,8	400	600	3,8	3,3
4 6	-2 +2	400	880	3,2	200	390	3,4	3,3
5 5	0 0	300	600	3,4	300	600	3,4	3,4
5 5	0 0	300	600	3,4	300	600	3,4	3,4
6 4	+2 -2	200	390	3,4	400	880	3,2	3,3
7 3	+4 -4	400	600	3,8	300	880	2,8	3,3
8 2	+6 -6	300	390	4,0	200	600	2,8	3,4
9 1	+8 -8	400	390	4,4	200	880	2,2	3,3

7.3.1.4. Datenanalyse

Die aV (BZ für das Werfen eines Balles und BF als Bälle, die die Kiste(n) verfehlten) gingen separat in eine zwei-faktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung mit dem Faktor *Schwierigkeitsindex* (7-fach gestuft) und dem Zwischensubjektfaktor *Partner* (P1 vs. P2) ein. Zur Prüfung der Abhängigkeiten von uV und aV wurden Regressionen mit linearen (BZ) respektive exponentiellen (BF) Anpassungsmodellen genutzt. Unter Rückbezug zu den Vorhersagemodellen (siehe Experiment 3) diente als aV der SI, der arithmetische SI (z.B. $SI = (2,8+4,0)/2 = 3,4$ Einheiten/Sekunde) als auch der jeweils größere SI der beiden Aufgabenanforderungen der Partner (z.B. $SI = (2,8+4,0) = 4,0$ Einheiten/Sekunde).

7.3.2 Ergebnisse

7.3.2.1. Bewegungszeiten (BZ)

Die BZ für die P1 und P2 werden wiederum zunächst separat voneinander betrachtet. Dabei zeigte sich, dass die P1 im Mittel über alle Versuchsbedingungen hinweg 1603 ms für einen Bewegungszyklus benötigten, d.h. das Greifen, Zielen und Werfen eines einzelnen Balles dauerte (unabhängig von der Aufgabenschwierigkeit) knapp über 1,5 Sekunden. Berücksichtigt man den individuellen SI der P1 der aus den jeweiligen Aufgabenanforderungen (Distanz-Kistengrößen-Kombination) resultierte, ergab sich zunächst ein unsystematisches Koordinationsmuster in den BZ (siehe *Tabelle 20*).

Tabelle 20: Durchschnittliche Bewegungszeiten aus Experiment 6 sortiert nach Schwierigkeit.

SI	2,2	2,8	3,2	3,4	3,8	4,0	4,4
P1	1652	1531	1558	1484	1599	1647	1751
(SD)	(250)	(229)	(257)	(203)	(185)	(230)	(262)
P2	1824	1712	1695	1584	1668	1662	1806
(SD)	(297)	(255)	(203)	(220)	(266)	(246)	(267)
M	1738	1622	1626	1534	1633	1654	1779

Demnach waren die P1 in den mittleren Versuchsbedingungen am schnellsten (SI_{3,4}: $M = 1484$ ms; $SD = 203$ ms). Die langsamsten Bewegungshandlungen resultieren bei einem niedrigen SI (SI_{2,2}: $M = 1652$ ms; $SD = 250$ ms) oder einem hohen SI (SI_{4,4}: $M = 1751$ ms; $SD = 262$ ms). Auch die P2 agierten am schnellsten in den Bedingungen, die mit einem mittleren SI von 3,4 Einheiten/Sekunde gekennzeichnet sind (SI_{3,4}: $M = 1584$ ms; $SD = 220$ ms), jedoch am langsamsten in einer sehr leichten (SI_{2,2}: $M = 1824$ ms; $SD = 297$ ms) und einer sehr schweren Bedingung (SI_{4,4}: $M = 1806$ ms; $SD = 267$ ms). Über alle Versuchsbedingungen hinweg dauerte ein Wurf der P2 unabhängig von der Aufgabenschwierigkeit 1707 ms. Die individuellen Koordinationsmuster beider Partner scheinen sich also nicht an den experimentellen Randbedingungen der Aufgabe zu orientieren, da sie sich nicht über das Fitts'sche Gesetz abbilden lassen. Zwar zeigte eine zwei-faktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung mit dem Faktor *SI* und dem Zwischensubjektfaktor *Partner* einen signifikanten Haupteffekt für den Faktor *Schwierigkeitsindex* ($F(4.73, 558.31) = 43.460$; $p < .01$; $\eta_p^2 = .169$), allerdings trat der Einfluss des SI's auf die BZ unsystematisch auf: SI 2,2 = 1738 ms; SI 2,8 = 1622 ms; SI 3,2 = 1626 ms; SI 3,4 = 1534 ms; SI 3,8 = 1633 ms; SI 4,0 = 1654 ms; SI 4,4 = 1779 ms).

Darüber hinaus interagierte der Faktor *Schwierigkeitsindex* mit dem Zwischensubjektfaktor *Partner* ($F(4.73, 558.31) = 6.396; p < .001; \eta_p^2 = .051$), allerdings mit einer sehr geringen Effektstärke. Die Regressionsanalyse ergab für die P1 einen signifikanten Zusammenhang ($F(1, 418) = 8.306, p < .01, R^2 = .019$) zwischen dem SI und der BZ. Für die P2 wurde diese Abhängigkeit statistisch nicht signifikant ($F(1, 418) = 1.852, p > .05, R^2 = .004$). Die Determinationskoeffizienten (R^2) klärten in beiden Analysen nur einen Bruchteil der Varianz (< 2 %) auf, d.h. dass sich die Bewegungsgeschwindigkeit der Ko-Akteure nicht über die individuelle Schwierigkeit der jeweiligen Partneraufgabe erklären ließ. *Abbildung 44* stellt die durchschnittlichen BZ in Abhängigkeit von der Differenz der Versuchskombinationen der P1 und P2 dar:

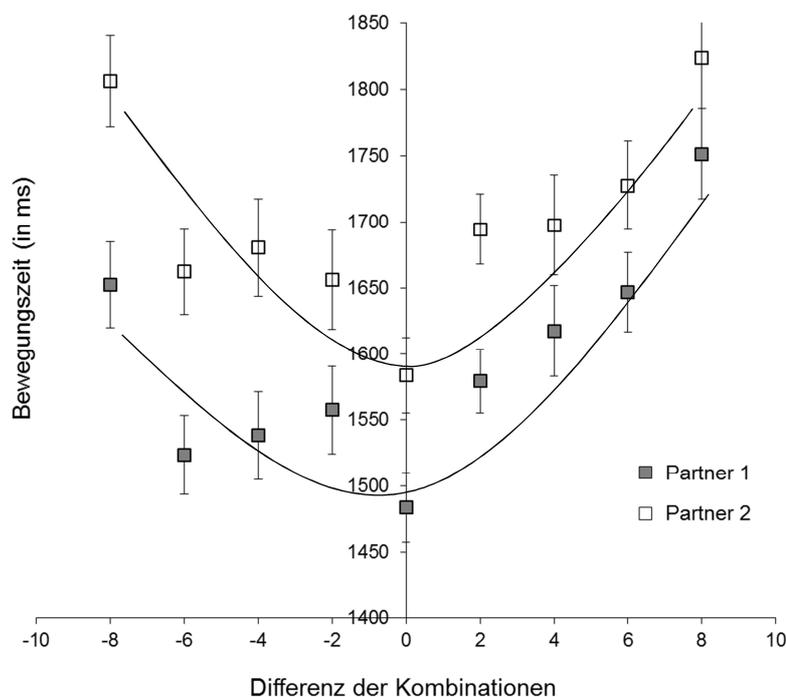


Abbildung 44: Graphische Darstellung der Bewegungszeiten (in ms) für das Werfen eines Balles in Experiment 6 in Abhängigkeit von der Differenz der Kombinationen (Versuchsbedingungen, z.B. 1|9 = -8). Dunkle Vierecke stellen die durchschnittliche BZ der Partner 1 und helle Vierecke die der Partner 2 dar. Konfidenzintervalle geben die Streuung der Daten an. Die Daten entsprechen dem Vorhersagemodell C (Joint Action größerer SI).

In Bezug zu den oben genannten Vorhersagemodellen ähnelten die Daten dem Modell C (Joint Action = „größerer SI“), nach dem die Vpn den SI der jeweils schwereren Aufgabe in ihrer Bewegungsplanung beachteten. Mit steigender Differenz der Kombinationen (-8 | +8) gingen steigende BZ einher. Umgekehrt resultierten schnellere BZ, wenn die Differenz der Kombinationen sehr gering (bzw. gleich) war. Graphisch äußerte sich dies in einem U-förmigen Verlauf der BZ. Der Zwischensubjektfaktor *Partner* wurde in diesem Experiment signifikant ($F(1, 118) = 7.553; p < .01; \eta_p^2 = .060$), so dass die P1 über alle Versuchsbedin-

gungen hinweg im Mittel schneller waren ($M = 1603$ ms) als die P2 ($M = 1707$ ms). Allerdings gilt hier zu berücksichtigen, dass die Effektstärke mit $\eta_p^2 = .060$ als gering einzuschätzen ist. Der Unterschied zwischen den P1 und P2 könnte daher doch zufällig zustande gekommen sein (Cohen, 1988).

Trägt man die durchschnittliche BZ der beiden Partner gegen den jeweils *größeren Schwierigkeitsindex* (Vorhersagemodell C) der jeweiligen Bedingung ab, ergaben lineare Regressionsanalysen sowohl für die P1 ($F(1, 418) = 37.039, p < .001, R^2 = .081$) als auch für die P2 ($F(1, 418) = 36.410; p < .001, R^2 = .080$) einen signifikanten Zusammenhang auf dem 1 %-igen Signifikanzniveau, allerdings wiederum mit sehr geringen Aufklärungswerten der Varianz (< 9 %). In *Abbildung 45* ist die BZ pro Wurf (in ms) in Abhängigkeit vom größeren SI (in Einheiten/Sekunde) der jeweiligen Bedingung graphisch dargestellt:

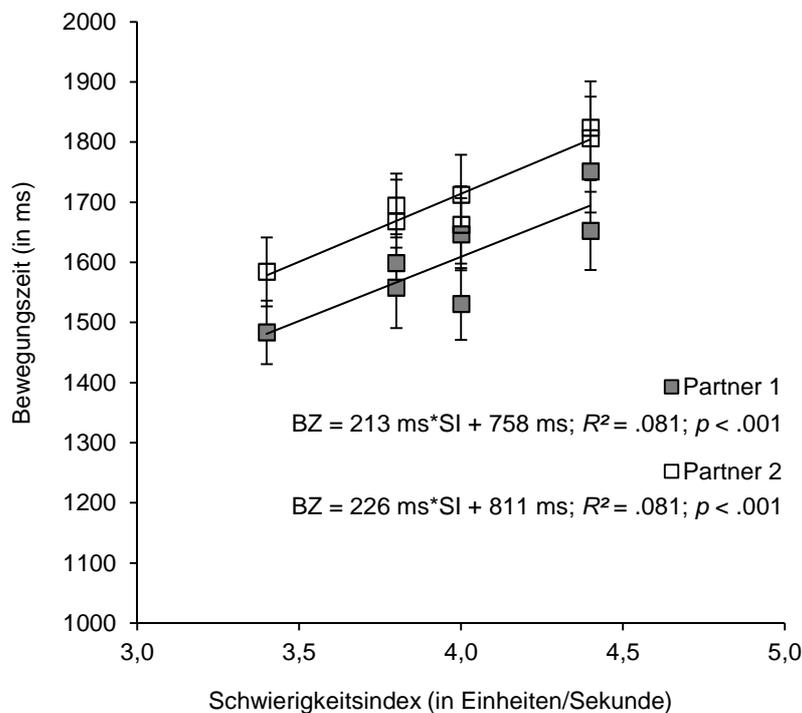


Abbildung 45: Graphische Darstellung der Bewegungszeiten (in ms) für das Werfen eines Balles in Experiment 6 in Abhängigkeit vom maximalen Schwierigkeitsindex (in Einheiten/Sekunde). Dunkle Vierecke stellen die durchschnittliche BZ der Partner 1 und helle Vierecke die der Partner 2 dar. Konfidenzintervalle geben die jeweilige Streuung der Daten an.

Für die P1 resultierte die Funktionsvorschrift $BZ = 213 \text{ ms} \cdot SI + 758 \text{ ms}$ und für die P2 $BZ = 226 \text{ ms} \cdot SI + 811 \text{ ms}$. Danach ging für beide Partner mit jeder Steigerung der Schwierigkeit um eine Einheit eine durchschnittliche Erhöhung der BZ um circa 200 ms einher. Die Achsenabschnitte lagen für die P1 bei 758 ms und für die P2 bei 811 ms.

7.3.2.2. Bewegungsfehler (BF)

Die Betrachtung der relativen Anzahl der Bewegungsfehler (Varianzanalyse mit Messwiederholung; Faktor *Schwierigkeit*, Zwischensubjektfaktor *Partner*) zeigte einen signifikanten Haupteffekt für den Faktor *Schwierigkeit* ($F(6, 708) = 114.095, p > .001, \eta_p^2 = .492$), d.h. mit der Erhöhung der Aufgabenschwierigkeit gingen auch mehr BF einher (Abbildung 46). Der Zwischensubjektfaktor *Partner* (P1 vs. P2) hatte dabei keinen Einfluss auf die BF ($F(1, 118) = 1.234, p > .05, \eta_p^2 = .010$). Demnach begingen beide Partner über die Versuchsbedingungen hinweg gleich viele Fehler.

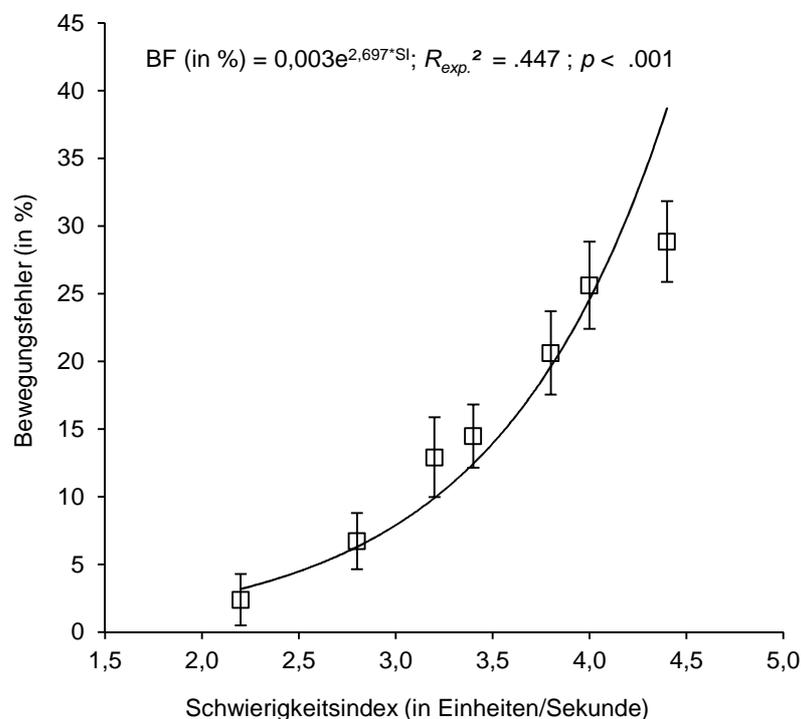


Abbildung 46: Graphische Darstellung der Bewegungsfehler (in %) in Experiment 6 in Abhängigkeit vom Schwierigkeitsindex (in Einheiten/Sekunde). Der Verlauf der BF wird am besten über exponentielles Kurvenanpassungsmodell beschrieben. Konfidenzintervalle geben die jeweilige Streuung der Daten an.

Die Regressionsanalyse zwischen der unabhängigen Variable SI und der abhängigen Variable BF ergab die Funktionsvorschrift $BF = 0.003 \cdot e^{2.697 \cdot SI}$. Aufgrund der Erkenntnisse der vorangegangenen Experimente wird auf ein exponentielles Anpassungsmodell zur Schätzung der Regressionsgleichung zurückgegriffen ($F(1, 418) = 338.176; p < .001; R_{exp.}^2 = .447$), d.h. über den SI ließen sich 44,7 % der Varianz in den BF aufklären. Die Interaktion zwischen *Schwierigkeit* und *Partner* hatte hingegen keinen signifikanten Einfluss auf die BF ($F(5.14, 606.24) = 1.212, p > .05, \eta_p^2 = .010$).

7.3.2.3. zusätzliche Analysen

Die Prüfung des separaten Einflusses der im Experiment manipulierten Faktoren auf die BZ ergab einen signifikanten Haupteffekt für den Faktor *Distanz* ($F(1.50, 178.30) = 19.721, p < .01, \eta_p^2 = .142$) und den Faktor *Kistengröße* ($F(1.81, 215.74) = 45.425, p < .001, \eta_p^2 = .276$), allerdings trat auch dieser Einfluss unsystematisch auf (*Abbildung 47*). Die Interaktion beider Faktoren wurde ebenfalls signifikant ($F(3.63, 431.85) = 34.381, p < .001, \eta_p^2 = .224$). *Posthoc t-Test* konnten keinen separaten Einfluss der Kistengröße oder der Distanz über beide Partner hinweg feststellen (alle $p > .008$).

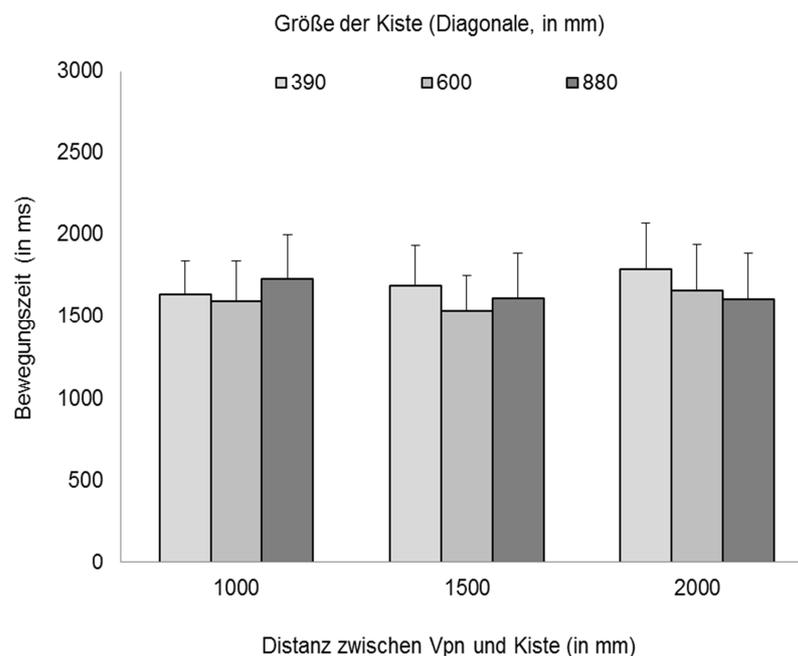


Abbildung 47: Graphische Darstellung der Bewegungszzeiten (in ms) in Experiment 6 in Abhängigkeit von der Distanz zwischen Vpn und Kiste und der Kistengröße.

Mit Hilfe der Varianzanalyse mit Messwiederholung zur Prüfung des separaten Einflusses der beiden Parameter auf die BF, ließen sich signifikante Haupteffekte für die Faktoren *Distanz* ($F(1.78, 212.35) = 163.947, p < .01, \eta_p^2 = .579$) und die *Kistengröße* ($F(2, 238) = 211.803, p < .001, \eta_p^2 = .640$) nachweisen. Die Interaktion beider Faktoren wurde ebenfalls signifikant ($F(4, 476) = 5.912, p < .001, \eta_p^2 = .047$). Analog zu vorangegangenen Experimenten ging mit steigenden Distanzen zwischen Vpn und Kiste sowie kleineren Kistengrößen eine größere Anzahl an BF einher (*Abbildung 48*).

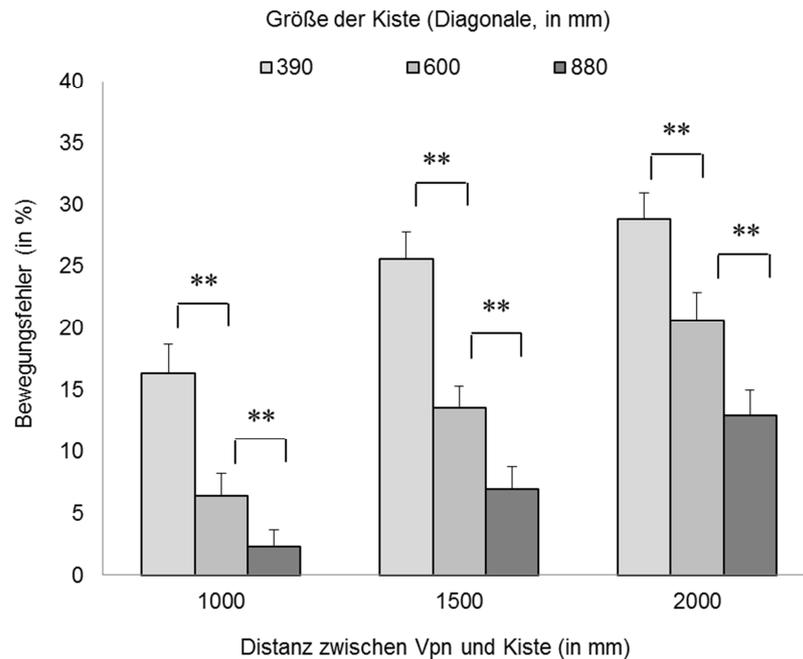


Abbildung 48: Graphische Darstellung der Bewegungsfehler (in %) in Experiment 6 in Abhängigkeit von der Distanz zwischen Vpn und Kiste und der Kistengröße.

Da sich beide Faktoren gegenseitig modulierten, wirkten sich spezifische Kombinationen aus *Distanz* und *Kistengröße* mehr oder weniger stark auf die BF aus. Verbundene *t*-Test ergaben jedoch signifikante Unterschiede für jeden der Vergleiche bei konstanter Distanz (alle $p < .008$). Dabei resultierten aus einer Reduktion der Kistengröße im Mittel 6,20 % mehr Fehler. Gleichzeitig begingen Vpn durchschnittlich 8,09 % mehr Fehler, wenn die Kistengröße kleiner wurde.

7.3.3 Diskussion

Experiment 6 diente (analog zu Experiment 3) der Prüfung systematischer Interaktionseffekte zweier Partner beim Lösen einer *Objektmanipulationsaufgabe mittlerer Komplexität* (hier „Wurfaufgabe“) während sie Bewegungshandlungen von gleicher oder unterschiedlicher Schwierigkeit ausführten. Dabei stand die Frage offen, ob sich diese Koordinationsmuster quantitativ über das Fitts'sche Gesetz abbilden lassen. Dazu wurden die Vpn sowohl mit gleichen als auch unterschiedlichen Aufgabenschwierigkeiten innerhalb eines Paares konfrontiert. Zwei mögliche Vorhersagen für die BZ waren, dass sich die Partner an den jeweiligen experimentellen Randbedingungen ihrer eigenen Aufgabe (A) oder an denen des Partners (B) orientieren. Nach Vorhersagemodell C berücksichtigen beide Interaktionspartner sowohl den eigenen SI als auch den SI des Partners und bilden das arithmetische Mittel beider Aufgabenschwierigkeiten für ihre Bewegungshandlung. Der SI könnte sich ebenfalls

vermittelt über die Ko-Repräsentation des Partners auf die BZ auswirken, indem sie ihre Bewegungsgeschwindigkeit an die jeweils leichtere (D) oder schwerere (E) Aufgabe eines Partners anpassen.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Vpn mit steigender Differenz der Kombination der Versuchsbedingungen (z.B. -8 | +8) mehr Zeit für die Bewegungshandlung (dem Werfen eines Balles) benötigen, d.h. je unterschiedlicher die individuellen Aufgabenschwierigkeiten sind, desto langsamer sind die Bewegungen. Der unsystematische Einfluss des Faktors *Schwierigkeit* sowie die linearen Regressionsanalysen mit nur geringen Aufklärungswerten der Varianz ($R^2 < 2\%$) belegen, dass die individuellen Koordinationsmuster eines Partners beim wechselseitigen Werfen von Bällen nicht unmittelbar durch die eigenen experimentellen Randbedingungen bestimmt werden und sich damit nicht über das Fitts'sche Gesetz abbilden lassen. *Nullhypothese 2.1* wird daher beibehalten und die *Alternativhypothesen 2.1* verworfen. Dieser Befund unterstützt zunächst die Befunde von Fine und Amazeen (2011), die eine Verletzung des Fitts'schen Gesetzes bei unterschiedlich schweren Aufgaben innerhalb eines VP berichteten. Demnach führen höhere Schwierigkeitsindizes der Aufgabe nicht zu langsameren BZ, jedoch zu einer erhöhten Anzahl an BF (*Forschungshypothese 2.1*).

Es finden sich jedoch systematische Interaktionseffekte zwischen beiden Partnern, da sich die BZ nicht allein über die individuelle Aufgabenschwierigkeit der jeweiligen Bedingungen vorhersagen lassen (entgegen Vorhersagemodell A). *Alternativhypothese 2.2* wird daher angenommen und die *Nullhypothese 2.2* zurückgewiesen. Dies steht im Einklang der Studien zur Joint-Action-Forschung von Knoblich und Kollegen (2008, 2011) sowie Sebanz und Kollegen (2006a, b, 2007). Das U-förmige Interaktionsmuster der BZ spricht wiederum dafür, dass die Bewegungshandlungen der Vpn in hohem Maße vom Partner abhängig sind. Dabei passt sich der Partner mit der leichteren Aufgabe an die Anforderungen des Partners mit der schwereren Aufgabe an (Vorhersagemodell E; siehe auch Kelso et al., 1979). Demnach wirkt sich (wie schon in Experiment 3) der SI *vermittelt über die Ko-Repräsentation des Partners* auf die BZ aus (siehe dazu auch Vesper und Kollegen, 2013a). Vpn bilden also keine *gemeinsame (arithmetische) Aufgabenschwierigkeit* heraus, sondern passen sich jeweils an den Ko-Akteur an, der die schwerere Aufgabe zu bewältigen hat. Die *Forschungshypothese 2.3*, nach der Partner beim Lösen von Aufgaben unterschiedlicher Schwierigkeit gerichtete Interaktionseffekte zeigen, kann somit bestätigt werden. Somit liefert dieses Experiment für eine *Objektmanipulationsaufgabe mittlerer Komplexität* (hier eine Wurfaufgabe) weitere Evidenz für systematische Interaktionsmuster, die zwischen zwei Kooperationspartnern während der gleichzeitigen Ausführung gemeinsamer Handlungen entstehen.

7.4 Diskussion – Experimentalreihe 2

Die Experimentalreihe 2 („Wurfaufgabe“) untersuchte die Gültigkeit des Fitts’schen Gesetzes für die Partnerinteraktion beim Lösen kooperativer Aufgaben. Dabei führten die Vpn eine *Objektmanipulationsaufgabe mittlerer Komplexität* (Experimente 4-6) durch, indem sie so schnell wie möglich jeweils 8 Bälle im Wechsel von zwei Ausgangspositionen aus in ein gemeinsames Ziel (hier: eine Kiste) in der Mitte warfen. Den komplexeren Aspekt dieser Bewegungshandlung stellte der nicht-geführte Charakter der ballistischen Aufgabe dar, da das Objekt nach dem Verlassen der Hand nicht mehr korrigiert werden konnte. Die Vpn mussten daher das Ergebnis ihrer Handlung frühzeitig antizipieren und die Bewegungsplanung vor dem Abwurf abschließen. Analog zu Experimentalreihe 1 („Scheibentransferaufgabe“) wurde untersucht, ob die Koordinationsmuster zweier Partner für diese Aufgabe durch die experimentellen Randbedingungen bestimmt werden und sich quantitativ über das Fitts’sche Gesetz abbilden lassen. Außerdem wurde der Frage nachgegangen, ob systematische Interaktionsmuster zwischen den Partnern beim Lösen der kooperativen Aufgabe entstehen, wenn diese gleiche bzw. unterschiedliche Aufgabenanforderungen bewältigen.

Experiment 4 zeigte, dass die Ausführungsgeschwindigkeiten der Bewegungshandlungen auch in einer *Objektmanipulationsaufgabe mittlerer Komplexität* durch die experimentellen Randbedingungen bestimmt wurden. Die Vpn benötigten mit steigendem SI im Mittel mehr Zeit für das Werfen eines Balles. Die Versuchsaufgabe der vorliegenden Experimentalreihe ließ in diesem Fall Bewegungsfehler zu (Fehler 1. Art; Verfehlen der Kiste), welche statistisch analysiert werden konnten. Dabei konnte ein exponentieller Anstieg der BF mit zunehmender Schwierigkeit der Aufgabe beobachtet werden, d.h. die Anzahl der Fehlwürfe nahm mit steigendem SI überproportional zu. Dieses Ergebnis steht im Einklang mit bisherigen Studien (z.B. Guiard & Olafsdottir, 2011), die den negativ beschleunigten Anstieg der BF auf Limitationen des Bewegungsapparates zurückführen. Zusätzlich wird dieses Ergebnismuster durch die *posthoc* Analysen zum Einfluss der im Experiment manipulierten Faktoren *Distanz* und *Zielgröße* bekräftigt.

Experiment 5 verglich Bewegungshandlungen im Kontext einer EB, in der die Vpn ohne Partner agieren sollten, und einer PB, in der die Partner ihre Aufgaben gleichzeitig ausführten. Die Ergebnisse bestätigen zum einen, dass sich die experimentellen Randbedingungen unabhängig von der Bedingung (EB vs. PB) im Sinne des Fitts’schen Gesetzes auf die Ausführung der Bewegungen auswirkten, sodass Bewegungshandlungen mit steigendem SI über alle Bedingungen hinweg langsamer vollzogen und mehr Fehler gemacht wurden. Darüber hinaus konnte ein systematischer Einfluss der PB auf die BZ im Gegensatz zu den EB beobachtet werden, welcher sich in langsameren BZ manifestierte.

In Experiment 6 führten die Vpn Aufgaben von gleicher oder unterschiedlicher Schwierigkeit ausschließlich in der PB aus. Dabei ließen sich die individuellen Koordinationsmuster eines Partners beim wechselseitigen Werfen von Bällen nicht länger durch die experimentellen Randbedingungen im Sinne des Fitts'schen Gesetzes beschreiben. Mit steigender Differenz der Kombination der Versuchsbedingungen (z.B. -8 | +8) benötigten die Vpn mehr Zeit für das Werfen eines Balles, d.h. je unterschiedlicher die individuellen Aufgabenschwierigkeiten waren, desto langsamer waren die Bewegungen. Stattdessen waren die Bewegungshandlungen der Vpn in hohem Maße abhängig vom Ko-Akteur, indem sich der Partner mit der leichteren Aufgabe an die Anforderungen des Partners mit der schwereren Aufgabe anpasste (Vorhersagemodell E). Demnach wirkte sich der SI *vermittelt über die Ko-Repräsentation des Partners* auf die BZ aus.

Zum einen bestätigt diese Experimentalreihe 2 („Wurfaufgabe“), dass sich systematische Koordinationsmuster auf Basis des Fitts'schen Gesetzes nicht nur in EB (Fitts & Peterson, 1964; Klapp, 1975; Crossman & Goodeve, 1963/1983; Welford, 1960) sondern auch in PB (z.B. Experimentalreihe 1 und Mottet et al., 2001) bei einer Aufgabe findet. Die Versuchsaufgabe ähnelte den Studien zum Darts, die zur Überprüfung des Fitts'schen Gesetzes in der Sagittalebene vor dem Körper durchgeführt wurden (Kerr & Langgolf, 1977; Etnyre, 1998).

Des Weiteren gibt sie Evidenz für systematische Interaktionsmuster zwischen EB und PB, welche bereits in anderen Studien berichtet wurden (z.B. Fine & Amazeen, 2011; Mottet et al., 2001; Sebanz et al., 2006b). Eigene Bewegungshandlungen werden demnach im Interaktionskontext auf die Bewegungen des Ko-Akteurs abgestimmt. Nach Sebanz und Kollegen (2003, 2005, 2007) bilden die Vpn in diesen Fällen Ko-Repräsentationen und verarbeiten so die Aufgabe des Partners mit. Dies steht wiederum im Einklang der Studien zur Joint-Action-Forschung von Knoblich und Kollegen (2011) sowie Sebanz und Kollegen (2006a, b, 2007). Obwohl die Partner ihre Bewegungshandlungen im Wechsel absolvierten und die Schwierigkeit der Aufgabe gleich war, legen langsamere BZ in der PB selektive Interaktionskosten nahe. Dies wurde bereits von Vesper und Kollegen (2010) beobachtet, die die Ursache langsamerer Bewegungen in der PB auf s.g. *coordination smoothers* zurückführten, die Ko-Akteure nutzen, um ihre Handlungen aufeinander abzustimmen. Langsamere Bewegungen können nach den Autoren einfacher zwischen den Partner koordiniert werden.

Die unterschiedlichen Befunde der Studien von Mottet und Kollegen (2001) und Fine und Amazeen (2011) können mit Hilfe dieser Experimentalreihe 2 weiter aufgelöst werden: Die Ergebnisse aus Experiment 6 deuteten zunächst auf eine Verletzung des Fitts'schen Gesetzes bei der gleichzeitig Lösung von Aufgaben unterschiedlicher Schwierigkeitsanforderung hin (Fine & Amazeen, 2011). Systematische Interaktionsmuster zwischen den Interaktionspartnern bestätigten jedoch, dass das Fitts'sche Gesetz indirekt *vermittelt über die Ko-*

Repräsentation des Partners auf die BZ wirkt (U-förmiger Verlauf der BZ; vgl. auch Knoblich, 2011; Sebanz, 2006a, b). Es kommt zu einer Anpassung der Koordinationsmuster bei der Ausführung von Bewegungen zu jeweils unterschiedlichen Aufgabenanforderungen, wobei die Interaktionspartner die Aufgabenanforderungen des Partners mitrepräsentieren (Sebanz et al., 2006b). Der Partner mit der leichteren Aufgabe orientiert sich dabei an den Anforderungen des Partners mit der schwereren Aufgabe (siehe auch Kelso et al., 1979), sodass sich die experimentellen Randbedingungen (Schwierigkeitsindex) quantitativ über das Fitts'sche Gesetz für den Partner mit dem höheren SI abbilden lassen. Die Anzahl der BF hingegen wird (wie beim Lösen von Aufgaben gleicher Schwierigkeitsanforderungen innerhalb eines Versuchspaares) durch den SI der eigenen Aufgabe moduliert.

8 Experimentalreihe 3 – „Basketballpassaufgabe“

Die Experimentalreihe 3 prüft die Generalisierbarkeit der Ergebnisse von einfachen Objektmanipulationsaufgaben (Experimentalreihe 1) und Objektmanipulationsaufgaben mittlerer Komplexität (Experimentalreihe 2) auf eine sportspielspezifische Fertigkeit. Dafür dient der Basketballdruckpass als Untersuchungsaufgabe. Hier gilt zunächst Folgendes zu berücksichtigen: Viele Spielsituationen im Basketball werden durch einen so genannten Aufbauspieler der ballbesitzenden Mannschaft eingeleitet. Dabei muss dieser bei einem Angriff, meist unter Zeitdruck, ein Abspiele zu einem Mitspieler suchen. Ob er einen Pass, beispielsweise zu dem zentralen Mitspieler unter dem Korb, spielt oder nicht, könnte von den räumlichen Rahmenbedingungen der jeweiligen Situation abhängen. Das heißt, dass der Spieler den ihm für einen Pass zur Verfügung stehenden Raum berücksichtigt. In dieser komplexen Spielsituation sind unter anderem die Entfernung zum Mitspieler, die Lücke zwischen zwei Abwehrspielern (bzw. zwischen Abwehrspieler und Auslinie) und die Armhöhe, in der die Abwehrspieler verteidigen, für den Passgeber relevant (*Abbildung 49*).



Abbildung 49: Exemplarische Darstellung einer Spielsituation im Basketball. Der Aufbauspieler (in Ballbesitz) kann den Ball zum Mitspieler unter dem Korb (Rückennummer 9) passen oder selber zum Korb gehen. Die gestrichelte Linie stellt einen möglichen Laufweg des Mitspielers dar. Der Raum, der sich zwischen den beiden Abwehrspielern (Breite), deren Armen (Höhe) und der Distanz zum Mitspieler (Tiefe) aufspannt, gilt für den Aufbauspieler als Passkorridor.

Die Experimentalreihe 3 („Basketballpassaufgabe“) betrachtet deshalb insbesondere den Einfluss der einzelnen Raumdimensionen auf die Koordinationsmuster beider Partner während der Basketballpassaufgabe. Dabei ist wiederum die Frage zu beantworten, ob die Koordinationsmuster zweier Partner beim wechselseitigen Passen eines Basketballs durch die experimentellen Randbedingungen der Aufgabe bestimmt werden und sich quantitativ über das Fitts'sche Gesetz abbilden lassen. Um diesen Einfluss in einem Laborexperiment

valide zu beschreiben, werden die drei Raumdimensionen „Breite“, „Höhe“ und „Tiefe“ isoliert voneinander geprüft. In Experiment 7 wird die Dimension „Breite“, in Experiment 8 die Dimension „Höhe“ und in Experiment 9 die Dimension „Tiefe“ systematisch variiert.

8.1 Experiment 7

Experiment 7 geht der Frage nach, ob sich die beobachtbaren Koordinationsmuster zweier Partner beim Lösen einer komplexen sportspielspezifischen Fertigkeit über das Fitts'sche Gesetz quantitativ abbilden lassen. Dafür sollten sich die Vpn einen Basketball innerhalb von 20 Sekunden möglichst schnell und zielgenau hin-und-her passen. Durch die isolierte Betrachtung der Raumdimension „Breite“ wurde geprüft, ob sich die Variation dieses Parameters neben der Distanz zwischen den Passspielern systematisch auf die Koordinationsmuster zweier Partner auswirkt. Höhere Schwierigkeitsindizes (als Kombination der Breite des (Pass-)Korridors und der Distanz zwischen den Partnern) der Aufgabe sollten zu langsameren BZ und einer erhöhten Anzahl an BF führen. Das Experiment 7 dient deshalb zur Überprüfung der *Nullhypothese 3*, der *Alternativhypothese 3* und der *Forschungshypothese 3.1*.

8.1.1 Methode

8.1.1.1 Versuchspaare

Die randomisierte Zusammenstellung von 24 Vpn der Universität des Saarlandes ($M = 22,2$ Jahre; $SD = 1,4$ Jahre; 12 weiblich) zu 12 Versuchspaaren ergab vier weibliche, vier männliche und vier gemischtgeschlechtliche Paare. Eine der Vpn war linkshändig. Alle Vpn hatten nach Selbstauskunft eine normale bzw. korrigiert-normale Sehstärke und verfügten über durchschnittlich 4,7 Jahre ($\pm 6,6$ Jahre) Erfahrung in den Sportarten Basketball, Handball und Volleyball (*Tabelle 21*).

Tabelle 21: Zusammenfassung der anthropometrischen Daten der Versuchspersonen aus Experiment 7.

	Paare			Gesamt
	männlich	weiblich	gemischt	
<i>N</i>	8	8	8	24
Alter (in Jahren)	22,9 ($\pm 0,8$)	22,1 ($\pm 2,0$)	21,5 ($\pm 0,7$)	22,2 ($\pm 1,4$)
Größe (in cm)	170,9 ($\pm 6,4$)	181,6 ($\pm 6,0$)	177,3 ($\pm 6,5$)	176,6 ($\pm 7,7$)
Händigkeit (rechts in %)	100	87,5	100	95,8
Sportexpertise (in Jahren)	4,0 ($\pm 4,2$)	7,5 ($\pm 8,8$)	2,6 ($\pm 5,1$)	4,7 ($\pm 6,6$)

8.1.1.2. Versuchsaufgabe und –aufbau

Die Versuchspaare sollten sich innerhalb von 20 Sekunden einen wettspielkonformen Basketball (Größe 7; Umfang 760 mm; Durchmesser 240 mm; Gewicht 600 g) möglichst häufig hin- und her passen. Dabei bestand ein gültiger Pass aus einem Zuspiel zwischen Partner 1 und Partner 2 durch einen Korridor (zwei vertikale Stangen) ohne dass der Ball den Boden berührt. Die Distanzen zwischen den Vpn (2000, 3000 und 4000 mm) und zwischen den Stangen (400, 500 und 600 mm) wurden systematisch variiert. Die Anpassung der Armlängenunterschiede entsprach den vorangegangenen Experimenten (in Anlehnung an Juras et al., 2009). Der Pass sollte in aufrechter Haltung als beidhändiger Brustpass gespielt werden. Die Versuchsleiter achteten auf eine parallele Fußstellung (d.h. keine Schrittstellung) und ein nicht-übermäßiges Nachvornehmen des Oberkörpers. Eine Kamera (12.0 MegaPixel; 1920 x 1080) filmte den Versuchsablauf (*Abbildung 50*).

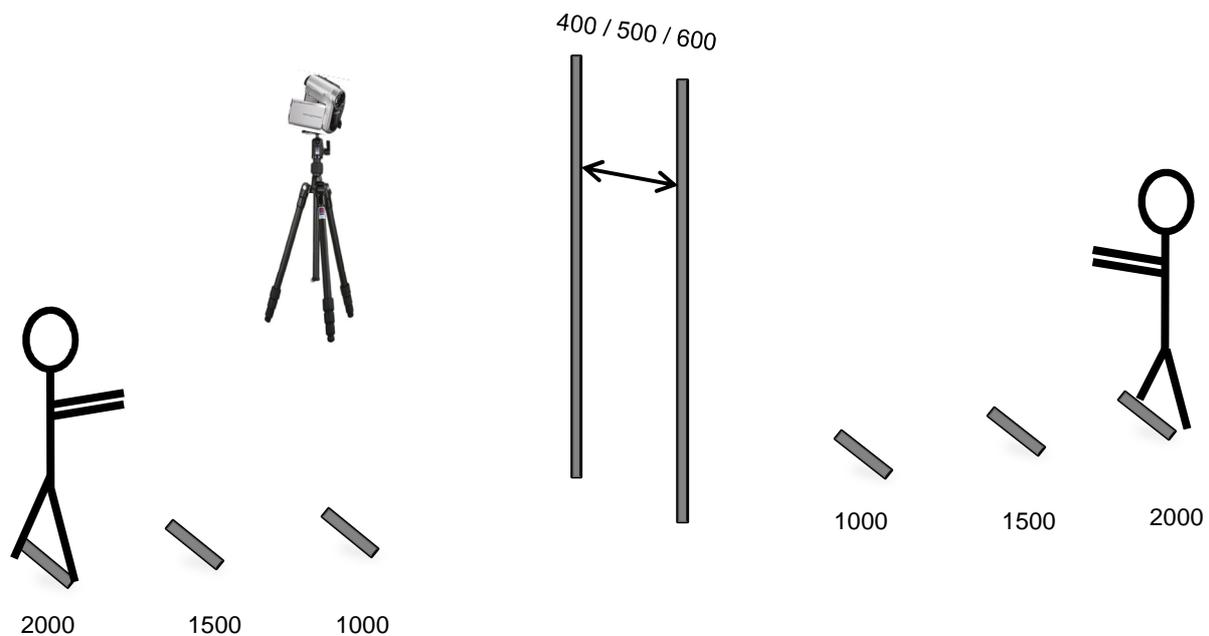


Abbildung 50: Versuchsaufbau in Experiment 7 (Basketballpass „Breite“). Die systematische Variation dreier Distanzen (1000 vs. 1500 vs. 2000 mm) zwischen Vpn und Passkorridor und dreier Korridore (Breite: 400 vs. 500 vs. 600 mm) ergab auf Basis des Fitts’schen Gesetzes unterschiedlich schwere Aufgaben (SI’s zwischen 2,5 und 4,6 Einheiten/Sekunde).

8.1.1.3. Versuchsdesign

Demographischer Fragebogen, Einverständnis- und eine Teilnahmeerklärung entsprachen den vorherigen Experimenten. Die Vpn wurden instruiert auf ein Startsignal („Achtung, fertig, los!“) so viele gültige Pässe wie möglich in der vorgegebenen Zeit zu realisieren, wobei sie wiederum mehr auf die Genauigkeit als auf die Geschwindigkeit achten sollten. Vor Beginn des Experiments legten die Vpn selbstständig fest, wer den ersten Pass spielt. Dies musste dann für die Dauer des Experiments beibehalten werden. Die Positionierung der Vpn

an den entsprechenden Bodenmarkierungen nahmen die Versuchsleiter vor. Das Signal „Stopp“ ließ die Paare in ihrer Bewegungsausführung anhalten. Pässe, die vom Partner nicht gefangen werden konnten und Versuchsdurchgänge bei denen der Ball mehr als dreimal eine der vertikalen Begrenzungen berührte (MacKenzie et al., 1987), wurden direkt wiederholt (Fehler 2. Art). Pässe, die die vertikalen Begrenzungen nur berührten (< 3) gingen als aV in die Datenanalyse ein (Fehler 1. Art). Durch die Kombination der drei Distanzen mit den drei Zielkorridoren ergaben sich neun Versuchsbedingungen mit SI's zwischen 2,5 und 4,6 Einheiten/Sekunde. Nach jedem Durchgang wurde den Vpn die Gesamtzahl an erfolgreichen Pässen und die Anzahl der Stangenberührungen mitgeteilt. Zu Beginn des Experiments fand wie in allen vorangegangenen Experimenten eine Eingewöhnungsphase (Übungsdistanzen 2500 vs. 5000 mm; alle Korridorgrößen) statt. Anschließend führten die Vpn die Versuchsbedingungen jeweils viermal hintereinander in randomisierter Reihenfolge durch. Die Studie dauerte durchschnittlich 45 Minuten. Der erste erfolgreiche Versuch in jeder Experimentalbedingung galt wiederum als Umgewöhnungsphase und ging nicht in die Datenauswertung ein.

8.1.1.4. Datenanalyse

Mittels einer zwei-faktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung mit den unabhängigen Variablen *Schwierigkeitsindex* (7-fach gestuft) und dem Zwischensubjektfaktor *Partner* (P1 vs. P2) wurde deren Einfluss auf die BZ und BF geprüft. Darüber hinaus betrachteten lineare Regressionsanalysen den Einfluss der Prädiktorvariable (Schwierigkeitsindex) auf die Kriteriumsvariable (BZ). In Anlehnung an die Befunde der vorangegangenen Experimente wurden die BF gemittelt über beide Partner mit einem exponentiellen Kurvenanpassungsmodell analysiert. Die Prüfung auf Ausreißer (\pm zweifache Standardabweichung) und auf Normalverteilung (Kolmogorov-Smirnov-Test) erlaubte die Aufnahme aller Vpn in die Datenauswertung. Zusätzliche Analysen (zwei-faktorielle ANOVA's) prüften den separaten Einfluss der manipulierten Faktoren *Distanz* und *Korridorgröße* (hier: die Dimension *Breite*). Bei einer signifikanten Interaktion beider Faktoren gaben *posthoc t*-Tests (unter Berücksichtigung der Bonferroni-Korrektur) die jeweiligen Gewichtungen der Einflussfaktoren an.

8.1.2 Ergebnisse

8.1.2.1. Bewegungszeiten (BZ)

Die BZ wurden wie in den vorangegangenen Experimenten separat für die P1 und die P2 betrachtet, wobei die Ko-Akteure in dieser Experimentalreihe ein gemeinsames Objekt (den Basketball) bewegten. Im Mittel benötigten die Vpn 847 ms ($SD = 179$ ms) für einen Bewegungszyklus, d.h. für das Fangen, Zielen und Werfen des Basketball.

Sortiert man die BZ nach dem jeweiligen SI der Versuchsbedingung fällt auf, dass auch hier mit steigender Aufgabenschwierigkeit längere Bewegungszeiten einhergingen. Ein Bewegungszyklus dauerte bei den P1 durchschnittlich 661 ms in der Bedingung, die durch den niedrigsten SI gekennzeichnet war, d.h. in der die Vpn aus zwei Metern Entfernung durch den breitesten Korridor passten. Aufgaben höherer Schwierigkeit, beispielsweise Pässe aus vier Metern Entfernung durch den schmalsten Korridor (SI_{5,6}), dauerten mit 1039 ms länger. Die P2 agierten in der leichtesten Bedingung (SI_{3,5}) mit 670 ms ebenso schneller als in der schwierigsten (SI_{5,6}) Bedingung mit durchschnittlich 1066 ms. Basierend auf dem Fitts'schen Gesetz ergaben sich aus den uV's Distanz und Lochdurchmesser verschiedene SI's zwischen 3,5 und 5,6 Einheiten/Sekunde. Bei der orthogonalen Kombination von Distanz und Zielgröße berechnete sich der SI 4,5 dreimal, der im Folgenden als gemittelter Wert dargestellt wird. *Tabelle 22* zeigt die gemittelten BZ pro Pass sortiert nach SI:

Tabelle 22: Durchschnittliche Bewegungszeiten aus Experiment 7 sortiert nach Schwierigkeit (in Einheiten/Sekunde).

SI	3,5	3,9	4,1	4,5	4,9	5,2	5,6
P1	661	655	811	823	1020	890	1039
(SD)	(84)	(86)	(93)	(117)	(113)	(113)	(139)
P2	670	667	834	854	1056	917	1066
(SD)	(65)	(82)	(93)	(106)	(131)	(132)	(120)
M	666	661	823	839	1038	903	1053

Mit Hilfe einer zwei-faktoriellen Varianzanalyse mit Messwiederholung mit dem Faktor *Schwierigkeitsindex* (7-fach gestuft) und dem Zwischensubjektfaktor *Partner* (P1 vs. P2) wurde der Einfluss des SI's auf die BZ geprüft. Es zeigte sich ein signifikanter Haupteffekt für den Faktor *Schwierigkeitsindex* ($F(3.08, 197.19) = 429.936, p < .001, \eta_p^2 = .870$). Demnach benötigten die Vpn mit steigendem SI zunehmend mehr Zeit für die Bewältigung der (Bewegungs-)Aufgabe: SI 3,5 = 666 ms; SI 3,9 = 661 ms; SI 4,1 = 823 ms; SI 4,5 = 839 ms; SI 4,9 = 1038 ms; SI 5,2 = 903 ms; SI 5,6 = 1053 ms (*Anhang 17*). Der Zwischensubjektfaktor *Partner* wurde hingegen nicht signifikant ($F(1, 64) = .263, p > .05, \eta_p^2 = .020$), demnach waren die beiden Partner beim Passspiel ungefähr gleich schnell ($M_{P1} = 843$ ms; $M_{P2} = 866$ ms). Auch die Interaktion von *Schwierigkeitsindex* und dem Zwischensubjektfaktor *Partner* ergab keine signifikanten Effekte ($F(3.08, 197.19) = .407, p > .05, \eta_p^2 = .006$).

Separate lineare Regressionsanalysen (uV = SI; aV = BZ_P1 und BZ_P2) wiesen einen signifikanten Zusammenhang zwischen SI und BZ nach. Für die P1 ($F(1, 244) =$

277.918; $R^2 = .532$; $p < .001$) berechnet sich eine Funktionsvorschrift von $BZ = 185 \text{ ms} \times SI - 2 \text{ ms}$, d.h. dass jede Erhöhung des SI's um eine Einheit, einen Anstieg der BZ um durchschnittlich 185 ms bewirkte. Der Achsenabschnitt von minus 2 ms stellte die theoretisch berechnete Mindestdauer einer Bewegung bei einem hypothetischen SI von Null dar. Auch für die P2 zeigte sich ein signifikanter Zusammenhang zwischen SI und BZ ($F(1, 244) = 310.590$; $R^2 = .560$; $p < .001$), der sich mit der Funktionsvorschrift $BZ = 198 \text{ ms} \times SI - 37 \text{ ms}$ beschreiben ließ. Demnach bewirkt eine Erhöhung des SI's um eine Einheit für die P2 ein Anstieg der BZ um 198 ms. Der Achsenabschnitt liegt für die P2 mit minus 37 ms ebenfalls im negativen Wertebereich. *Abbildung 51* stellt die benötigte BZ abhängig vom SI dar:

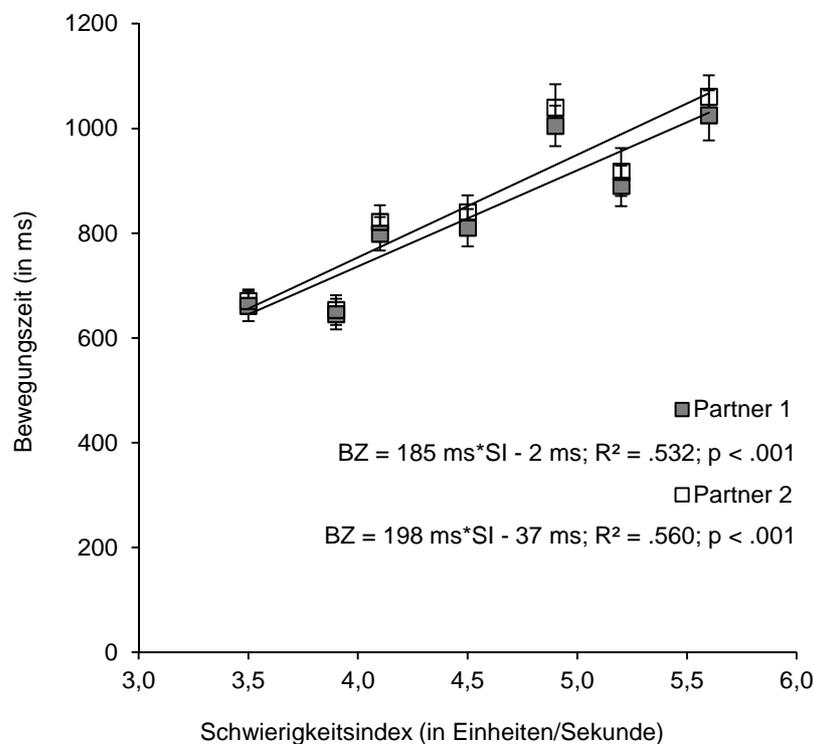


Abbildung 51: Graphische Darstellung der Bewegungszeiten (in ms) für einen Pass in Experiment 7 in Abhängigkeit vom Schwierigkeitsindex (in Einheiten/Sekunde). Dunkle Vierecke stellen die durchschnittliche BZ der Partner 1 und helle Vierecke die der Partner 2 dar. Konfidenzintervalle geben die jeweilige Streuung der Daten an.

Sowohl für die P1 als auch die P2 ergaben sich hohe Aufklärungswerte der Varianz, d.h. dass für die P1 circa 53,2 % und für die P2 circa 56,0 % der Variabilität in den Bewegungszeiten über den Schwierigkeitsindex zu erklären waren (Bortz, 2005).

8.1.2.2. Bewegungsfehler (BF)

In 8,07 % der Pässe berührte ein Basketball eine der vertikalen Begrenzungen des Passkorridors (Fehler 1. Art), d.h. bei circa jedem zwölften Pass verletzen die Vpn die Vorgabe der räumlichen Dimensionen der Aufgabe (*Anhang 18*). Auf Basis der Ergebnisse vo-

rangegangener Experimente wurde für die Regressionsanalysen zwischen BZ und BF ein exponentielles Anpassungsmodell verwendet. Die BF sind graphisch in *Abbildung 52* gegen den SI abgetragen. Die ein-faktorielle Varianzanalyse ergab einen signifikanten Haupteffekt für den Faktor *Schwierigkeitsindex* ($F(2.92, 102.13) = 24.806, p < .001, \eta_p^2 = .415$).

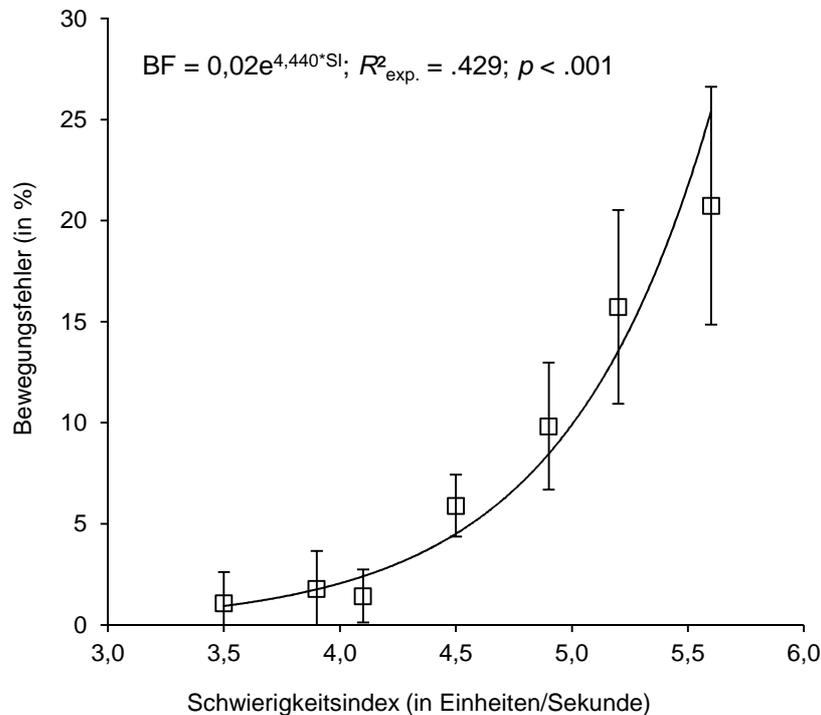


Abbildung 52: Graphische Darstellung der Bewegungsfehler (in %) in Experiment 7 in Abhängigkeit vom Schwierigkeitsindex (in Einheiten/Sekunde) über beide Partner. Ein exponentielles Kurvenanpassungsmodell ergab die höchsten Aufklärungswerte der Varianz (R^2). Konfidenzintervalle geben die jeweilige Streuung der Daten an.

Eine Regressionsanalyse mit exponentiellem Kurvenanpassungsmodell ergab einen signifikanten Einfluss der Prädiktorvariable (SI) auf die Kriteriumsvariable (BF; $F(1, 250) = 187.471$; $R_{\text{exp.}}^2 = .429$; $p < .001$). Der Anstieg der Fehler mit steigender Aufgabenschwierigkeit ließ sich demnach mit der Funktionsvorschrift $BF = 0.02 \cdot e^{4.440 \cdot SI}$ beschreiben. Demnach stiegen die BF mit einer Reduktion der Breite des (Pass-)Korridors und einer Erhöhung der Distanz zwischen den Vpn in exponentiellem Maße an. Bei niedrigen SI's lagen die BF bei knapp unter einem Prozent wohingegen sie mit zunehmendem SI bis auf 20 % anstiegen.

8.1.2.3. zusätzliche Analysen

Um den selektiven Einfluss der im experimentellen Design manipulierten Faktoren *Distanz* und *Korridorgröße* separat zu prüfen, wurde für die BZ eine zwei-faktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung mit den Faktoren *Distanz* (dreifach gestuft) und *Zielgröße* (als *Breite des Passkorridors*; dreifach gestuft) berechnet. Da die Prüfung auf Sphärizität (Mauchly-Test) auf signifikante Unterschiede in den Varianzen der Differenzen (Kovarianzen)

zwischen den Bedingungen für den Faktor *Distanz* und die Interaktion von Distanz und Korridorbreite hinwies, werden hier im Folgenden die nach Greenhouse-Geisser korrigierten Werte angegeben. Signifikante Haupteffekte traten für den Faktor *Distanz* ($F(1.49, 95.63) = 820.212, p < .001, \eta_p^2 = .928$) und den Faktor *Korridorgröße* ($F(2, 128) = 53.958, p < .001, \eta_p^2 = .457$) auf. Jede Erhöhung der Distanz zwischen den Vpn um einen Meter bewirkte somit durchschnittlich zusätzliche 174 ms für jeden Pass. Gleichzeitig hatte jede Verringerung der Breite des Korridors um 100 mm zusätzliche 30 ms Zeit pro Pass zur Folge. Beide Faktoren interagierten darüber hinaus miteinander ($F(3.48, 222.83) = 9.897, p < .001, \eta_p^2 = .134$), d.h. der Einfluss eines Parameters war abhängig von dem Einfluss des anderen Parameters (*Abbildung 53*).

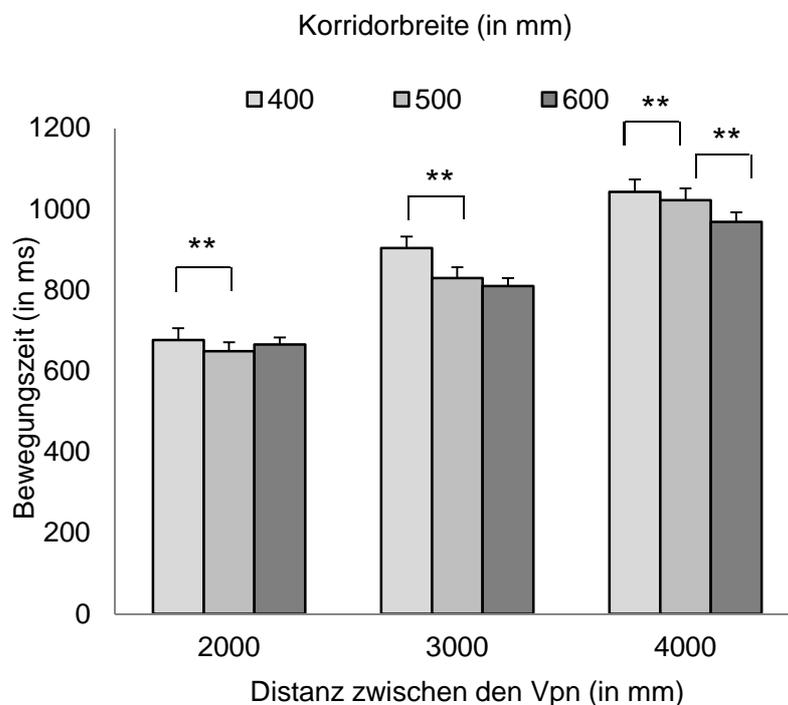


Abbildung 53: Graphische Darstellung der Bewegungszeiten (in ms) für einen Pass zum Partner in Experiment 7 in Abhängigkeit von der Distanz zwischen den Vpn und der Breite des (Pass-)Korridors.

Bei Pässen aus der kurzen Distanz von zwei Metern wirkte sich die Breite des Korridors nicht auf die BZ aus (*posthoc t-Tests*, Bonferroni-Korrektur), d.h. dass die Vpn einen Ball genauso schnell durch den breiten wie durch den schmalen und den mittleren Korridor passten ($t(65) = .617; p > .008$). Das gleiche galt für die Distanz von drei Metern zwischen den Vpn ($t(65) = -2.32; p > .008$). Für alle weiteren *posthoc* Vergleiche ließen sich signifikante Unterschiede (alle $p < .008$) nachweisen.

Für die BF ergab die zwei-faktorielle Varianzanalyse einen signifikanten Haupteffekt für die Faktoren *Distanz* ($F(2, 70) = 18.888, p < .001, \eta_p^2 = .351$) und *Korridorgröße* ($F(1.34, 46.84) = 48.364, p < .001, \eta_p^2 = .580$), wohingegen die Interaktion von Distanz und Korridor-

breite nach der Greenhouse-Korrektur nicht mehr signifikant wurde ($F(3.10, 108.56) = 2.549$, $p > .05$, $\eta_p^2 = .068$). Beide Faktoren hatten demnach einen unabhängigen Einfluss auf die BF. *Abbildung 54* zeigt die BF in Abhängigkeit von der Korridorgröße und der Distanz zwischen den Vpn:

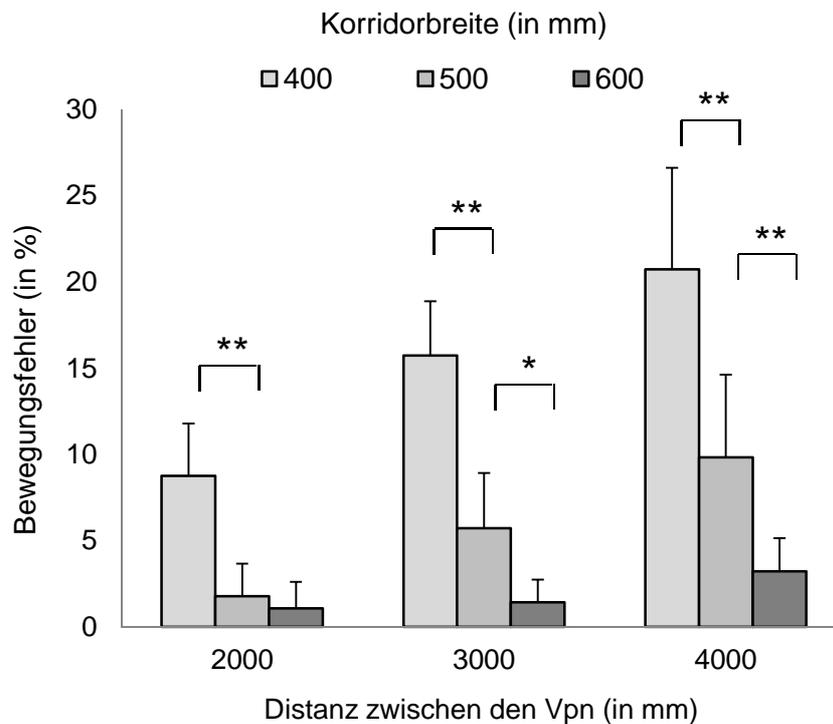


Abbildung 54: Graphische Darstellung der Bewegungsfehler (in %) für einen Pass zum Partner in Experiment 7 in Abhängigkeit von der Distanz zwischen den Vpn und der Breite des (Pass-)Korridors.

Zum einen bestimmte die Distanz zwischen den Vpn wiederum die Anzahl der BF, so dass mit einem zusätzlichen Meter Distanz im Mittel 3,69 % mehr Stangenberührungen einhergingen. Gleichzeitig resultierten aus einer Verkleinerung der Breite des Passkorridors um 100 mm durchschnittlich 6,58 % mehr BF.

8.1.3 Diskussion

Im Fokus von Experiment 7 stand die Prüfung des Einflusses der Raumdimension „Breite“ auf die Koordination einer Basketballpassaufgabe. Die vorliegenden Ergebnisse zeigen, dass die Ausführungsgeschwindigkeiten durch die experimentellen Randbedingungen der Aufgabe bestimmt werden, indem die Interaktionspartner ihre Handlungen an die jeweilige Aufgabenschwierigkeit anpassen. Die *Nullhypothese 3* wird daher zurückgewiesen und die *Alternativhypothese 3* angenommen. Operationalisiert man die Aufgabenanforderungen der einzelnen Bedingungen auf Basis des Fitts'schen Gesetzes (Fitts, 1954) über den Schwierigkeitsindex, dann lassen sich die BZ im Sinne des Fitts'schen Gesetzes quantitativ

abbilden, d.h. die Vpn benötigen mit steigendem SI im Mittel mehr Zeit für einen Pass. Zudem legen die Determinationskoeffizienten (R^2) der Regressionsanalysen für beide Partner einen linearen Zusammenhang von BZ und SI mit hohen Aufklärungswerten der Varianz (jeweils > 53 %) nahe. Die Betrachtung der BF gibt weitere Evidenz für die Annahme, dass mit steigender Aufgabenschwierigkeit die Anzahl der BF exponentiell ansteigt (Guiard & Olafsdottir, 2011). Demnach provozieren Pässe aus größerer Distanz bzw. durch einen schmalen Korridor mehr Fehlpässe. Diese Befunde bestätigen die *Forschungshypothese 3.1*. Somit können zum einen die Erkenntnisse zum Fitts'schen Gesetz bisheriger Studien zur Koordination von Bewegungen innerhalb von EB (z.B. Fitts & Peterson, 1964; Klapp, 1975; Crossman & Goodeve, 1963/1983; Welford, 1960) auf die Koordination von Bewegungen innerhalb von PB erweitert werden. Zum anderen lassen sich die Erkenntnisse der Experimente 1 und 4 auf eine sportspielspezifische Fertigkeit (hier den Basketballpass) übertragen. Das Ergebnismuster wird durch zusätzliche Analysen zum Einfluss der im Experiment manipulierten Faktoren *Distanz* und *Zielgröße* (als Breite des Passkorridors) untermauert. Danach wirkt sich jeder Faktor systematisch auf die Koordination der Bewegungshandlungen aus. Wie mit Hilfe des Fitts'schen Gesetzes vorhergesagt, steigen die BZ jeweils mit größerer Distanz und schmalerem Passkorridor an. Die Befunde spiegeln somit die Randbedingungen des experimentellen Designs plausibel wider.

8.2 Experiment 8

Experiment 8 untersucht ebenfalls die Koordinationsmuster von zwei Interaktionspartnern beim Lösen der Basketballpassaufgabe, allerdings für die Raumdimension „Höhe“. Dazu passten sich die Vpn den Basketball innerhalb von 20 Sekunden möglichst schnell und zielgenau unter einer horizontalen Begrenzung hindurch. Die experimentellen Randbedingungen der Aufgabe (Distanz zwischen den Passspielern und Höhe des Passkorridors) sollten sich systematisch auf die emergenten Koordinationsmuster der Partner auswirken. Höhere Schwierigkeitsindizes der Bewegungshandlung sollten langsamere BZ und mehr BF zur Folge haben. Damit dient Experiment 8 zur Überprüfung der *Nullhypothese 3*, der *Alternativhypothese 3* und der *Forschungshypothese 3.2*.

8.2.1 Methode

8.2.1.1. Versuchspaare

24 Studierende der Universität des Saarlandes ($M = 23,10$ Jahre; $SD = 2,9$ Jahre; 9 weiblich) nahmen an diesem Experiment teil. Durch die randomisierte Zusammenstellung zu 12 Versuchspaaren resultierten zwei weibliche, fünf männliche und fünf gemischtgeschlechtliche Paare. Zwei Vpn waren nach Selbstauskunft linkshändig. Die Vpn verfügten durchschnittlich über 9,6 Jahren ($SD = 7,7$ Jahre) Sporterfahrung in Wurfsporarten. Sie nahmen freiwillig und ohne finanzielle Entlohnung am Experiment teil. Eine genaue Beschreibung der Versuchspaare findet sich in *Tabelle 23*.

Tabelle 23: Zusammenfassung der anthropometrischen Daten der Versuchspersonen aus Experiment 8.

	Paare			Gesamt
	männlich	weiblich	gemischt	
<i>N</i>	10	4	10	24
Alter (in Jahren)	22,2 ($\pm 3,2$)	21,5 ($\pm 1,5$)	24,7 ($\pm 2,3$)	23,1 ($\pm 2,9$)
Größe (in cm)	182,1 ($\pm 4,4$)	172,5 ($\pm 5,7$)	174,3 ($\pm 9,4$)	177,3 ($\pm 8,2$)
Händigkeit (rechts in %)	90	100	90	91,6
Sportexpertise (in Jahren)	9,6 ($\pm 7,5$)	9,3 ($\pm 5,9$)	9,7 ($\pm 8,5$)	9,6 ($\pm 7,7$)

8.2.1.2. Versuchsaufgabe und -aufbau

Die Versuchsaufgabe war die gleiche wie in Experiment 7 mit dem Unterschied, dass der Basketball in diesem Fall nicht durch zwei vertikale Begrenzungen, sondern unter einer horizontalen Stange hindurch gepasst werden sollte. Ein gültiger Pass definierte sich aus einem Zuspiel zwischen P1 und P2 unter der Stange hindurch ohne dass diese herunterfiel.

Die Distanzen zwischen den Vpn (2000, 3000 und 4000 mm) glichen Experiment 7. Aus der horizontalen Begrenzung ergab sich ein (Pass-)Korridor zwischen Stange und Boden von 500, 600 oder 700 mm. Markierungen auf dem Boden zeigten den Vpn die jeweiligen Distanzen im Laborraum an. Der Pass sollte in aufrechter Haltung als beidhändiger Brustpass gespielt werden. Die Versuchsleiter achteten auf eine parallele Fußstellung und ein nicht-übermäßiges Nachvornehmen des Oberkörpers. Kamera, Basketball und Stangenapparatur waren die gleichen wie im vorangegangenen Experiment 7 (*Abbildung 55*).

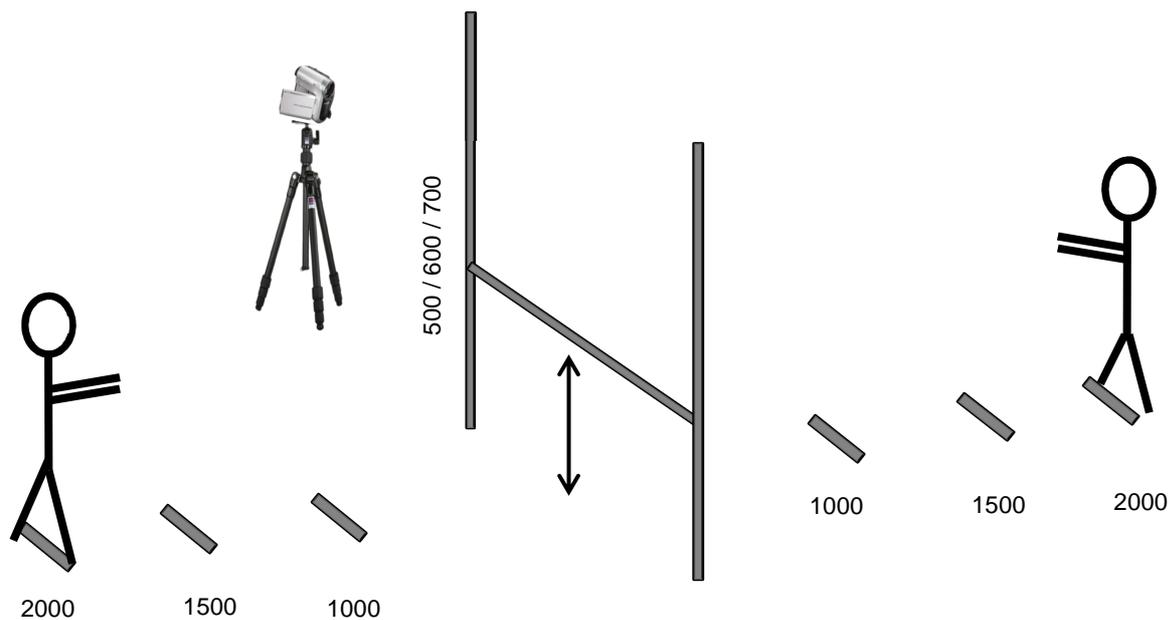


Abbildung 55: Versuchsaufbau in Experiment 8 (Basketballpass „Höhe“). Die systematische Variation dreier Distanzen (1000 vs. 1500 vs. 2000 mm) zwischen Vpn und Passkorridor und dreier Korridore (Höhe: 500 vs. 600 vs. 700 mm) ergab neun unterschiedlich schwere Aufgaben auf Basis des Fitts'schen Gesetzes (SI's zwischen 3,1 und 4,9 Einheiten/Sekunde).

8.2.1.3. Versuchsdesign

Demographischer Fragebogen, Einverständnis- und eine Teilnahmeerklärung sowie Instruktion entsprachen denen aus den vorherigen Experimenten. Ungenaue Pässe, die vom Partner nicht gefangen werden konnten, den Zielkorridor verpassten oder die Stange herunterrissen, galten, ebenso wie Durchgänge bei denen mehr als dreimal die horizontale Begrenzungen berührt wurde, als Fehler 2. Art. Diese Durchgänge wurden direkt wiederholt. Die Fehler 1. Art (Stangenberührungen < 3) gingen als αV in die Datenanalyse ein. Die SI's aus der Kombination von *Distanz* und *Zielkorridor* (als Höhe des Korridors) lagen zwischen 3,1 und 4,9 Einheiten/Sekunde. Die Studie dauerte circa 45 Minuten.

8.2.1.4. Datenanalyse

Mittels einer zwei-faktoriellen Varianzanalyse mit Messwiederholung mit den Faktoren *Schwierigkeitsindex* (7-fach gestuft) und Zwischensubjektfaktor *Partner* (P1 vs. P2) wurde deren Einfluss auf die BZ und die BF geprüft. Lineare Regressionsanalysen zwischen der Prädiktorvariable SI und der Kriteriumsvariable BZ gaben Aufschluss über den Zusammenhang der beiden Variablen. In Anlehnung an die Befunde der vorangegangenen Experimente wurden die BF mit einem exponentiellen Kurvenanpassungsmodell vorhergesagt. Die Prüfung auf Ausreißer (+/- zweifache Standardabweichung) und auf Normalverteilung (Kolmogorov-Smirnov-Test) erlaubte die Aufnahme aller Vpn in die Datenauswertung. Zusätzliche Analysen (zwei-faktorielle ANOVA's) testeten den separaten Einfluss der manipulierten Faktoren *Distanz* und *Korridorgröße* (hier: die Dimension *Höhe*). Bei einer signifikanten Interaktion der beiden Faktoren zeigten *posthoc* Tests (unter Berücksichtigung der Bonferroni-Korrektur) die jeweilige Gewichtung der Einflussfaktoren an.

8.2.2 Ergebnisse

8.2.2.1. Bewegungszeiten (BZ)

Die Varianzen innerhalb der Bedingungen unterschied sich für keines der Versuchspaare (Kolmogorov-Smirnov-Test; $p > .05$). Die BZ werden wie den vorangegangenen Experimenten separat nach P1 und P2 betrachtet. Im Mittel benötigten die Vpn 1070 ms ($SD = 177$ ms) für einen Bewegungszyklus, d.h. für das Fangen, Zielen und Werfen des Basketballes. Sortiert man die BZ nach dem jeweiligen SI der Versuchsbedingung fällt auf, dass auch hier mit steigender Aufgabenschwierigkeit längere Bewegungszeiten einhergingen (*Tabelle 24*).

Tabelle 24: Durchschnittliche Bewegungszeiten aus Experiment 8 sortiert nach Schwierigkeit (in Einheiten/Sekunde).

SI	3,1	3,5	3,7	3,9	4,1	4,5	4,9
P1	853	881	1018	976	1042	1129	1288
(SD)	(132)	(120)	(145)	(175)	(156)	(150)	(221)
P2	842	875	1025	939	1022	1157	1316
(SD)	(135)	(147)	(170)	(173)	(162)	(234)	(244)
M	847	878	1022	957	1032	1143	1302

Für das Passen eines Balles benötigten die P1 durchschnittlich 853 ms in der Bedingung, die durch den niedrigsten SI gekennzeichnet ist, in der die Vpn aus zwei Metern Entfernung durch den breitesten Korridor passten. Aufgaben höherer Schwierigkeit, beispiels-

weise Pässe aus vier Metern Entfernung durch den schmalsten Korridor, dauerten mit 1288 ms im Mittel länger. Die P2 agierten in der leichtesten Bedingung mit 842 ms ebenso schneller als in der schwierigsten Bedingung mit durchschnittlich 1316 ms. Basierend auf dem Fitts'schen Gesetz ergaben sich aus den uV's Distanz und Lochdurchmesser verschiedene SI's zwischen 3,1 und 4,9 Einheiten/Sekunde. Durch die orthogonale Kombination von Distanz und Zielgröße resultierten die SI's 4,5 und 4,9 Einheiten/Sekunde doppelt, welche im Folgenden als gemittelte Werte dargestellt werden. Die Varianzanalyse wies auf einen signifikanten Haupteffekt für den Faktor *Schwierigkeitsindex* ($F(4.02, 281.31) = 244.160, p < .001, \eta_p^2 = .777$) hin. Danach benötigten die Vpn mit steigendem SI zunehmend mehr Zeit für die Bewältigung der (Bewegungs-)Aufgabe: SI 3,1 = 847 ms; SI 3,5 = 878 ms; SI 3,7 = 1022 ms; SI 3,9 = 957 ms; SI 4,1 = 1032 ms; SI 4,5 = 1143 ms; SI 4,9 = 1302 ms (*Anhang 19*). Der Zwischensubjektfaktor *Partner* wurde hingegen nicht signifikant ($F(1, 70) = .002, p > .05, \eta_p^2 = .000$), d.h. beide Partner agierten im Mittel gleich schnell ($M_{P1} = 1027$ ms; $M_{P2} = 1025$ ms). Auch die Interaktion von *Schwierigkeitsindex* und dem Zwischensubjektfaktor *Partner* ergab keinen signifikanten Effekt ($F(4.02, 281.31) = 1.463, p > .05, \eta_p^2 = .020$). Separate lineare Regressionsanalysen (uV = SI; aV = BZ_P1 und BZ_P2) zeigten einen signifikanten Zusammenhang zwischen SI und BZ (*Abbildung 56*).

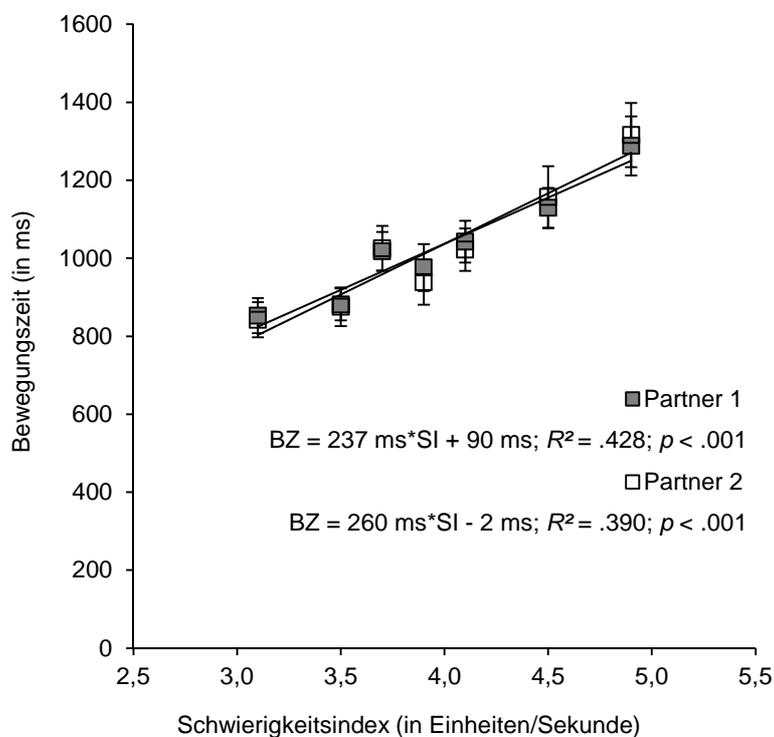


Abbildung 56: Graphische Darstellung der Bewegungszeiten (in ms) für einen Pass in Experiment 8 in Abhängigkeit vom Schwierigkeitsindex (in Einheiten/Sekunde). Dunkle Vierecke stellen die durchschnittliche BZ der Partner 1 und helle Vierecke die der Partner 2 dar. Konfidenzintervalle geben die jeweilige Streuung der Daten an.

Für die P1 ($F(1, 250) = 186.834$; $R^2 = .428$; $p < .001$) berechnete sich eine Funktionsvorschrift von $BZ = 237 \text{ ms} \times SI + 90 \text{ ms}$, d.h. dass jede Erhöhung des SI's um eine Einheit, einen Anstieg der BZ um durchschnittlich 237 ms zur Folge hatte. Der Achsenabschnitt von 90 ms stellte die hypothetische Mindestdauer einer Bewegung bei einem SI von Null dar. Für die P2 zeigte sich ebenfalls ein signifikanter Zusammenhang zwischen SI und BZ ($F(1, 250) = 159.777$; $R^2 = .390$; $p < .001$), der sich mit der Funktionsvorschrift $BZ = 260 \text{ ms} \times SI - 2 \text{ ms}$ beschreiben ließ, d.h. dass der SI auf die P2 mit zusätzlichen 260 ms pro Einheit wirkte und sie eine hypothetische Mindestdauer von minus 2 ms aufwies.

8.2.2.2. Bewegungsfehler (BF)

Insgesamt berührten 3,99 % der Pässe die horizontale Korridorbegrenzung. Diese Fehler 1. Art gingen in die Datenanalyse ein (*Anhang 20*). Die Varianzanalyse zeigte einen signifikanten Haupteffekt für den Faktor *Schwierigkeitsindex* ($F(2.76, 96.65) = 29.305$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .456$). Auf Basis der Ergebnisse vorangegangener Experimente wurde für Regressionsanalysen zwischen dem SI und den BF ein exponentielles Anpassungsmodell verwendet. In *Abbildung 57* sind die BF gegen den SI abgetragen:

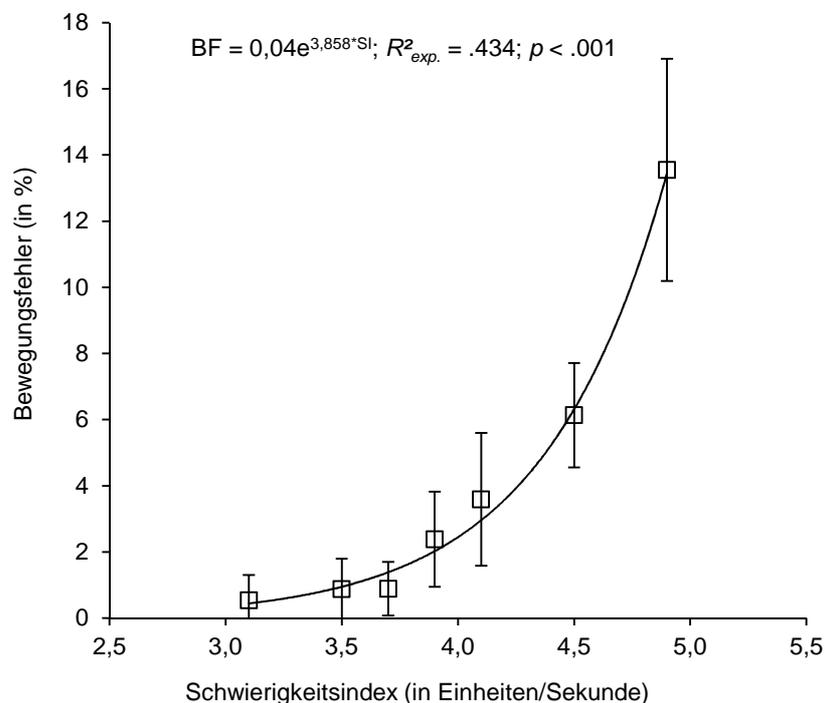


Abbildung 57: Graphische Darstellung der Bewegungsfehler (in %) in Experiment 8 in Abhängigkeit vom Schwierigkeitsindex (in Einheiten/Sekunde) über beide Partner. Ein exponentielles Kurvenanpassungsmodell ergab die höchste Varianzaufklärung. Konfidenzintervalle geben die jeweilige Streuung der Daten an.

Die Regressionsanalyse mit exponentiellem Kurvenanpassungsmodell zeigte einen signifikanten Einfluss der Prädiktorvariable SI auf die Kriteriumsvariable BF ($F(1, 250) = 191.798$; $R_{exp.}^2 = .434$; $p < .001$). Der Anstieg der Fehler mit steigender Aufgabenschwierig-

keit lies sich mit der Funktionsvorschrift $BF = 0.04 * e^{3.858 * SI}$ beschreiben. Demnach stiegen die BF mit einer Reduktion der Korridorbreite und einer Erhöhung der Distanz zwischen den Vpn in exponentiellem Maße an. Bei niedrigen SI's lagen die BF bei knapp unter einem Prozent wohingegen sie mit zunehmendem SI bis auf 15 % anstiegen.

8.2.2.3. zusätzliche Analysen

Um den selektiven Einfluss der im experimentellen Design manipulierten Faktoren *Distanz* und *Korridorgröße* separat zu prüfen, wurde für die BZ eine zwei-faktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung mit den Faktoren *Distanz* (dreifach gestuft) und *Zielgröße* (als *Breite des Passkorridors*; dreifach gestuft) berechnet. Da Mauchly-Test auf Sphärizität (Mauchly-Test) auf signifikante Unterschiede in den Varianzen der Differenzen (Kovarianzen) zwischen den Bedingungen für den Faktor *Distanz* (dreifach gestuft) und die Interaktion von Distanz und Korridor hinwies, werden hier im Folgenden die nach Greenhouse-Geisser korrigierten Werte angegeben.

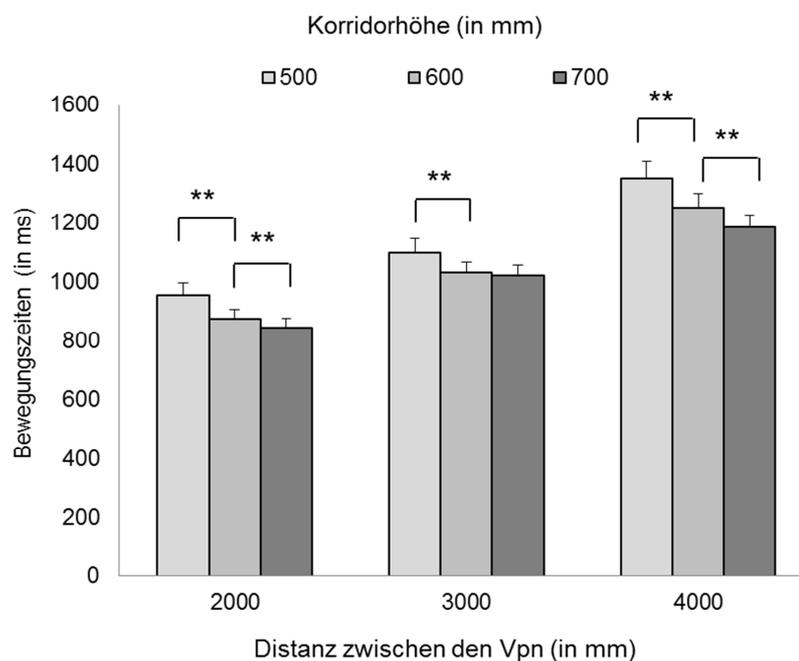


Abbildung 58: Graphische Darstellung der Bewegungszeiten (in ms) für einen Pass in Experiment 8 in Abhängigkeit von der Distanz zwischen den Vpn und der Höhe des (Pass-)Korridors.

Signifikante Haupteffekte traten für den Faktor *Distanz* ($F(1.62, 56.85) = 101.344, p < .001, \eta_p^2 = .743$) und den Faktor *Korridor* ($F(2, 70) = 341.812, p < .001, \eta_p^2 = .907$) auf. Die Interaktion zwischen Distanz und Korridor wurde in diesem Experiment ebenfalls signifikant ($F(3.07, 107.47) = 15.738, p < .001, \eta_p^2 = .310$), d.h. dass sich der Einfluss der beiden Faktoren auf die BZ gegenseitig modulierte. Mit Hilfe von *posthoc t*-Tests (Bonferroni, $\alpha/6$ -Methode zur Behebung der α -Fehler Akkumulation; $p = .008$) wurden die beiden Haupteffekte daher

separat betrachtet (*Abbildung 58*). Die BZ unterschieden sich – mit Ausnahme der mittleren Distanz von 3000 mm zwischen den Interaktionspartner zwischen dem großen und dem mittleren Korridor – signifikant in Abhängigkeit von der Korridorhöhe. Mit jeder Reduktion der Korridorhöhe gingen durchschnittlich 59 ms längere BZ einher. Die Vergrößerung der Distanz bewirkte wie in den vorangegangenen Experimenten längere BZ – hier um durchschnittlich 185 ms. Die Interaktion beider Faktoren bedeutet, dass sich die Stangenhöhe stärker auf die BZ auswirkte, wenn die Distanz zwischen den Vpn größer war.

Für die BF resultierten Haupteffekte für die Faktoren *Distanz* ($F(1.65, 57.67) = 10.403, p < .001, \eta_p^2 = .229$) und *Korridorhöhe* ($F(1.33, 46.57) = 87.779, p < .001, \eta_p^2 = .715$), sowie eine Interaktion beider Faktoren ($F(2.53, 88.59) = 6.439, p < .01, \eta_p^2 = .155$).

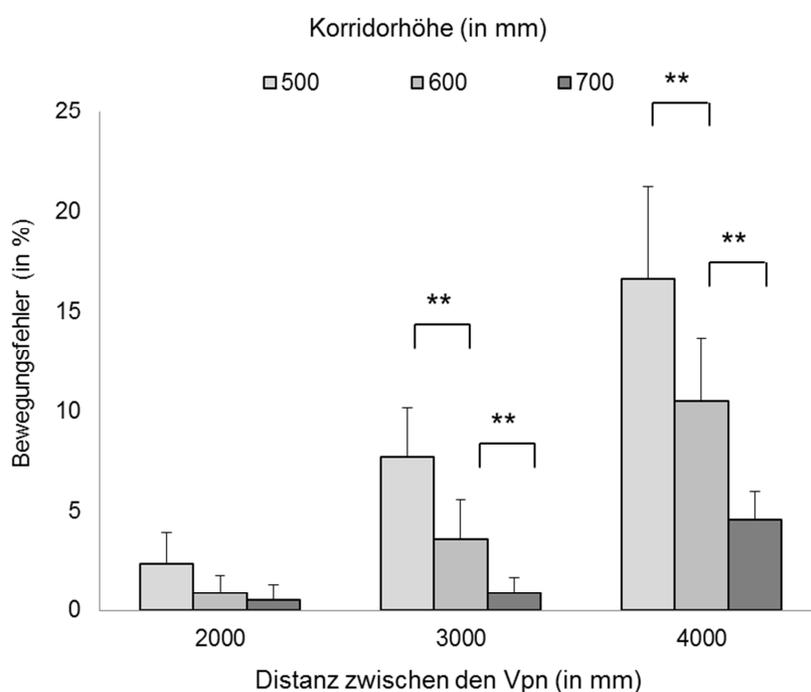


Abbildung 59: Graphische Darstellung der Bewegungsfehler (in %) in Experiment 8 in Abhängigkeit von der Distanz und der Höhe des (Pass-)Korridors.

Daher wurden *posthoc t*-Tests (Bonferroni, $\alpha/6$ -Methode zur Behebung der α -Fehler Akkumulation; $p = .008$) zur Prüfung des separaten Einflusses der Faktoren berechnet. Diese zeigten, dass sich die Korridorhöhe ausschließlich bei Pässen aus der mittleren und der großen Distanz auf die relative Anzahl der Bewegungsfehler auswirkte. Die Unterschiede aus der kurzen Distanz zwischen dem kleinen und mittleren ($t(35) = -1,700; p = .098$) sowie dem großen und mittleren ($t(35) = -,567; p = .574$) Korridor wurden statistisch nicht signifikant (*Abbildung 59*). Mit steigender Distanz bestimmte die Korridorgröße deutlicher die Anzahl der BF. Im Mittel gingen mit jeder Reduktion der Korridorhöhe 3,5 % mehr Fehler einher. Eine

Vergrößerung der Distanz zwischen den Vpn hatte durchschnittlich 4,6 % mehr Bewegungsfehler zur Folge.

8.2.3 Diskussion

Im Zentrum der Betrachtung von Experiment 8 stand der Einfluss der Raumdimension „Höhe“ beim Lösen der Basketballpassaufgabe. Die systematische Variation der experimentellen Randbedingungen der Aufgabe ergab, dass die Ausführungsgeschwindigkeiten durch die experimentellen Randbedingungen der Aufgabe bestimmt werden und sich über das Fitts'sche Gesetz quantitativ abbilden lassen. Die *Nullhypothese 3* wird daher verworfen und die *Alternativhypothese 3* bestätigt. Bildet man die Aufgabenanforderungen der einzelnen Bedingungen über den Schwierigkeitsindex (Fitts, 1954) ab, dann zeigen sich in den BZ Koordinationsmuster im Sinne des Fitts'schen Gesetzes, sodass Vpn mit steigendem SI im Mittel mehr Zeit für einen Pass benötigen. Die Determinationskoeffizienten (R^2) der Regressionsanalysen bestätigen für beide Partner einen linearen Zusammenhang von BZ und SI mit hohen Aufklärungswerten der Varianz (jeweils > 39 %). Die Betrachtung der BF gibt weitere Evidenz für die Annahme, dass mit steigender Aufgabenschwierigkeit die Anzahl der BF exponentiell ansteigt (Guiard & Olafsdottir, 2011). Demnach provozieren Pässe aus größerer Distanz bzw. durch einen flacheren Korridor mehr Fehlpässe. Diese Befunde bestätigen die *Forschungshypothese 3.2*. Somit können zum einen die Erkenntnisse zum Fitts'schen Gesetz bisheriger Studien zur Koordination von Bewegungen innerhalb von EB (z.B. Fitts & Peterson, 1964; Klapp, 1975; Crossman & Goodeve, 1963/1983; Welford, 1960) auf die Koordination von Bewegungen innerhalb von PB erweitert werden. Zum anderen lassen sich ebenfalls die Erkenntnisse der Experimente 1 und 4 auf die untersuchte sportspielspezifische Fertigkeit (hier der Basketballpass) übertragen. Dieses Ergebnismuster findet durch zusätzliche Analysen zum Einfluss der im Experiment manipulierten Faktoren *Distanz* und *Zielgröße* (als Höhe des Passkorridors) Bestätigung. Danach wirkt sich jeder Faktor systematisch auf die Koordination der Bewegungshandlungen aus. Korrespondierend zu den Vorhersagen des Fitts'schen Gesetzes, steigen die BZ jeweils mit größerer Distanz und flacherem Passkorridor an. Wie auch in den vorangegangenen Experimenten spiegeln die Befunde die Randbedingungen des experimentellen Designs plausibel wider.

8.3 Experiment 9

Experiment 9 schließt die Experimentalreihe 3 („Basketballpassaufgabe“) ab, indem es prüft, ob sich die Koordinationsmuster von zwei Interaktionspartnern beim Lösen einer komplexen sportspielspezifischen Fertigkeit für die Raumdimension „Tiefe“ quantitativ über das Fitts’sche Gesetz abbilden lassen. Aufgabe der Vpn war es in diesem Fall den Basketball innerhalb von 20 Sekunden möglichst schnell und zielgenau durch ein quadratisches Zielfeld auf dem Boden zu einem Partner zu passen. Es wird erwartet, dass sich die Variation der experimentellen Randbedingungen systematisch auf die Koordinationsmuster zweier Partner auswirkt. Höhere Schwierigkeitsindizes (als Kombination der Tiefe des (Pass-)Korridors und der Distanz zwischen den Partnern) der Aufgabe sollten zu langsameren BZ und einer erhöhten Anzahl an BF führen. Das Experiment 9 dient deshalb zur Überprüfung der *Nullhypothese 3*, der *Alternativhypothese 3* und der *Forschungshypothese 3.3*.

8.3.1 Methode

8.3.1.1. Versuchspaare

26 Studierende der Universität des Saarlandes ($M = 23,24$ Jahre; $SD = 2,6$ Jahre; 7 weiblich) nahmen an diesem Experiment teil. Die randomisierte Zusammenstellung zu 13 VP ergab ein weibliches, sieben männliche und gemischtgeschlechtliche Paare. Fünf Vpn gaben an linkshändig zu sein. Die Vpn verfügten durchschnittlich über 8,1 Jahre ($SD = 6,7$ Jahre) Erfahrung in Wurfsporarten. Ihre Teilnahme war freiwillig und wurde finanziell nicht entlohnt. Eine genaue Beschreibung der Versuchspaare findet sich in *Tabelle 25*.

Tabelle 25: Zusammenfassung der anthropometrischen Daten der Versuchspersonen aus Experiment 9.

	Paare			Gesamt
	männlich	weiblich	gemischt	
<i>N</i>	14	2	10	26
Alter (in Jahren)	23,4 ($\pm 3,0$)	22,5 ($\pm 0,7$)	23,1 ($\pm 2,3$)	23,2 ($\pm 2,6$)
Größe (in cm)	178,9 ($\pm 6,2$)	163,0 ($\pm 2,8$)	175,4 ($\pm 7,8$)	176,3 ($\pm 7,8$)
Händigkeit (rechts in %)	78,6	100	80,0	80,8
Sportexpertise (in Jahren)	9,3 ($\pm 7,9$)	0,0 ($\pm 0,0$)	8,0 ($\pm 4,9$)	8,1 ($\pm 6,7$)

8.3.1.2. Versuchsaufgabe und -aufbau

Auch in diesem Experiment sollten die Vpn einen Basketball möglichst schnell und zielgenau zu einem Partner passen. Der (Ziel-)Korridor spannte sich in diesem Fall jedoch nicht vertikal oder horizontal, sondern in der Raumdimension „Tiefe“ auf. Ein gültiger Pass

definierte sich aus einem Zuspiel zwischen P1 und P2 durch ein quadratisches Zielfeld auf dem Boden. Die Distanzen zwischen den Vpn waren dieselben wie in Experiment 7 und 8 (2000, 3000 und 4000 mm), die orthogonal mit drei Größen des Zielfeldes (Kantenlänge: 252 mm, 504 mm und 756 mm) kombiniert wurden. Markierungen auf dem Boden zeigten die jeweiligen Distanzen im Labor an. Der Pass sollte in aufrechter Haltung als beidhändiger Brustpass gespielt werden. Die Versuchsleiter achteten auf eine parallele Fußstellung und ein nicht-übermäßiges Nachvornehmen des Oberkörpers. Kamera, Basketball und Laborraum entsprachen den vorangegangenen Experimenten (*Abbildung 60*).

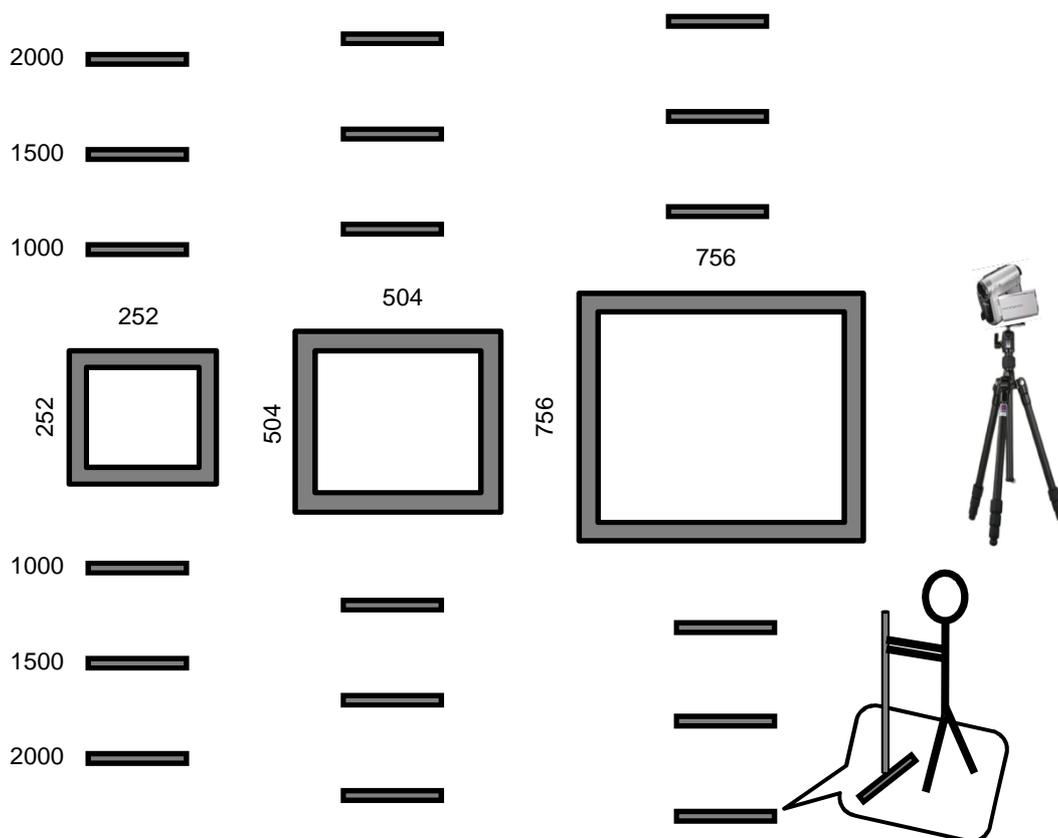


Abbildung 60: Versuchsaufbau von Experiment 9 (Basketballpass „Tiefe“). Die systematische Variation dreier Distanzen (1000 vs. 1500 vs. 2000 mm) zwischen Vpn und Passkorridor und dreier Korridore (Tiefe: 252 vs. 504 vs. 756 mm) ergab auf Basis des Fitts'schen Gesetzes SI's zwischen 2,5 und 5,4 Einheiten/Sekunde.

8.3.1.3. Versuchsdesign

Demographischer Fragebogen, Einverständnis- und Teilnahmeerklärung entsprachen denen vorheriger Experimenten. Ungenaue Pässe, die vom Partner nicht gefangen werden konnten, und Durchgänge bei denen mehr als dreimal das Zielfeld (plus dessen Randmarkierung) verfehlt wurde, galten als Fehler 2. Art. Diese Durchgänge wurden direkt wiederholt. Als Fehler 1. Art gingen die Pässe, die das Zielfeld verfehlten (< 3), als aV in die Datenanalyse ein. Aus der Kombination von *Distanz* und *Zielkorridor* resultieren SI'S zwischen 2,5 und

5,4 Einheiten/Sekunde. In der Eingewöhnungsphase wurde jede Distanz und jede Korridorgröße einmal für 20 Sekunden absolviert. Die Reihenfolge in der die Paare die unterschiedlichen Versuchsbedingungen durchführten war randomisiert. Jede Versuchsbedingung musste viermal (erfolgreich) realisiert werden.

8.3.1.4. Datenanalyse

Separate zwei-faktorielle Varianzanalysen prüften den Einfluss des Faktors *Schwierigkeitsindex* (7-fach gestuft) und des Zwischensubjektfaktors *Partner* (P1 vs. P2) auf die beiden abhängigen Variablen BZ und BF. Für die BZ wurden lineare, für die BF exponentielle Regressionsanalysen zur statistischen Betrachtung der Abhängigkeit zwischen der Prädiktorvariable (Schwierigkeitsindex) und der Kriteriumsvariable (BZ) genutzt. Die Prüfung auf Ausreißer (+/- zweifache Standardabweichung) und auf Normalverteilung (Kolmogorov-Smirnov-Test) erlaubte die Aufnahme aller Vpn in die Datenauswertung. Zusätzliche Analysen (zwei-faktorielle ANOVA's) bestimmten den separaten Einfluss der experimentell manipulierten Faktoren *Distanz* und *Korridorgröße* (hier: die Dimension *Tiefe*). Bei einer signifikanten Interaktion der beiden Faktoren zeigten *posthoc t-Tests* (unter Berücksichtigung der Bonferroni Korrektur) die jeweilige Gewichtung der Einflussfaktoren an.

8.3.2 Ergebnisse

8.3.2.1. Bewegungszeiten (BZ)

Der Kolmogorov-Smirnov-Test ergab für keine der neun Bedingungen einen signifikanten Unterschied innerhalb eines Versuchspaars ($p > .05$). Im Mittel benötigten die Vpn 995 ms ($SD = 90$ ms) für einen Bewegungszyklus, d.h. für das Fangen, Zielen und Werfen des Basketballballes (*Anhang 21*). Sortiert man die BZ nach dem jeweiligen SI der Versuchsbedingung fällt auf, dass auch in diesem Experiment 9 mit steigender Aufgabenschwierigkeit längere BZ einhergingen (*Tabelle 26*).

Tabelle 26: Durchschnittliche Bewegungszeiten aus Experiment 9 sortiert nach Schwierigkeit (in Einheiten/Sekunde).

SI	2,5	3,1	3,5	3,8	4,3	5,0	5,4
P1	772	949	1089	970	1159	1025	1192
(SD)	(104)	(77)	(84)	(87)	(108)	(90)	(94)
P2	767	955	1108	980	1142	1017	1178
(SD)	(106)	(82)	(85)	(78)	(108)	(92)	(89)
M	769	952	1099	975	1150	1021	1185

In den Versuchsbedingungen, die durch einen niedrigen SI gekennzeichnet sind, benötigten die Vpn im Mittel weniger Zeit für einen Pass ($SI_{2,5} = 769$ ms) als für Bedingungen, die einen hohen SI besitzen ($SI_{5,4} = 1185$ ms). Die zwei-faktorielle Varianzanalyse ergab einen signifikanten Haupteffekt für den Faktor *Schwierigkeitsindex* ($F(2.84, 62.37) = 190.466, p < .001, \eta_p^2 = .896$). Je schwieriger die Aufgabe war, desto länger fiel die BZ für einen Bewegungszyklus aus. Der Zwischensubjektfaktor *Partner* wurde hingegen nicht signifikant ($F(1, 22) = .001, p > .05, \eta_p^2 = .000$), d.h. beide Partner agierten im Mittel über die Versuchsbedingungen hinweg gleich schnell ($M_{P1} = 996$ ms; $M_{P2} = 994$ ms). Auch die Interaktion zwischen dem Faktor *Schwierigkeitsindex* und dem Zwischensubjektfaktor *Partner* wurde statistisch nicht signifikant ($F(2.84, 62.37) = .455, p > .05, \eta_p^2 = .020$).

Mittels linearer Regressionsanalysen konnte der Einfluss des SI's auf die durchschnittlichen BZ statistisch geprüft werden. Dabei zeigte sich sowohl für die P1 ($F(1, 82) = 70.958; R^2 = .454; p < .001$) als auch die P2 ($F(1, 82) = 58.874; R^2 = .418; p < .001$) ein signifikanter Zusammenhang zwischen SI und BZ. Für die P1 berechnete sich eine Funktionsvorschrift von $BZ = 110 \text{ ms} \times SI + 563 \text{ ms}$, d.h. dass jede Erhöhung des SI's um eine Einheit, einen Anstieg der BZ um durchschnittlich 110 ms bewirkte. Der Achsenabschnitt von 563 ms stellte die hypothetische Mindestdauer einer Bewegung bei einem SI von Null dar. In *Abbildung 61* ist die benötigte BZ gegen den SI abgetragen:

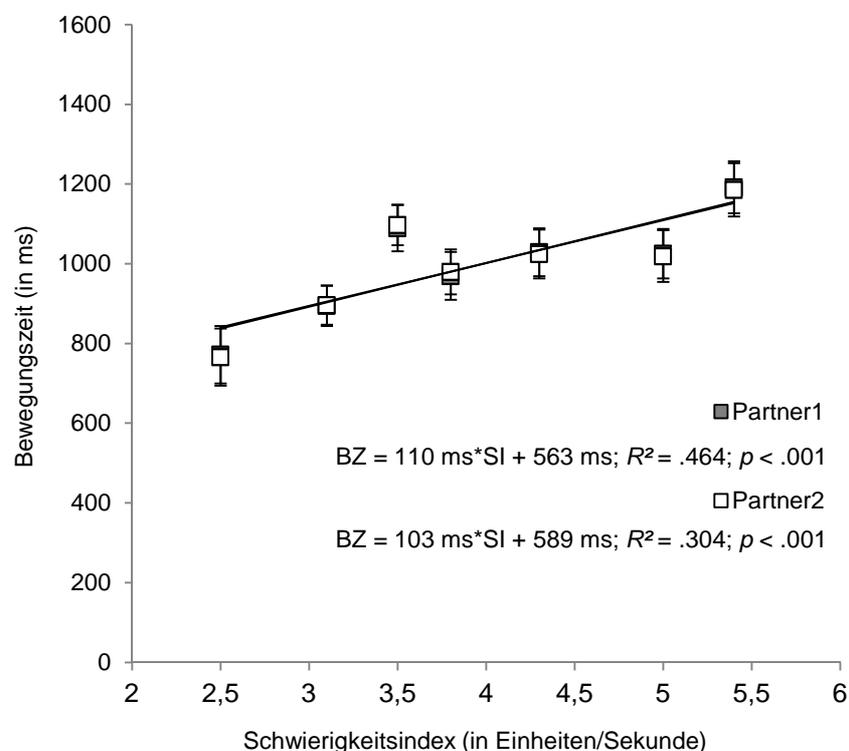


Abbildung 61: Graphische Darstellung der Bewegungszeiten (in ms) für einen Pass in Experiment 9 in Abhängigkeit vom Schwierigkeitsindex (in Einheiten/Sekunde). Dunkle Vierecke stellen die durchschnittliche BZ der Partner 1 und helle Vierecke die der Partner 2 dar. Konfidenzintervalle geben die jeweilige Streuung der Daten an.

Für die P2 ermittelte sich eine Funktionsvorschrift von $BZ = 103 \text{ ms} \cdot SI + 589 \text{ ms}$, d.h. dass jede Erhöhung des SI um eine Einheit durchschnittlich 102 ms mehr BZ hervorrief. Der Schnittpunkt der Regressionsgeraden für die P2 lag bei 589 ms.

8.3.2.2. Bewegungsfehler (BF)

In insgesamt 0,86 % der Pässe begingen die Vpn einen Fehler 2. Art, d.h. sie verfehlten mehr als dreimal das Zielfeld, verließen ihre Position oder fingen den Basketball nicht. Diese Durchgänge wurden wiederholt und gingen nicht in die Datenauswertung ein. Dagegen wurden die Fehler 1. Art ($M = 5,60 \%$; $SD = 7,97 \%$) also alle Pässe, die das Zielfeld oder dessen Randmarkierung verfehlten, als aV in der Regressionsanalyse mit exponentiellem Kurvenanpassungsmodell mit der uV SI berücksichtigt (Anhang 22). Diese ergab einen signifikanten Zusammenhang von SI und BF ($F(1, 250) = 92.563$; $R_{\text{exp.}}^2 = .270$; $p < .001$), der sich mit der Funktionsvorschrift $BF = 0.09 \cdot e^{2.459 \cdot SI}$ beschreiben lässt (Abbildung 62).

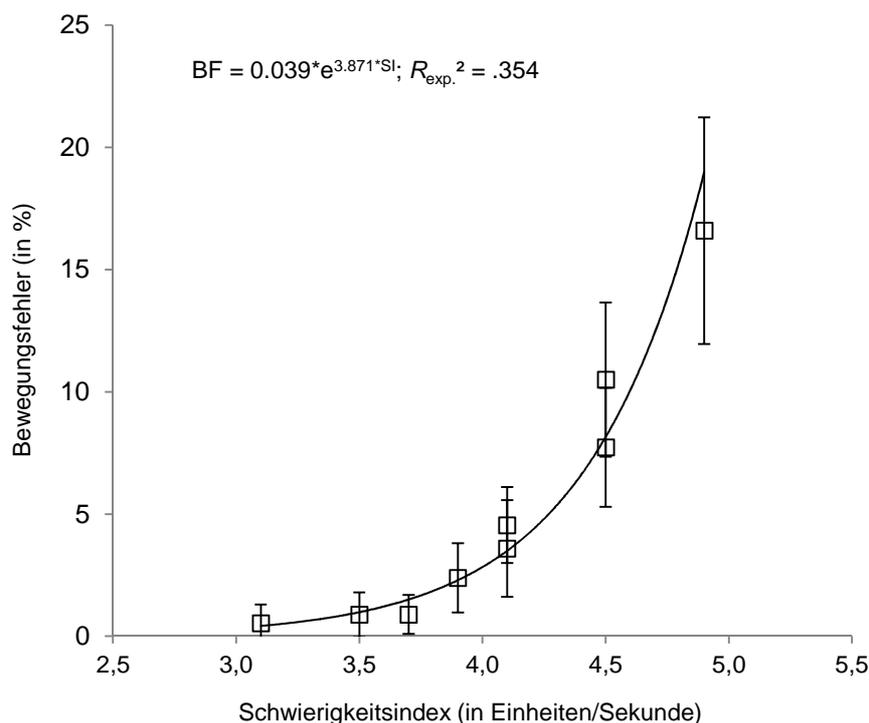


Abbildung 62: Graphische Darstellung der Bewegungsfehler (in %) in Experiment 9 in Abhängigkeit vom Schwierigkeitsindex (in Einheiten/Sekunde) über beide Versuchspartner. Der Verlauf der BF wird am besten über exponentielles Kurvenanpassungsmodell beschrieben. Konfidenzintervalle geben die jeweilige Streuung der Daten an.

Demnach stieg die Anzahl der BF überproportional im Verhältnis zum SI an, sodass zu Beginn unter einem Prozent der Pässe das Zielfeld verfehlten und bei steigender Schwierigkeit bis zu 20 % der Pässe das Zielfeld nicht trafen.

8.3.2.3. zusätzliche Analysen

Um den selektiven Einfluss der im experimentellen Design manipulierten Faktoren *Distanz* und *Korridorgröße* separat zu prüfen, wurde für die BZ eine zwei-faktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung für die Faktoren *Distanz* (dreifach gestuft) und *Zielgröße* (als *Tiefe des Passkorridors*; dreifach gestuft) berechnet. Signifikante Haupteffekte traten für den Faktor *Distanz* ($F(2, 70) = 1264.263, p < .001, \eta_p^2 = .973$) und den Faktor *Zielgröße* ($F(2, 70) = 72.495, p < .05, \eta_p^2 = .674$) auf. Die Interaktion zwischen Distanz und Zielkorridor wurde hingegen nicht signifikant ($F(4, 140) = 1.636, p > .05, \eta_p^2 = .045$). Im Durchschnitt stieg die benötigte BZ für einen Pass mit jeder Verringerung der Korridorgröße um 46 ms. Wie in allen vorangegangenen Experimenten wirkte sich gleichzeitig die Distanz zwischen den Vpn auf die BZ aus: Mit jedem zusätzlichen Meter Distanz zwischen den Ko-Akteuren stieg die BZ durchschnittlich um 155 ms. Die separate Betrachtung der Haupteffekte (*Abbildung 63*) bestätigte für die meisten Kombinationen aus Distanz und Zielkorridor signifikante Unterschiede in den BZ:

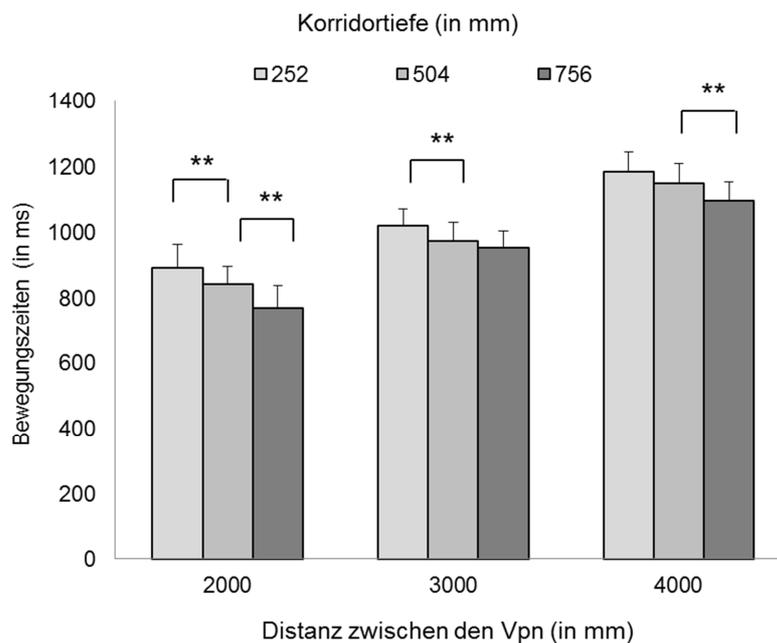


Abbildung 63: Graphische Darstellung der Bewegungszeiten (in ms) für einen Pass in Experiment 9 in Abhängigkeit von der Distanz zwischen den Vpn und der Tiefe des (Pass-)Korridors.

Die Varianzanalyse für die BF zeigten ebenfalls für die Faktoren *Distanz* ($F(1.46, 51.20) = 40.383, p < .001, \eta_p^2 = .536$) und *Zielkorridor* ($F(1.52, 53.30) = 58.865, p < .001, \eta_p^2 = .627$) sowie die Interaktion beider Faktoren ($F(2.67, 93.46) = 5.531, p < .001, \eta_p^2 = .136$) statistisch signifikante Effekte (*Abbildung 64*).

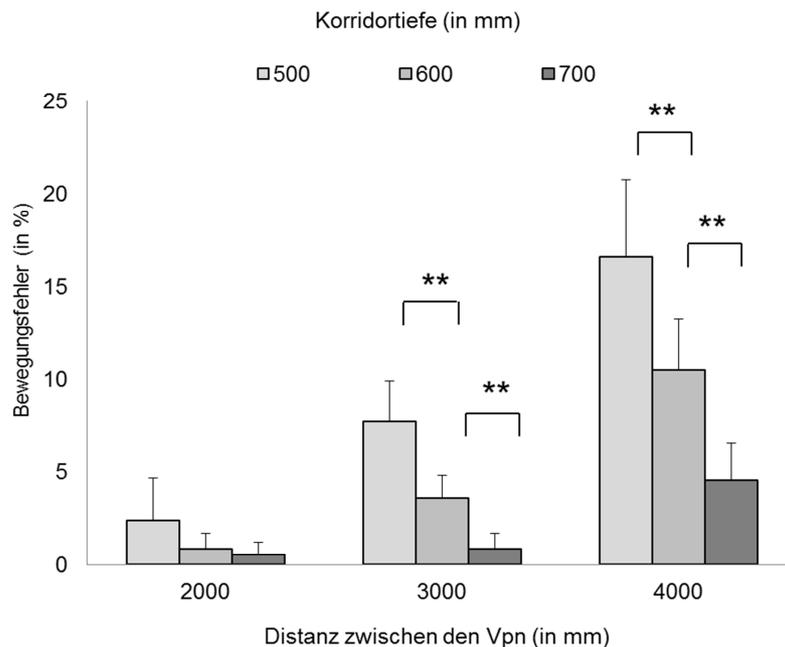


Abbildung 64: Graphische Darstellung der Bewegungsfehler (in %) in Experiment 9 in Abhängigkeit von der Distanz zwischen den Vpn der Tiefe des (Pass-)Korridors.

Bei Pässen aus der kürzesten Distanz von zwei Metern zwischen den Vpn wirkte sich die Tiefe des Passkorridors nicht systematisch auf die Anzahl der Fehler aus. Ab einer Distanz von drei Meter zum Partner stiegen die BF jedoch sukzessive mit einer Verringerung des Zielkorridors an ($p < .008$), d.h. sowohl bei mittleren als auch bei großen Distanzen zwischen den Passspielern bewirkten kleinere Passkorridore mehr Fehler. Betrachtet man den Einfluss der Distanz separat, unterschieden sich die BF unabhängig von der Tiefe des Zielkorridors signifikant mit steigender Distanz zwischen den Passspielern. Demnach begingen die Vpn mehr Fehler, je weiter sie passen mussten.

8.3.3 Diskussion

Ziel des Experiments 9 war die abschließende Betrachtung der Koordinationsmuster zweier Partner beim Basketballpass während der systematischen Variation der dritten Raumdimension „Tiefe“. Die systematische Variation der experimentellen Randbedingungen der Aufgabe ergab, dass die Ausführungsgeschwindigkeiten auch in diesem letzten Experiment durch die experimentellen Randbedingungen der Aufgabe bestimmt werden und sich über das Fitts'sche Gesetz quantitativ abbilden lassen. Damit wird die *Nullhypothese 3* verworfen und die *Alternativhypothese 3* angenommen. Bildet man die Aufgabenanforderungen der einzelnen Bedingungen über den Schwierigkeitsindex (Fitts, 1954) ab, dann zeigen sich in den BZ systematische Koordinationsmuster im Sinne des Fitts'schen Gesetzes, d.h. Vpn benötigen mit steigendem SI mehr Zeit für einen Pass. Die Determinationskoeffizienten (R^2)

der Regressionsanalysen bestätigen für beide Partner einen linearen Zusammenhang von BZ und SI mit hohen Aufklärungswerten der Varianz (jeweils > 30 %). Die Betrachtung der BF gibt weitere Evidenz für die Annahme, dass mit steigender Aufgabenschwierigkeit die Anzahl der BF exponentiell ansteigt (Guiard & Olafsdottir, 2011). Demnach fallen den Vpn Pässe aus kürzerer Distanz bzw. durch einen tieferen Korridor leichter (weniger Fehlpässe). Diese Befunde bestätigen die *Forschungshypothese 3.3*. Somit können die Erkenntnisse zum Fitts'schen Gesetz bisheriger Studien zur Koordination von Bewegungen innerhalb von EB (z.B. Fitts & Peterson, 1964; Klapp, 1975; Crossman & Goodeve, 1963/1983; Welford, 1960) auf die Koordination von Bewegungen innerhalb von PB erweitert und die Ergebnisse der Experimente 1 und 4 auf die sportspielspezifische Fertigkeit des Basketballpasses übertragen werden. Dieses Ergebnismuster wird zusätzlich durch die Analysen zum Einfluss der im Experiment manipulierten Faktoren *Distanz* und *Zielgröße* (als Tiefe des Passkorridors) bekräftigt. Danach wirkt sich jeder experimentelle Randfaktor systematisch auf die Koordination der Bewegungshandlungen aus. Wie mit Hilfe des Fitts'schen Gesetzes vorhergesagt, steigen die BZ jeweils mit größerer Distanz und kleinerem Passkorridor an. Die Befunde spiegeln somit die Randbedingungen des experimentellen Designs – wie in den vorangegangenen Experimenten – plausibel wider.

8.4 Diskussion – Experimentalreihe 3

Die Experimentalreihe 3 prüfte den Einfluss einzelner Raumdimensionen („Breite“, „Höhe“ und „Tiefe“) isoliert voneinander auf die Koordinationsmuster zweier Partner während einer *komplexen sportspielspezifischen Fertigkeit*. Hypothesenkonform lassen sich die Koordinationsmuster zweier Partner beim Lösen dieser Basketballpassaufgabe quantitativ über das Fitts'sche Gesetz abbilden. Dabei wirken sich die experimentellen Randbedingungen als Distanz zwischen den Passspielern und der jeweiligen Raumdimension (Experiment 7 = Breite; Experiment 8 = Höhe; Experiment 9 = Tiefe) plausibel auf die BZ und die BF aus. Die Ausführungsgeschwindigkeiten der Bewegungshandlungen der Vpn orientieren sich an der jeweiligen Schwierigkeit der Aufgabe (Fitts, 1954). Damit liefert die Experimentalreihe 3 weitere Evidenz dafür, dass sich emergente Koordinationsmuster auf Basis des Fitts'schen Gesetzes nicht nur in EB (Fitts & Peterson, 1964; Klapp, 1975; Crossman & Goodeve, 1963/1983; Welford, 1960) sondern auch in PB (z.B. Experimentalreihe 1 und 2, sowie Mottet et al., 2001) bilden.

Für die BF findet sich ein exponentieller Zusammenhang zwischen den BF und dem SI der Aufgabe. Diese Befunde korrespondieren mit bisherigen Studien (z.B. der Experimentalreihe 2; Guiard & Olafsdottir, 2011), die diesen überproportionalen Anstieg der BF auf Limitationen des Bewegungsapparates zurückführten.

Bisherige Studien testeten nur die Koordinationsmuster in der Partnerinteraktion für eine Dimension (Meulenbroek et al., 2007 & Vesper et al., 2013: Raumdimension „Tiefe“; Fine & Amazeen, 2011: Raumdimension „Breite“). Einzig in der Studie von Mottet und Kollegen (2001) mussten die Vpn sowohl die Raumdimension „Breite“ als auch die „Höhe“ während der Bewegungsausführung berücksichtigen, da sie einen Lichtpunkt mit einem Zielfeld im zwei-dimensionalen Raum in Übereinstimmung bringen sollten. Die vorliegende Experimentalreihe 3 prüft erstmalig alle Raumdimensionen isoliert voneinander für eine komplexe Fertigkeit. Die sehr konsistenten Ergebnisse über alle drei Experimente (Experimente 7-9) hinweg legen nahe, dass jede Raumdimension die Bearbeitung der Aufgabe während der Ausführung der Bewegungshandlung aus informationstheoretischer Sicht in gleicher Weise zu limitieren scheint. Die Partner berücksichtigen demnach für die Koordination der Bewegungshandlungen die Randbedingungen der jeweiligen (Ab-)Spielsituation. Diese Ergebnisse bergen wichtige Implikationen für die Sportpraxis, z.B. für Trainerinstruktionen, Taktiktraining, Entscheidungsverhalten, etc. Diese Implikationen werden in der Gesamtdiskussion (Kapitel 10) ausführlich besprochen.

9 Gesamtbetrachtung der Experimentalreihen 1-3

Um der Frage nachzugehen, ob sich vergleichbare Koordinationsmuster für Aufgaben unterschiedlicher Komplexität nachweisen lassen (Forschungsfrage 3), werden abschließend die Ergebnisse der Experimente 1, 4 und 9 miteinander verglichen (siehe auch Leseleitfaden 2, aus der Einleitung). Diese drei Experimente ähneln sich in ihrem experimentellen Design und lassen deshalb eine vergleichende Analyse der Ergebnisse zu.

9.1.1 Methode

Zur vergleichenden Analyse wurde ausschließlich die BZ als abhängige Variable herangezogen, da die BF in den einzelnen Experimenten (Experiment 1, 4 und 9) unterschiedlicher Natur waren (Fehler 1. Art vs. Fehler 2. Art) bzw. in Experiment 1 durch den Aufgabencharakter nicht operationalisiert werden konnten. Zur statistischen Prüfung fand ein s.g. „Omnibus-Test“ Verwendung (Bortz & Schuster, 2010). Dieser Test ermöglicht es, verschiedene Experimente global über eine gemeinsame Variable miteinander zu vergleichen. Der Faktor *Schwierigkeitsindex* unter Berücksichtigung der Kombination von *Distanz* und *Zielgröße* ging in eine ein-faktorielle Varianzanalyse mit Messwertwiederholung mit den Zwischensubjektfaktoren *Partner* (P1 vs. P2) und *Komplexität* (Experiment 1 vs. 4 vs. 9) ein. Zusätzlich konnten die Koeffizienten der Steigung der Regressionsgeraden und der jeweilige Achsenabschnitt als Schnittpunkt mit der Ordinate bei einer hypothetischen Schwierigkeit von Null mittels einer univariaten Varianzanalyse verglichen werden (vgl. Lorch & Myers, 1990, Methode 3, Statistik auf Basis der Koeffizienten).

9.1.2 Ergebnisse

Die Varianzanalyse zeigte einen signifikanten Haupteffekt für den Faktor *Schwierigkeitsindex* ($F(3.45, 558.04) = 308.267$; $p < .01$; $\eta_p^2 = .656$). Demnach wurden die BZ mit steigender Aufgabenschwierigkeit länger (SI 1 = 980; SI 2 = 1085; SI 3 = 1276; SI 4 = 1232; SI 5 = 1394; SI 6 = 1422; SI 7 = 1605). Der Zwischensubjektfaktor *Partner* wurde hingegen nicht signifikant ($F(1, 162) = 3.197$; $p > .01$; $\eta_p^2 = .019$), d.h. dass die Partner (P1 vs. P2) über die Experimente hinweg im Mittel gleich schnell agierten ($M_{P1} = 1257$ ms; $M_{P2} = 1313$ ms). Der Zwischensubjektfaktor *Komplexität* wirkte sich systematisch auf die BZ aus ($F(2, 162) = 125.349$; $p < .001$; $\eta_p^2 = .607$), allerdings interagierten die Faktoren *Schwierigkeitsindex* und *Komplexität* miteinander ($F(6.89, 558.04) = 47.488$; $p < .001$; $\eta_p^2 = .370$). Demnach wirkte sich die Aufgabenschwierigkeit nicht in jedem Experiment gleichermaßen auf die BZ aus. Die graphische Darstellung in *Abbildung 65* verdeutlicht, dass sich der SI in Experiment 4 deutlich stärker auf die BZ auswirkte als in den Experimenten 1 und 9.

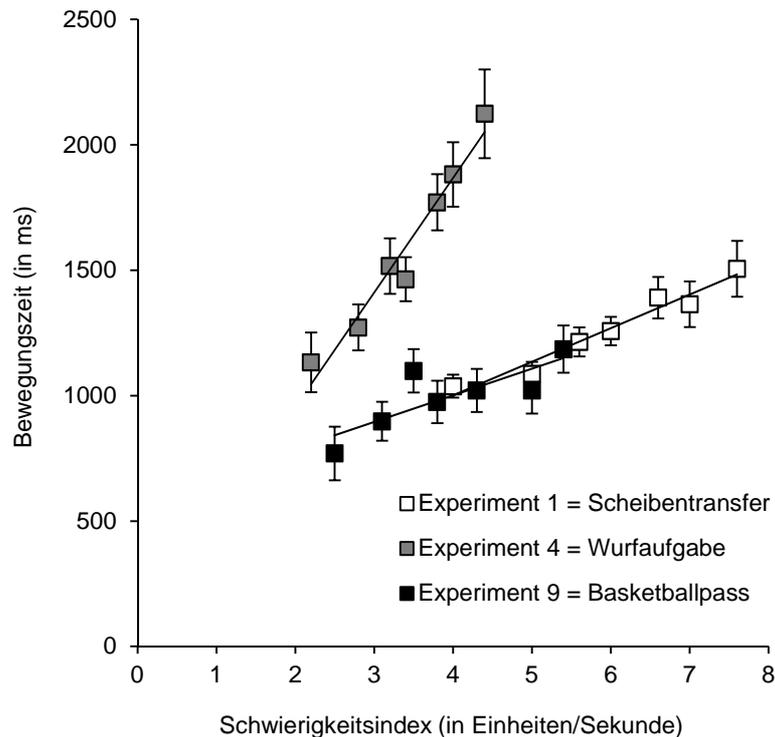


Abbildung 65: Graphische Darstellung der Bewegungszeiten (in ms) der Experimente 1, 4 und 9 in Abhängigkeit vom Schwierigkeitsindex (in Einheiten/Sekunde). Zur Berechnung der Regressionsgerade wurden die BZ über beide Partner (P1 vs. P2) kollabiert. Konfidenzintervalle geben die jeweilige Streuung der Daten an.

Dieser Befund wird durch die Ergebnisse der univariaten Varianzanalyse der Steigung der Regressionsgeraden untermauert: Hier ergab sich ein signifikanter Unterschied in den Steigungen zwischen Experiment 1 und 4 sowie 4 und 9 (beide $p < .001$), jedoch nicht zwischen Experiment 1 und 9 ($p = .888$). Demnach fiel der Anstieg der BZ in Experiment 4 ($M = 457$ ms) höher aus als in Experiment 1 ($M = 134$ ms) und in Experiment 9 ($M = 106$ ms). Analog umgekehrt ergab sich ein signifikant niedrigerer Schnittpunkt mit der Ordinate ($p < .001$) für Experiment 4 ($M = 41$ ms) als für Experiment 1 ($M = 467$ ms) und Experiment 9 ($M = 576$ ms). Die Achsenabschnitte zwischen Experiment 1 und 9 unterschieden sich hingegen nicht signifikant voneinander ($p = .398$).

9.1.3 Diskussion

Steigende Aufgabenschwierigkeiten führten in jedem der drei Experimente zu langsameren BZ. Dies gilt sowohl für *einfache geführte Objektmanipulationen* („Scheibentransfer“), für *Objektmanipulationen mittlerer Komplexität* („Wurfaufgabe“), in der die Trajektorie der Bälle nach dem Verlassen der Hand nicht mehr korrigiert werden konnte, als auch für eine *komplexe sportspielspezifische Fertigkeit* („Basketballpass“), in der die Partner in direkter Interaktion (über den Basketball) stehen. Die *Nullhypothese 4* wird daher beibehalten und die *Alternativhypothese 4* zurückgewiesen.

Die Unterschiede zwischen Experiment 1 und 4 sowie zwischen 4 und 9 äußerten sich in einer stärkeren Reduktion der Bewegungsgeschwindigkeit in Experiment 4 bei einer Erhöhung des SI's um eine Einheit. Diese Unterschiede deuten daraufhin, dass die Aufgabekategorisierung in „kleinräumige“ vs. „großräumige“ Bewegungshandlungen die Komplexität der Aufgabe hier nicht adäquat widerspiegelt. Es scheint, als ob die Bewegungsausführungen in der geführten Objektmanipulation („Scheibentransferaufgabe“) und der sportspielspezifischen Fertigkeit („Basketballpassaufgabe“) leichter zu kontrollieren gewesen sind als bei der ungeführten Objektmanipulation („Wurfaufgabe“). Nach Bernstein (1967) liegt das Problem der (exakten) Ausführung einer willkürlichen Bewegung in der Kontrolle der *Freiheitsgerade* (df) des Bewegungsapparates. Je mehr Freiheitsgrade variiert werden können, desto schwerer ist die Bewegung zu koordinieren (*engl.* „degrees of freedom problem“; Bernstein, 1967). Deshalb ist der größere Anstieg der BZ in Experiment 4 im Vergleich zu Experiment 1 aufgrund der Steigerung der Aufgabenkomplexität von einer einfachen Objektmanipulation zu einer Objektmanipulation mittlerer Komplexität gut nachvollziehbar. In diesem Zusammenhang ist es aber auch möglich, dass die Freiheitsgrade in der Wurfaufgabe in Experiment 4 schwerer zu kontrollieren waren als in der Basketballpassaufgabe in Experiment 9. Dies mag an der beidhändigen Ausführung des Basketballpasses liegen, welche die Bewegung mehr zu stabilisieren scheint. Dadurch können Basketballpässe unter höherer Schwierigkeit schneller gespielt werden als einhändige Würfe.

Auf Basis der Befunde zu Oszillationsdynamiken könnten die Bewegungshandlungen in den Experimenten 1 und 9 auch rhythmischer abgelaufen sein als die diskrete Wurfaufgabe in Experiment 4. Für einfache rhythmische Bewegungen konnte in zahlreichen Studien gezeigt werden, dass es zu einer Kopplung von Bewegungsphasen kommt, ohne dass die Vpn explizit Aufmerksamkeit darauf verwenden (Bernieri & Rosenthal, 1991; Oullier et al., 2008; Schmidt & Turvey, 1994). Unter Umständen hat eine solche Kopplung der Bewegungsphasen die Ausführung der Bewegungshandlung beider Partner gefördert (siehe auch Haken et al., 1985).

Abschließend bleibt jedoch festzuhalten, dass das Fitts'sche Gesetz seine Gültigkeit über alle Experimente hinweg behielt und der Geschwindigkeits-Genauigkeits-Ausgleich für Aufgaben unterschiedlicher Komplexität wirksam wurde, wenn auch in unterschiedlichem Ausmaß.

10 Diskussion

Die vorliegende Arbeit untersuchte die Gültigkeit des Fitts'schen Gesetzes bei der Bearbeitung kooperativer Aufgaben. Dazu sollten Versuchspaare in drei Experimentalreihen gemeinsam *einfache Objektmanipulationen* (eine Scheibentransferaufgabe in Experimentalreihe 1, Experiment 1-3), *Objektmanipulationen mittlerer Komplexität* (eine Wurf Aufgabe in Experimentalreihe 2, Experiment 4-6) und eine *komplexe sportspielspezifische Fertigkeit* (eine Basketballpassaufgabe in Experimentalreihe 3, Experiment 7-9) durchführen. Erfasst wurden dabei die Bewegungszeiten für einen vollen Bewegungszyklus und der Bewegungsfehler während eines Durchgangs. Durch die systematische Manipulation der experimentellen Randbedingungen (Distanz und Zielgröße) ergaben unterschiedlich schwere Aufgaben, die sich auf Basis des Fitts'schen Gesetzes (Fitts, 1954) über den Schwierigkeitsindex (in Einheiten/Sekunde) operationalisieren ließen.

Das **erste Ziel** war die Beantwortung der Frage, ob Versuchspaare einen Kompromiss aus Bewegungsgeschwindigkeit und Bewegungsgenauigkeit nutzen, um ihre Bewegungshandlungen beim wechselseitigen Lösen der Aufgabe an die Schwierigkeit der jeweiligen Aufgabe anzupassen. In diesem Fall sollten sich *emergente Koordinationsmuster* im Sinne des Fitts'schen Gesetzes nachweisen lassen. Die konsistenten Ergebnisse der neun Experimente belegen (siehe *Anhang 23* und *Anhang 24*), dass sich die Koordinationsmuster zweier Partner, sowohl beim wechselseitigen Transfer von Scheiben (einfache Objektmanipulationsaufgabe), beim wechselseitigen Werfen von Bällen (Objektmanipulation mittlerer Komplexität) als auch beim hin-und-her Passen eines Basketballes (komplexen sportspielspezifischen Fertigkeit) durch die experimentellen Randbedingungen bestimmen und quantitativ über das Fitts'sche Gesetz abbilden lassen. Dabei ist es besonders interessant, dass es keine prinzipiellen Unterschiede in den Koordinationsmustern der Vpn zwischen EB und PB gibt (Experiment 2 und 5). Lediglich die allgemeinen Bewegungszeiten sind in der PB langsamer als in der EB.

Langsamere Bewegungszeiten könnten sich aus der Tatsache ergeben haben, dass die Partner innerhalb von kooperativen Bedingungen handelten. Die Vpn waren angehalten im Wechsel zu agieren und die Instruktion vermied es, der Aufgabe einen kompetitiven Charakter zu verleihen. Es bleibt offen, ob eine andere Instruktion zu Effekten der sozialen Fazilitation (d.h. zu schnellen BZ in der PB) geführt hätte (Triplett, 1998). Die Studie von Georgiou und Kollegen (Georgiou et al., 2007) konnte in diesem Zusammenhang eine schnellere Bearbeitung der Aufgabe in kompetitiven Kontexten nachweisen. Auf der anderen Seite konnte bereits Drill (1933) zeigen, dass Vpn die zeitliche Koordination ihrer Handlungen innerhalb von kooperativen Bedingungen besser abstimmen (Drill, 1933; zitiert aus Loosch, 1993).

Dieser Aspekt wird für die vorliegenden Ergebnisse noch einmal weiter unten für das zweite Ziel der Arbeit diskutiert.

Insgesamt untermauern diese Befunde die Robustheit (Schmidt und Lee, 2005) des Fitts'schen Gesetzes nicht nur für EB (Fitts & Peterson, 1964; Klapp, 1975; Crossman & Goodeve, 1983; Welford, 1960), sondern geben weitere Evidenz für dessen Gültigkeit in PB (Mottet et al., 2001; Vesper et al., 2013a). Dabei wird das Fitts'sche Gesetz beim Lösen von Aufgaben unterschiedlicher Komplexität wirksam, d.h. es konnten gleiche Koordinationsmuster für die Scheibentransfer-, Wurf- und Basketballpassaufgabe nachgewiesen werden. Gleichzeitig widersprechen diese Ergebnisse dem Befund von Fine und Amazeen (2011), dass das Fitts'sche Gesetz in kooperativen Situationen verletzt wird.

Durch die Variation des Handlungskontextes innerhalb von EB und PB (Experiment 2 und 5) wurde dem **zweiten Ziel** dieser Arbeit nachgegangen. Hier stellte sich zunächst die Frage, ob die gemeinsame Bearbeitung der Aufgabe mit einem Ko-Akteur zu *systematischen Interaktionsmustern* zwischen den Partnern führt. In diesem Zusammenhang betonte Kunde (2006), dass die gleichzeitige Bearbeitung zweier Aufgaben durch die Kombinierbarkeit von Handlungs- und Effektrepräsentationen beeinflusst wird. Frühe Studien zur Koordination von bi-manuellen Bewegungen konnten für Fitts'sche Aufgaben nachweisen, dass sich jeweils die Hand mit den geringeren Aufgabenanforderungen (niedriger SI) an die Hand mit den höheren Anforderungen (hoher SI) anpasst (Kelso et al., 1979, 1983). Fine und Amazeen (2011) konnten dieses Interaktionsmuster auch für inter-personelle Bedingungen replizieren. Dabei orientierte sich ebenfalls der Partner mit der leichteren Aufgabe (niedriger SI) am Partner mit der schwereren Aufgabe (hoher SI). Die Autoren sehen darin eine Verletzung des Fitts'schen Gesetzes.

Auch in den vorliegenden Experimenten finden sich systematische Interaktionseffekte zwischen den Partnern. Dies geht zunächst aus den Experimenten 2 und 5 hervor, in denen die Vpn in den PB insgesamt langsamer agierten als in den EB. Das ist ein Hinweis darauf, dass sich die Partner in der PB im Gegensatz zur EB während der Ausführung der Bewegungshandlungen für Aufgaben mit gleicher Aufgabenanforderung aufeinander abstimmen. Längere Bewegungszeiten spiegeln kognitive Kosten wieder, die während dieser Abstimmungsprozesse entstehen. Gerichtete Interaktionskosten entstehen während der Bearbeitung von Aufgaben mit unterschiedlicher Schwierigkeitsanforderung (Experimente 3 und 6). Auch hier konnte in Übereinstimmung mit Fine und Amazeen (2011) und Vesper et al. (2013a) beobachtet werden, dass sich der Partner mit der leichteren Aufgabenschwierigkeit an den Partner mit der höheren Aufgabenschwierigkeit anpasste.

Vor dem Hintergrund der Annahme von Sebanz et al. (2006a), dass sich zwei Partner im Interaktionskontext Repräsentationen einer Handlung teilen (d.h. Ko-Repräsentationen bilden), müssen die Befunde der Experimente 3 und 6 nicht zwingend als eine Verletzung

des Fitts'schen Gesetzes interpretiert werden. Vielmehr ist es vorstellbar, dass das Fitts'sche Gesetz für den Partner mit der leichteren Aufgabe *vermittelt über die Ko-Repräsentation* der Partneraufgabe mit der höheren Schwierigkeit wirksam wird. Während Erklärungen auf Basis der neuromuskulären Organisation des menschlichen Bewegungsapparates noch für die Befunde zur bi-manuellen Koordination herangezogen werden konnten (für einen Überblick siehe Swinnen, 2002; Swinnen & Wenderoth, 2004), sprechen die vorliegenden Ergebnisse dafür, dass systematische Interaktionseffekte auf der Ebene kognitiver Repräsentationen auftreten. Dabei kann sich der Partner mit der leichteren Aufgabe an die experimentellen Randbedingungen des Partners mit der schwereren Aufgabe anpassen, wohingegen dies für den anderen Partner nicht möglich ist, ohne dass er den vorab definierten Fehlertoleranzbereich verlässt. Eine Voraussetzung dafür ist allerdings, dass sich der Partner auch aktiv mit an der Bearbeitung der Aufgabe beteiligt (z.B. Böckler et al., 2011).

Weiterhin ist bislang nicht geklärt, was die Interaktionspartner tatsächlich mitrepräsentieren. Ob es die Aufgabe in einem abstrakten Sinne, die Bewegungstrajektorie des Partners, die Handlungseffekte, oder die experimentellen Randbedingungen sind, oder auch eine Kombination aus allem, steht weiter offen. Sicher ist bisher nur, dass es beim Lösen der kooperativen Aufgabe zu einer Anpassung der Koordinationsmuster zweier Partner kommt, d.h. dass Interaktionspartner die Aufgabenanforderungen des Partners mitrepräsentieren (siehe auch Atmaca et al. 2008; Sebanz et al., 2006a, 2007; Newman-Norlund et al., 2008). Den Vpn standen in allen drei Experimentalreihen Informationen über die jeweilige Bewegungs- (Experimentalreihe 1; Scheibe) bzw. Flugtrajektorie (Experimentalreihe 2 und 3; Ball) des Objekts zur Verfügung, welche sie für die Planung und Ausführung ihrer eigenen Handlung verwenden konnten. Korrespondierend zu den Befunden von Meulenbroek und Kollegen (2007) ist es möglich, dass die Probanden die Beobachtung der Bewegungs- bzw. Flugtrajektorie des Objekts des Partners als zusätzliche Informationsquelle für die eigene (Neu-)Programmierung der Bewegung nutzten und dadurch gerichtete Interaktionseffekte zwischen den Partnern entstanden. Es wurden dabei also Informationen über die jeweiligen Bewegungshandlungen (z.B. Bewegungstrajektorien) ko-repräsentiert.

Argumentiert man hingegen auf Basis der *Theory of event coding* (Hommel et al., 2001; Hommel & Elsner, 2001, 2004), nach denen Handlungen über ihre distalen Effekte, die sie in der Umwelt produzieren, repräsentiert werden, liegt es nahe, dass die Probanden zumindest unter anderem den jeweiligen Effekt der Handlung des Ko-Akteurs mitrepräsentieren. Somit können sie auf Grundlage ihrer eigenen motorischen Handlungserfahrung auf den Effekt, den die Handlung des Ko-Akteurs zur Folge hat, schließen. In der Scheibentransferaufgabe können sie dadurch simulieren, wann ihr Partner seine Scheibe ablegen wird, um direkt darauf folgend die eigene Scheibe abzulegen. Auch in der Wurf Aufgabe aus Experimentalreihe 2 musste das Bewegungsende der Partnerhandlung zusätzlich vorweggenom-

men werden. Berücksichtigt man die Befunde von Kunde und Kollegen (Kunde, 2006; Weigelt & Kunde, 2005), nach denen die Koordination zweier Bewegungshandlungen die Antizipation von Effektrepräsentationen beinhaltet, ist anzunehmen, dass die Interaktionspartner beim Lösen der kooperativen Aufgaben in den vorliegenden Experimenten ebenfalls den Effekt ihrer eigenen Handlung und den des Partners repräsentierten bzw. mitrepräsentierten. In der Basketballpassaufgabe interagierten die Vpn direkt über den Basketball miteinander. Hier hatte die eigene Bewegungshandlung einen direkten Effekt auf den Interaktionspartner (nämlich, ob dieser den Basketball fangen kann oder nicht). Ein Teil der Ko-Repräsentation zweier Partner scheint damit zumindest das in der Umwelt produzierte Handlungsergebnis der kooperativen Aufgabe zu sein.

Das **dritte Ziel** bestand in der Betrachtung entstehender Koordinations- und Interaktionsmuster über Aufgaben unterschiedlicher Komplexität hinweg. Dabei stand die abschließende Frage offen, ob sich die Effekte des Fitts'schen Gesetzes von kleinräumigen (z.B. Scheibentransferaufgabe; vgl. Fitts, 1954, Experiment 2) auf großräumige Bewegungshandlungen (z.B. Basketballpassaufgabe; Experimentalreihe 3 in der vorliegenden Arbeit) generalisieren lassen. Dazu führten Versuchspaare gemeinsam eine komplexe sportspielspezifische Fertigkeit aus. Das Ziel war es, möglichst viele erfolgreiche Pässe innerhalb der vorgegebenen Zeit zu realisieren, ohne den Fehlertoleranzbereich zu überschreiten. Dabei entfaltete jede der drei Raumdimensionen („Breite“, „Höhe“ und „Tiefe“) seine Wirkung auf die Bewegungszeiten und die Bewegungsfehler. Die meisten Studien variierten i.d.R. nur eine der Raumdimensionen systematisch (Buck, 1986; Fitts, 1954; Juras et al., 2009; Klapp, 1975). Die vorliegende Experimentalreihe 3 prüfte erstmalig alle Raumdimensionen isoliert voneinander für eine komplexe Fertigkeit.

Darüber hinaus belegen die sehr konsistenten Ergebnisse über alle Experimente der drei Experimentalreihen hinweg, dass es keinen Unterschied für den spezifischen Einfluss der Aufgabenschwierigkeit auf die Koordinationsmuster der beiden Partner abhängig von der Komplexität der Aufgabe gibt. Vor dem Hintergrund der Kategorisierung Schmidt und Lee's (2005) gilt das Fitts'sche Gesetz demnach sowohl für rhythmische Pendelbewegungen (hier die Scheibentransferaufgabe) – ähnlich zu der Tipp-Aufgabe von Fitts (1954) oder Fine und Amazeen (2011) – als auch für weitestgehend diskrete Bewegungen, die ein konkretes Ziel verfolgen (hier die Wurf aufgabe) – ähnlich der Zielaufgabe von Mottet et al. (2001) oder den strukturähnlichen Dartwürfen von Kerr & Langgolf (1977) und Etnyre (1998). Experimentalreihe 3 (hier die Basketballpassaufgabe) korrespondiert dieser Kategorisierung nach am ehesten mit der Sprungaufgabe von Vesper und Kollegen (2013), in der die sukzessiven Schlussprüngen ebenfalls eine Ganzkörperbewegung darstellten, auch wenn die Basketballpassaufgabe in der Durchführung eine stärker rhythmische Struktur vorweist. Demnach

lassen sich die Effekte des Fitts'schen Gesetzes von kleinräumigen auf großräumige Bewegungshandlungen generalisieren.

Die deskriptive (Omnibus-)Analyse der Ergebnisse der Experimente 1, 4 und 9 zeigte, dass sich die Komplexität der Aufgabe nicht wie erwartet in generell längeren Bewegungszeiten in der komplexen Basketballwurfaufgabe widerspiegelt, sondern dass die Wurfaufgabe mittlerer Komplexität die langsamsten Bewegungshandlungen für höhere Schwierigkeitsindizes erforderte. Hier bietet sich eine andere Kategorisierung der Komplexität der Aufgabe an: Gegebenenfalls sind Bewegungsausführungen bei der geführten Objektmanipulation („Scheibentransferaufgabe“) und der beidhändigen sportspielspezifischen Fertigkeit („Basketballpassaufgabe“) leichter zu kontrollieren, als bei der ungeführten Objektmanipulation („Wurfaufgabe“) in der mehrere Freiheitsgrade (df) der Bewegung zu kontrollieren waren. Nach Bernstein (1967) liegt das Problem der (exakten) Ausführung einer beliebigen Bewegung in der Koordination und Kontrolle der zur Verfügung stehenden Freiheitsgrade. Je mehr Freiheitsgrade variiert werden können, desto schwerer ist die Bewegung zu kontrollieren (Bernstein, 1967).

Was bedeuten die Ergebnisse der vorliegenden Experimente nun für das Lösen von kooperativen Aufgaben aus informationsverarbeitungstheoretischer Sicht? Zunächst kann festgestellt werden, dass das Fitts'sche Gesetz von EB auf PB übertragen werden kann. Aufgrund dieser Tatsache kann angenommen werden, dass auch das gemeinsame Lösen kooperativer Aufgaben zweier Personen durch die Anzahl an Informationen eingeschränkt wird, die in einer bestimmten Zeiteinheit verarbeitet werden können. Somit eignen sich informationstheoretische Ansätze im Allgemeinen und das Fitts'sche Gesetz im Speziellen, um Interaktionen zwischen mehreren Personen in sozialen Kontexten (im Alltag und im Sport) zu untersuchen.

10.1 Gemeinsamkeiten und Unterschiede zu früheren Studien

Die verschiedenen kooperativen Aufgaben der vorliegenden Experimentalreihen unterschieden sich teilweise stark von denen aus früheren Studien zum Fitts'schen Gesetz im Interaktionskontext. Diese Unterschiede, aber auch Gemeinsamkeiten zu früheren Studien, werden im Folgenden diskutiert. Dabei wird auf die Rolle (1) des *zu erreichenden Handlungsziels*, (2) die *Position der Interaktionspartner zueinander*, (3) den *Einfluss der jeweiligen Einzel- und Paarbedingung* und (4) der Konfrontation der Vpn mit *gleichen oder unterschiedlichen Aufgabenschwierigkeiten* eingegangen.

Ein Unterschied lag in dem *zu erreichenden Handlungsziel* der Paare. In der Scheibentransferaufgabe in Experimentalreihe 1 und der Wurfaufgabe in Experimentalreihe 2 führten die Vpn die Objektmanipulation auf ein gemeinsames (Handlungs-)Ziel hin aus (ein Ziel-

stab bzw. eine Kiste). Allerdings konnten die Interaktionspartner ihr Handlungsziel auch ohne den jeweiligen Partner erreichen. Damit unterschied sich das Handlungsziel von den Studien von Fine und Amazeen (2011) und Vesper und Kollegen (2013a) in denen zwei separate Bewegungen (in der bi-manuellen/pedalen und der inter-personellen Bedingung) zu zwei unterschiedlichen Zielen erfolgten. Die Studie von Mottet und Kollegen (2001) verlangte es von den Vpn, einen Lichtpunkt mit einem Zielbereich in Übereinstimmung zu bringen. In der PB, in der ein Partner den Lichtpunkt und der andere Partner das Zielfeld steuerte, konnte die Aufgabe also theoretisch nicht alleine gelöst werden. Allerdings hätte es hier zur Lösung der Aufgabe auch ausgereicht, wenn ein Partner keine Bewegung ausführte und stattdessen den Lichtpunkt bzw. den Zielbereich stabil hielt, um auf den Partner zu warten. Die Versuchsaufgabe von Meulenbroek und Kollegen (2007) hätte hingegen nicht alleine gelöst werden können: Ohne das Angeben des Objekts durch den Steller, wäre kein Annehmen und neu Platzieren des Objekts durch den Nehmer möglich gewesen. Die Aufgabe ähnelt demnach am ehesten den Basketballpassaufgaben in Experimentalreihe 3, in der jeder Spieler gleichzeitig abhängig vom Rückpass war.

Nicht zu vernachlässigen ist auch die *Position der Interaktionspartner zueinander*. Wohingegen die Interaktionspartner in den Studien von Vesper und Kollegen (2013a) und Mottet und Kollegen (2001) nebeneinander standen, saßen sie sich in den Studien von Fine und Amazeen (2011) und Meulenbroek et al. (2001) gegenüber. Die veränderte Position der Partner zueinander könnte einen Einfluss auf die Koordinationsmuster gehabt haben. In den Experimenten von Mechsner et al. (2004) und Oullier et al. (2008) in denen es zu spontanen Synchronisation der Fingerbewegungen kam, befand sich die Bewegungshandlung des Ko-Akteurs immer im Blickfeld der Vpn. Auch die Schaukelstuhl-Studien der Gruppe um Richardson (2005, 2007) legen die Annahme nahe, dass sich Vpn sehen müssen, damit phasengekoppelte Bewegungsmuster entstehen. In den vorliegenden drei Experimentalreihen wurde die *Position der Interaktionspartner zueinander* daher bewusst von Angesicht-zu-Angesicht gewählt, da ohne die visuelle Rückmeldung der Bewegung des Interaktionspartners keine Anpassung der Bewegungsphasen geschieht:

“If the two people began their movements out of phase and increased limb frequency simultaneously at the same rate without watching each other, then no transition occurred. The phase transition depended on looking” (Schmidt & Turvey, 1994, S.370).

Eine weitere Frage stellt der *Einfluss der jeweiligen Einzel- und Paarbedingung* dar. Der Vergleich zwischen EB und PB beim Lösen von Aufgaben gleicher Schwierigkeit ermöglicht die Betrachtung systematischer Interaktionsmuster zwischen beiden Partnern (s.g. Partnerinteraktionseffekte). Dies äußerte sich bei Fine und Amazeen (2011) und Mottet und Kol-

legen (2001) in selektiven Interaktionskosten: Danach agierten die Vpn in PB langsamer (Bewegungszeiten) und ungenauer (Anzahl der Fehler) gegenüber den EB. In der Studie von Meulenbroek und Kollegen (2007) führten die Vpn nur eine PB durch, daher konnten keine selektiven Interaktionskosten untersucht werden. Die Sprungaufgabe von Vesper und Kollegen (2013a) folgte dem gleichen Versuchsaufbau der vorliegenden Experimenten 2 und 5, in denen erst ein Partner die Aufgabe in der EB und dann in der PB und danach der andere Partner die Aufgabe wiederum in der EB ausführte. Bei Vesper und Kollegen (2013a) wurden Sprünge in den EB darüber hinaus mit einem (uni-pedal) oder mit beiden Beinen (bi-pedal) vollzogen. Auch hier zeigte sich – zumindest für die kürzeren Distanzen –, dass die Vpn in den uni-pedalen EB schneller sprangen als in der uni-pedalen PB. In den Experimenten 2 und 5 konnten hypothesenkonform schnellere BZ und weniger BF in der EB im Vergleich zur PB nachgewiesen werden. Diese systematischen Interaktionsmuster fanden sich sowohl für *einfache geführte Objektmanipulationen* als auch für *Objektmanipulation mittlerer Komplexität* zwischen beiden Partnern. In Experiment 5 wurden diese selektiven Interaktionskosten zusätzlich durch die Schwierigkeit der Aufgabe moduliert, sodass mit zunehmender Schwierigkeit der Einfluss der Bedingung (EB vs. PB) ansteigt. Dieser Befund legt die Annahme nahe, dass beide Anpassungsprozesse – die systematische Anpassung der Koordinationsmuster an die Schwierigkeit der Aufgabe und der selektiven Interaktionskosten in der PB im Vergleich zur EB – kognitive Ressourcen benötigte (siehe auch Fitts & Posner, 1964).

Einen zusätzlichen Aspekt stellt die Konfrontation der Vpn mit *gleichen oder unterschiedlichen Aufgabenschwierigkeiten* dar. Bei Mottet und Kollegen (2001) war die Aufgabenschwierigkeit für beide Partner gleich, da sie ihre Bewegungen auf ein gemeinsames Ziel hin ausführten. In den Studien von Fine und Amazeen (2011) und Vesper und Kollegen (2013a) wurden die individuellen experimentellen Randbedingungen dahingehend variiert, dass auch unterschiedlich schwere Aufgaben innerhalb eines Versuchspaars absolviert werden mussten, d.h. dass ein Partner eine schwerere Aufgabe hatte als der andere Partner. In der Studie von Meulenbroek und Kollegen (2007) konnte die Größe des Zielfeldes des Stellers von dem des Nehmers abweichen. Über diese Manipulation im experimentellen Design ließen sich gerichtete Interaktionseffekte durch den Vergleich beider Partner beim Lösen von Aufgaben unterschiedlicher Schwierigkeit untersuchen. Dabei kam es in den drei letztgenannten Studien zu einer Anpassung der Interaktionsmuster bei der Ausführung von Bewegungen zu jeweils unterschiedlichen Aufgabenanforderungen, indem sich die Bewegungsausführung der leichteren Aufgabe an den Anforderungen der schwereren Aufgabe orientierte.

In den vorliegenden Experimenten 3 und 6 wurden die Vpn ebenfalls mit gleichen oder unterschiedlich schweren Aufgaben konfrontiert: Die Ergebnisse belegen, dass sich auch hier der Partner mit der leichteren Aufgabe an den Partner, dessen Randbedingungen der

Aufgabe auf Basis des Fitts'schen Gesetz als schwieriger einzustufen waren, anpasste. Interessanterweise galt dies sowohl, wenn Vpn Bewegungshandlungen auf ein gemeinsames Ziel hin ausführten (Experiment 3; Scheibentransferaufgabe) als auch wenn ihnen zwei voneinander unabhängige Ziele (Experiment 6; Wurfaufgabe) zur Verfügung standen. Es gilt dabei jedoch auch zu berücksichtigen, dass in den Experimentalreihen 1 und 2 durch die Instruktion ein wechselseitiges Handeln der Ko-Akteure vorgegeben wurde. Dieser und weitere Kritikpunkte an den Experimenten 1-9 werden im folgenden Kapitel diskutiert.

10.2 Kritik an der vorliegenden Arbeit

Einen Kritikpunkt könnte die in den vorliegenden Experimenten verwendete Instruktion (*Anhang 4*) betreffen. Diesbezüglich wurden die Vpn in Experimentalreihe 1 („Scheibentransferaufgabe“) und Experimentalreihe 2 („Wurfaufgabe“) instruiert die Aufgaben jeweils im Wechsel durchzuführen. Damit könnten gewisse koordinative Tendenzen induziert bzw. vorgebahnt worden sein. Jedoch hätte die Aufgabe auch prinzipiell anders gelöst werden können: Zumindest in den Experimentalreihen 1 und 2 hätten die Vpn die Aufgabe auch ohne ein erkennbares Koordinationsmuster und auch ohne jegliche Interaktionseffekte lösen können. So hätte sich der Partner mit der leichteren Aufgabe nicht anpassen bzw. abstimmen müssen. Die Aufgaben hätten trotz Instruktion auch unabhängig vom Partner bewältigt werden können, da die Vpn nie dazu aufgefordert wurden, sich zu koordinieren, wie es z.B. bei Vesper et al. (2013a) der Fall war. Dort wurden die Vpn direkt darauf instruiert „gemeinsam zu landen“. Selektive Interaktionseffekte können somit nicht nur auf die Instruktion zurückgeführt, sondern auch durch systematische Anpassungseffekte der Partner durch Ko-Repräsentationen (z.B. Sebanz et al., 2003, 2005) und der Kopplung von Bewegungsphasen (z.B. Bernieri & Rosenthal, 1991; Oullier et al., 2008; Schmidt & Turvey, 1994) erklärt werden.

Darüber hinaus wurden die Vpn in den vorliegenden Experimenten hinsichtlich der erlaubten Fehler eingeschränkt. Den Paaren war es in den Experimentalreihen 2 und 3 erlaubt maximal drei ungenaue Bewegungen (Fehler 1. Art) auszuführen. Damit könnte der (individuell gewählte) Geschwindigkeits-Genauigkeits-Ausgleich der Probanden manipuliert worden sein. Sobald sie die Anzahl von drei Fehlern überschritten, wurde der Durchgang wiederholt. So sollte die Motivation der Vpn konstant hoch gehalten und ein „Ausprobieren“ verhindert werden. Auch Juras und Kollegen (2009) erlaubten ihren Vpn in ihrer Sprungaufgabe maximal dreimal am Ziel vorbeizuspringen. Der jeweilige Durchgang (von insgesamt 15 Sprüngen) musste komplett wiederholt werden, wenn diese Limitation überschritten wurde. Darüber hinaus könnte in Folgestudien ein differenzierteres Maß für die Fehler (z.B. die radiale Abweichung vom Ziel) herangezogen werden, um die (diskreten) Fehlwürfe (und deren

exponentiellen Anstieg) besser zu analysieren.

Einen weiteren Kritikpunkt stellt die Videoqualität der *posthoc* Analysen dar. Die nachträgliche Analyse der Koordinationsmuster wurde mit einer zeitlichen Auflösung von 50 Hz durchgeführt. Inwieweit hier eine differenzierte Betrachtung (< 20 ms Schritte) zu anderen Koordinations- und Interaktionsmustern geführt hätte, ist offen. Andere Studien, in denen Koordinationsmuster über das Fitts'sche Gesetz beschrieben worden sind, nutzten ähnliche Bildraten (z.B. Annett et al, 1958 oder Guiard, 1993). Eine differenzierte Betrachtung der BZ (z.B. Differenzierung in Planungs- und Ausführungsphase; vgl. Boyle & Shea, 2011) könnte zeigen, welche Prozesse der Bewegungshandlung durch das Fitts'sche Gesetz bestimmt werden bzw. wo gerichtete Interaktionseffekte auftreten. Die Ergebnisse von Vesper und Kollegen (2013a) deuten daraufhin, dass Vpn bereits bei der Bewegungsplanung die experimentellen Randbedingungen des Partners berücksichtigen, da sie ihre Bewegungen später initiierten, wenn der Ko-Akteur eine größere Distanz als die Vpn selbst zu springen hatte. Zur systematischen Analyse von solchen Anpassungseffekten der (Teil-)Bewegungen beider Partner (etwa von Phasenkopplungen als inphasische vs. antiphase Sinuskurven; vgl. Haken, Kelso, & Bunz, 1985) bedarf es differenzierterer Auswertungstechniken (z.B. dreidimensionale Bewegungsverfolgungssysteme, wie *Optotrak* oder *ViconNexus*).

Um die Versuchsaufgaben über die drei Experimentalreihen noch vergleichbarer zu machen, hätte eine gleiche Spanne der SI's gewählt werden können. Der SI variierte zwischen den Experimenten (z.B. Experimentalreihe 1: 4,0-7,6 Einheiten/Sekunde vs. Experimentalreihe 2: 2,2-4,4 Einheiten/Sekunde), was eine nachträgliche Analyse komplizierter macht (siehe auch Kapitel 9). Gleiche SI's hätten abhängig von der Versuchsaufgabe auf der anderen Seite auch zu sehr einfachen und sehr schwierigen Kombinationen von Distanz und Zielgröße geführt, sodass bspw. Pässe aus vier Metern Distanz durch sehr kleine Korridore hätten gespielt werden müssen. Das hätte sich wiederum auf die Fehler ausgewirkt. Daher wurde in den vorliegenden Experimenten der umgekehrte Weg gewählt, d.h. es wurden Versuchsbedingungen generiert und anschließend der SI berechnet.

10.3 Ausblick auf weiterführende Studien

Zur Prüfung der o.g. Forschungsfragen zum spezifischen Einfluss der jeweiligen Aufgabenschwierigkeit auf die Koordinationsmuster zweier Partner und gerichteter Interaktionen bzw. systematischen Interaktionsmustern zwischen den Partnern (im Sinne von *joint action*), bot sich die wechselseitige Ausführung der Bewegungshandlungen (Instruktion) an. Dabei stellt sich die Frage, ob emergente Bewegungsmuster im Interaktionskontext bei einer alternativen (offeneren) Instruktion (z.B. das Erlauben von Überholvorgängen, dem Greifen mehrerer Scheiben gleichzeitig, dem Wechsel von Partner 1 und Partner 2, etc.) anders ausge-

fallen wären. Dabei wäre es möglich, dass Probanden „kreativere“ Lösungen wählen, z.B. dass ein Partner zuerst alle acht Scheiben stapelt, bevor der andere Partner mit seinen Scheiben nachzieht. Auch in der Studie von Richardson, Marsh und Baron (2007a) wurde es den Versuchspaaren komplett freigelassen (keine Angaben zur Transporttechnik, Reihenfolge, etc.), wie sie die verschiedenen langen Bretter vom Tisch aufnehmen und auf dem anderen Tisch aufstapeln. Vpn griffen unaufgefordert die kurzen Bretter einhändig und gingen ab einer bestimmten (Brett-)Länge zu einer zweihändigen Greifvariante über. Die längsten Bretter wurden zu zweit transportiert. Die Aufgabe selbst und die Fähigkeit des Partners scheinen also das (Koordinations-)Verhalten der Vpn stärker zu bestimmen als die Instruktion.

Wie in der Kritik angesprochen wurde den Interaktionspartnern durch die Instruktion in den vorliegenden Experimenten ggf. ein kooperatives Verhalten induziert. Inwieweit sich emergente Koordinationsmuster und gerichtete Interaktionseffekte ergeben, wenn die Vpn angehalten sind kompetitiv im Gegensatz zu kooperativ zu agieren, stellt eine weitere offene Frage dar. In Anlehnung an die Befunde zur *sozialen Fazilitation* (Triplett, 1898) könnten s.g. Wettkampfbedingungen dazu führen, dass die Vpn nur noch ihre eigenen Aufgabenanforderungen berücksichtigen, um die Aufgabe schnellstmöglich zu lösen (siehe auch Georgiou et al., 2007). Dies könnte sich in Aufgabenkonstellationen, in denen zwei Partner unterschiedlich schwere Aufgaben zu lösen haben, darin äußern, dass der Partner mit dem niedrigeren SI die Aufgabe löst, ohne sich an die Schwierigkeitsanforderungen der Aufgabe des anderen Partners anzupassen.

Um der Frage nachzugehen, welche Aspekte der Bewegungshandlung die Interaktionspartner beim Lösen einer kooperativen Aufgabe mitrepräsentieren, könnte den Vpn in Folgestudien systematisch Informationen über Aspekte der Bewegung oder des Ziels vor-enthalten werden. Ein etabliertes Verfahren ist die „spatial occlusion“-Technik, in der ausgewählte Bereiche einer Bewegung abgedeckt werden, sodass den Vpn Informationen über diese (räumlichen) Regionen nicht zur Informationsverarbeitung zur Verfügung stehen (vgl. Abernethy & Russel, 1987; Hagemann et al., 2006). Die Vpn könnten eine s.g. Shutter-Brille tragen, die sich immer dann schließt, während der Partner agiert. So können die Vpn die Bewegung des Partners nicht sehen, da diese „verdeckt“ ist. Oder man schließt die Brillen nur für bestimmte Abschnitte der Handlung (z.B. am Anfang oder am Ende). Dadurch könnten auch Scheinbewegungen induziert werden (wie auch Grosjean et al., 2007). Legt man den Fokus der Betrachtung darauf, aus welchen räumlichen Parametern die Vpn Informationen schöpfen, bieten sich Experimente zur Untersuchung von Blickbewegungen mittels *Eye-tracker* an. Außerdem könnte man auch blind auditive Rückmeldungen (z.B. Töne) geben und prüfen, ob sich die Vpn an der akustischen Rückmeldung orientieren, wenn ihnen keine visuelle Rückmeldung zur Verfügung stehen (siehe auch Studien zur s.g. Sonifikation; z.B. Effenberg, 2005).

Weitere Ansatzpunkte könnten sozialpsychologische Aspekte sein, wie sich beispielsweise der *Bekanntheitsgrad* der Interaktionspartner, d.h. wie gut sich die Vpn kennen auswirkt. Studien sprechen dafür, dass eigene Bewegungen besser erkannt werden als Bewegungen von Personen, die man kennt, und diese besser als Bewegungen fremder Personen (Knoblich & Flach, 2001; Loula et al., 2005). Auch andere Faktoren wie die *Rollenerwartungen* der Partner sollten von Interesse sein (z.B. welcher Partner übernimmt die Führung? Die größere, die ältere, die weibliche, die männliche, die sportlichere Person, etc.?).

Steht mir ein Experte oder Laie gegenüber? Gegebenenfalls lassen sich Experten weniger durch die experimentellen Rahmenbedingungen beeinflussen als Laien. Dies würde sich in den vorliegenden Experimenten eventuell durch eine geringere Steigung der Regressionsgeraden, niedrigeren Achsenabschnitten oder einem späteren Anstieg der BF äußern. Expertise im Sport zeichnet sich dadurch aus, dass mehr (relevante) Bewegungselemente besser und schneller wahrgenommen werden (z.B. Singer & Janelle, 1999; Williams & Davids, 1998). Ein Grund dafür ist, dass Experten weniger kognitive Ressourcen für die Ausführung einer Bewegung aufwenden müssen, da sie teilweise automatisiert ablaufen. Dafür bleiben informationsverarbeitende Kapazitäten frei, die dann für die Aufnahme sensorischer Informationen zur Verfügung stehen (Gruber & Lehmann, 2007). Es wäre für zukünftige Untersuchungen interessant zu beobachten, wie sich ein Experte mit einem anderen Experten im Vergleich zu einem Laien verhält und umgekehrt ein Laie mit einem anderen Laien im Vergleich zu einem Experten. Inwieweit die o.g. Faktoren einen Einfluss auf systematische Interaktionsmuster haben könnten, gilt es noch zu prüfen.

10.4 Implikationen für die Sportpraxis

„Warum spielt er denn nicht?“ Diese zentrale Frage aus der Einleitung kann nun mit Hilfe den Ergebnissen der vorliegenden Experimente geklärt werden. Danach ist der Sportler aus informationsverarbeitungstheoretischer Sicht nur in der Lage, eine begrenzte Anzahl an Informationen in einer bestimmten Zeiteinheit zu verarbeiten. Limitationen der Verarbeitungskapazität werden besonders in (schwierigen) (Ab-)Spielsituation bei kooperativen Aufgaben sichtbar, wenn deutlich mehr Bewegungsfehler (d.h. Fehlpässe) auftreten. Das wird in den folgenden Absätzen weiter erläutert.

Der exponentielle Anstieg in den Bewegungsfehlern abhängig von der Aufgabenschwierigkeit legt nahe, dass Spieler einen Pass ab einer gewissen Schwierigkeit nicht mehr spielen sollten, da die Wahrscheinlichkeit eines Fehlpasses zu hoch ist. Eventuell macht gerade diese (adäquate) Einschätzung der Schwierigkeit der Aufgabe den Unterschied zwischen Experten und Laien einer Sportart aus? Erfahrene Sportler und Sportlerinnen könnten ein intuitives Gespür für den Anstieg der BF besitzen, welches die geplante Handlung (das

Zuspiel zum Partner) hemmt und eine andere Handlungsalternative auswählt (siehe dazu auch Raab & Johnson, 2003, zur *take-the-first-heuristik*). Dahingehend sind Laien ggf. kognitiv überfordert, sodass sie Handlungsalternativen nicht mehr in ihrem Handlungsplan berücksichtigen (z.B. bei plötzlichen Veränderungen der Spielsituationen). Die Bewegungshandlung wird damit nicht an die neuen Randbedingungen der Situation angepasst.

Aus den Befunden der Experimentreihe 3 („Basketballpassaufgabe“) lässt sich ableiten, dass Spieler bei Bewegungshandlungen die Randbedingungen der jeweiligen (Ab-)Spielsituation berücksichtigen. Dabei wirkt sich sowohl die Distanz zum Mitspieler als auch der zur Verfügung stehende Passkorridor direkt auf die Bewegungszeiten und die Anzahl der Bewegungsfehler aus. Ein Hinweis für Trainer ist daher, die Trainingsbedingungen so zu gestalten, dass die Variationen in den Übungen die Variationen im Sinne des Fitts'schen Gesetzes widerspiegeln. D.h., dass Pässe auch im Training bewusst durch unterschiedliche „Korridore“ gespielt werden. Dies können Trainer informationsverarbeitungstheoretisch damit begründen, dass die kognitiven Ressourcen eines jeden Spielers limitiert sind, sodass (zu) schwierige Situationen nicht vollständig verarbeitet werden können (und ggf. Fehler resultieren). In diesem Zusammenhang könnten die Übungen sinnvoll in ein Wahrnehmungstraining integriert werden (Cañal-Bruland, Hagemann, & Strauß, 2006).

Ein weiterer basketballspezifischer Aspekt ist die so genannte 2-zu-3-Regel beim Passspiel (vgl. Schauer, 2001): Dieser Regel nach, sollte der Basketball bei Bodenpässen zum Mitspieler erst nach ungefähr zwei Dritteln der Distanz zum Mitspieler aufprallen „damit die aufgewendete Energie annähernd optimal ist“, aber auch noch vom „Mitspieler verarbeitet werden kann“. Trifft der Ball früher den Boden wird er durch Reibungskräfte zu früh abgebremst und fliegt dadurch langsamer. Bei einem Aufprall näher am Partner wird der Abprungwinkel des Balles zu spitz, sodass er nicht in aufrechter Position aufgenommen werden kann (vgl. Schauer, 2001). Dies sollte berücksichtigt werden, um die (Flug-)Geschwindigkeit des Passes zu optimieren und die Bewegungshandlung effizienter auszuführen.

Inwieweit sich diese Befunde in der Sportart „Basketball“ auf ein größeres Sportartenspektrum übertragen lassen, bleibt offen. Es ist jedoch anzunehmen, dass die Informationsverarbeitungsprozesse in anderen Sportarten gleich ablaufen. Der Aufbauspieler im Handball wird in einer Angriffssituation (trotz einstudierter Spielzüge) ebenfalls vor der Entscheidung stehen einen Pass zum „Kreisläufer“ durchzustecken oder zu einem seiner „Rückraumspieler“ zu passen. Für den Pass zum Kreisläufer steht ihm in der Regel weniger Raum (kleinerer Passkorridor) zur Verfügung. Außerdem ist dabei das Zeitfenster, in dem der Pass erfolgen kann, tendenziell kürzer als bei einem Pass zum Rückraumspieler, der länger „freisteht“. Da die Verarbeitung einer schwierigen Situation Zeit benötigt, lässt sich erklären warum der (für Zuschauer offensichtliche) Pass in der realen Spielsituation nicht genutzt wird.

Im Fußball entsteht eine ähnliche Situation, wenn ein Mittelfeldspieler den Pass zu einem seiner Stürmer spielen könnte: Es stehen ihm wiederum „leichtere“ Alternativen zur Auswahl (z.B. den Rückpass zum Abwehrspieler/Torwart oder ein Querpass). Der Spieler könnte aber auch den „schwierigeren“ vertikalen Pass auf den Stürmer probieren. In dieser speziellen Situation kommt hinzu, dass er neben dem engen Passkorridor auch das „Abseits“ berücksichtigen muss, d.h. er muss *simulieren*, wo sein Mitspieler stehen wird, wenn er den Pass in den Raum spielt. Spielt er zu früh ist es für die Abwehrspieler oder den Torwart ein Leichtes vor dem Stürmer am Ball zu sein. Spielt er hingegen zu spät, dann befindet sich der Stürmer bereits im Abseits und die Spielsituation wird abgebrochen. Dies macht (Handlungs-)Simulationsprozesse von Mit- und Gegenspielern erforderlich (Grèzes et al., 2004; Jeanerod, 2001), um die Intentionen der am Spielgeschehen beteiligten Akteure nachvollziehen zu können. Treffen wahrgenommene Handlungen auf motorische Resonanzen beim Betrachter (Schütz-Bosbach & Prinz, 2007), kann dieser aufgrund der eigenen motorischen Erfahrungen die Handlungen des Mitspielers simulieren und so den richtigen Moment für das Abspiel antizipieren. Auch der Stürmer greift als potenzieller Empfänger des Balles auf Simulationen zurück, um adäquat auf die Handlung des Partners zu reagieren (d.h. im richtigen Moment in den Raum zu starten).

In verschiedenen Spielsituationen können demnach Konstellationen auf dem Spielfeld entstehen, die Sinne des Fitts'schen Gesetzes durch die Positionierung von Angriffs- und Abwehrspielern leichten bzw. schwierigen SI's entsprechen. Wie verhalten sich Spieler, wenn ein leichter bzw. schwerer SI vorliegt? Es ist denkbar, dass erfahrene Spieler einen Pass nur bis zu einer gewissen Aufgabenschwierigkeit (geringer SI) spielen und damit erfolgreich sind. Mit steigendem SI (Übergangsbereich = mittlerer SI) nehmen die Fehlpässe zu. Darüber hinaus (hoher SI) werden sie das Abspiel nicht mehr durchführen und sich für die sichere Variante entscheiden (z.B. einen Quer- oder Rückpass). Es gibt aber auch Ausnahmespieler, die den Pass trotzdem noch erfolgreich zum Mitspieler bringen. Diese werden dann häufig als besonders (spiel-)intelligent oder kreativ bezeichnet (siehe dazu Memmert, 2011). Vielleicht sind diese Spieler in der Lage, schwierige Konstellationen auf dem Spiel besser zu verarbeiten, indem sie: entweder **mehr Informationen gleichzeitig** verarbeiten können oder diese **Prozesse** insgesamt **schneller ablaufen**.

10.5 Fazit

Handlungen im Kontext von Partnerinteraktionen werden durch die Randbedingungen der Aufgabe (Fitts, 1954) bestimmt und lassen sich quantitativ über das Fitts'sche Gesetz abbilden. Dabei berücksichtigen die Partner sowohl die Schwierigkeit der eigenen als auch der fremden Aufgabenanforderungen (*Joint-Action-Forschung*, Sebanz, Knoblich et al., 2006a), d.h. die Randbedingungen, an die der Partner gebunden ist, werden in den eigenen Handlungsplan integriert. Zur (gemeinsamen) Zielerreichung (Vesper et al., 2010) passt sich demnach der Akteur mit der leichteren Bewegungshandlung an den anderen an. Aus Sicht der Informationsverarbeitung ist dieser Befund plausibel, da eine umgekehrte Anpassung des Partners mit der schwereren Bewegungshandlung nicht möglich ist. Insgesamt lassen sich diese Ergebnisse auf Aufgaben unterschiedlicher Komplexität übertragen, was für die Generalisierbarkeit des Fitts'schen Gesetzes auf ganz verschiedene Leistungen menschlichen Verhaltens spricht.

11 Literatur

- Abernethy, B., & Russell, D. G. (1987). Expert-novice differences in an applied selective attention task. *Journal of Sport Psychology*, *9*, 326-345.
- Abrams, R. A., Meyer, D. E., & Kornblum, S. (1989). Speed and accuracy of saccadic eye movements: Characteristics of impulse variability in the oculomotor system. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *15*, 529-543.
- Aglioti, S. M., Cesari, P., Romani, M., & Urgesi, C. (2008). Action anticipation and motor resonance in elite basketball players. *Nature Neuroscience*, *11*, 1109-1116.
- Annett, J., Golby, C. W., & Kay, H. (1958). The measurement of elements in an assembly task-the information output of the human motor system. *Quarterly Journal of experimental Psychology*, *10*, 1-11.
- Atmaca, S., Sebanz, N., Prinz, W., & Knoblich, G. (2008). Action co-representation: the joint SNARC effect. *Social Neuroscience*, *3*, 410-420.
- Backhaus, K., Erichson, B., Plinke, W., & Weiber, R. (2006). *Multivariate Analysemethoden: Eine anwendungsorientierte Einführung* (11. Auflage). Berlin: Springer.
- Beamish, D., Bhatti, S. A., MacKenzie, I. S., & Wu, J. (2006). Fifty years later: A neurodynamic explanation of Fitts' law. *Journal of the Royal Society Interface*, *3*, 649-654.
- Bekkering, H., de Bruijn, E. A. R., Cuijpers, R. H., Newman-Norlund, R., van Schie, H. T., & Meulenbroek, R. (2009). Joint action: Neurocognitive mechanisms supporting human interaction. *Topics in Cognitive Science*, *1*, 340-352.
- Bekkering, H., Wohlschläger, A., & Gattis, M. (2000). Imitation of gestures in children is goal-directed. *Quarterly Journal of Experimental Psychology: Human Experimental Psychology*, *53*, 153-164.
- Bernieri, F., & Rosenthal, R. (1991). Interpersonal coordination: Behavior matching and interactional synchrony. In: R. Feldman & B. Rime (Eds.), *Fundamentals of nonverbal behavior. Studies in emotion and social interaction* (pp. 401-432). New York: Cambridge University Press.
- Bernstein, N. A. (1967). *The co-ordination and regulation of movements*. Oxford: Pergamon Press.
- Bernstein, B. (1996). *Pedagogy, symbolic control and identity: Theory, research, critique*. London: Taylor & Francis.
- Blakemore, S. J., & Decety, J. (2001). From the perception of action to the understanding of intention. *Nature Reviews Neuroscience*, *2*, 561-567.
- Blandin, Y., Lhuisset, L., & Proteau, L. (1999). Cognitive processes underlying observational learning of motor skills. *Quarterly Journal of Experimental Psychology: Human Experimental Psychology*, *52*, 957-979.

- Böckler, A., Knoblich, G., & Sebanz, N. (2011). Giving a helping hand: Effects of joint attention on mental rotation of body parts. *Experimental Brain Research*, 211, 531-545.
- Bortz, J. (1979, 1985, 2005). *Lehrbuch der Statistik. Für Sozialwissenschaftler*. Heidelberg: Springer.
- Bortz, J., & Döring, N. (2002). *Forschungsmethoden und Evaluation*. Berlin: Springer.
- Bortz, J., & Schuster, C. (2010). *Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler* (7. Aufl.). Heidelberg: Springer.
- Boyle, J., & Shea, C. H. (2011). Wrist and arm movements of varying difficulties. *Acta Psychologica*, 137, 382-396.
- Brass, M., Bekkering, H., & Prinz, W. (2001). Movement observation affects movement execution in a simple response task. *Acta Psychologica*, 106, 3-22.
- Brennan, S. E., Chen, X., Dickinson, C. A., Neider, M. B., & Zelinsky, G. J. (2008). Coordinating cognition: the costs and benefits of shared gaze during collaborative search. *Cognition*, 106, 1465-1477.
- Brosius, F. (2011). *SPSS 19*. Heidelberg: MIT Press.
- Buck, L. (1986). Target location effects in tapping tasks. *Acta Psychologica*, 62, 1-13.
- Cañal-Bruland, R., Hagemann, N., & Strauß, B. (2006). Wahrnehmungstraining im Sport. In M. Tietjens & B. Strauß (Eds.), *Handbuch Sportpsychologie* (S. 262-268). Schorndorf: Hofmann.
- Calvo-Merino, B., Glaser, D. E., Grèzes, J., Passingham, R. E., & Haggard, P. (2005). Action observation and acquired motor skills: An fMRI study with expert dancers. *Cerebral Cortex*, 15, 1243-1249.
- Carlton, L. G. (1979). Control processes in the production of discrete aiming responses. *Journal of Human Movement Studies*, 5, 115-124.
- Casile, A., & Giese, M. A. (2006). Nonvisual motor training influences biological motion perception. *Current Biology*, 16, 69-74.
- Chernikoff, R., & Taylor, F. (1952). Reaction times to kinaesthetic stimulation resulting from sudden arm displacement. *Journal of Experimental Psychology*, 43, 1-8.
- Clark, H. (1996). *Using language*. Cambridge, U.K.: Cambridge University Press.
- Cohen, J. (1988). *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences* (2nd ed.). New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Cohen, J. (1992). "A power primer". *Psychological Bulletin*, 112, 155-159.
- Crossman, E. R. F. W. (1957). The speed and accuracy of simple hand movements. In: F. W. Crossman & W. D. Seymour (Eds.), *The nature and acquisition of industrial skills*, Report to M. R. C. and D. S. I. R. Joint Committee on Individual Efficiency in Industry.
- Crossman, E. R. F. W., & Goodeve, P. J. (1983). Feedback control of hand movements and Fitts' law. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 35, 251-278.

- Descartes, R. (1664). *L'Homme*, Paris: Charles Angot.
- Doerrfeld, A., Sebanz, N., & Shiffrar, M. (2012). Expecting to lift a box together makes the load look lighter. *Psychological Research*, *76*, 467-475.
- Donders, F. C. (1869). On the speed of mental processes. *Acta Psychologica*, *30*, 412-431.
- Drill, R. (1933). Der Hammerschlag. *Neue Psychologische Studien*, *9*, 142-163 (zitiert aus: Loosch, E. (1993). Das Ganze läuft genauer ab als seine Teile - Zur Geschichte der Motorikforschung von 1925-1939 am Psychologischen Institut in Leipzig. In: Sportpsychologie 1, 1993, S. 26-30).
- Drury, C. G. (1975). Application of Fitts' law to foot-pedal design. *Human Factors*, *17*, 368-373.
- Effenberg, A. O. (2005). Movement sonification: Effects on perception and action. *IEEE Multimedia*, *12*(2), S. 53-59.
- 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 the acquisition of action effects. *Psychological Research*, *68*, 138-154.
- Etnyre, B. R. (1998) Accuracy characteristics of throwing as a result of maximum force effort. *Perceptual & Motor Skills*, *86*, 1211-1217.
- Fine, J. M., & Amazeen, E. L. (2011). Interpersonal Fitts' law: when two perform as one. *Experimental Brain Research*, *211*, 459-469.
- Fitts, P. M. (1954). The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement. *Journal of Experimental Psychology*, *47*, 381-391.
- Fitts, P. M. (1992). The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement. *Journal of Experimental Psychology: General*, *121*, 262-269.
- Fitts, P. M., & Peterson, J. R. (1964). Information capacity of discrete motor responses. *Journal of Experimental Psychology*, *67*, 103-112.
- Fitts, P. M., & Posner, M. I. (1968). *Human Performance*, Belmont, California: Brooks / Cole Publishing.
- Fowler, B., Duck, T., Mosher, M., & Mathieson, B. (1991) The coordination of bimanual aiming movements: Evidence for progressive desynchronization, *The Quarterly Journal of Experimental Psychology: Human Experimental Psychology*, *43(A)*, 205-221.
- Georgiou, I., Becchio, C., Glover, S., & Castiello, U. (2007). Different action patterns for cooperative and competitive behaviour. *Cognition*, *102*, 415-433.
- Gibson, J. J. (1966). *The Senses Considered as Perceptual Systems*. Boston: Houghton Mifflin.

- Gibson, J. J. (1977). The theory of affordances. In: R. E. Shaw & J. Bransford (Eds.), *Perceiving, acting, and knowing: Toward an ecological psychology* (pp. 67-82). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Goebel, W., & Palmer, C. (2009). Synchronization of timing and motion among performing musicians. *Music Perception, 26*, 427-438.
- Grafton, S. T., & Cross, E. S. (2008). Dance and the brain. In: C. Asbury & B. Rich (Eds.), *Learning, arts and the brain: The Dana Consortium Report on arts and cognition* (pp. 61-68). New York: Dana Press.
- Grèzes, J., Frith, C. D., & Passingham, R. E. (2004). Inferring false beliefs from the actions of oneself and others: An fMRI study. *NeuroImage, 21*, 744-750.
- Grosjean, M., Shiffrar, M., & Knoblich, G. (2007). Fitts' law holds for action perception. *Psychological Science, 18*, 95-99.
- Gruber, H., & Lehmann, A. C. (2007). Entwicklung von Expertise und Hochleistung in Musik und Sport. In: F. Petermann & W. Schneider (Hrsg.), *Angewandte Entwicklungspsychologie* (S. 497-519). Göttingen: Hogrefe.
- Guiard, Y. (1993). On Fitts's and Hooke's laws: Simple harmonic movement in upper limb aiming. *Acta Psychologica, 82*, 139-159.
- Guiard, Y., & Olafsdottir, H. B. (2011). On the measurement of movement difficulty in the standard approach to Fitts' Law. *PLoS ONE 6(10)*: e24389.
- Hagemann, N., Strauss, B., & Canal-Bruland, R. (2006). Training perceptual skill by orienting visual attention. *Journal of Sport and Exercise Psychology, 28*, 143-158.
- Haken, H. (1996). *Principles of brain functioning: A synergetic approach to brain activity, behavior and cognition*. Berlin: Springer Verlag.
- Haken, H., Kelso, J. A. S., & Bunz, H. (1985). A theoretical model of phase transition in human. *Biological Cybernetics, 51*, 347-356.
- Hamilton, A., Wolpert, D., & Frith, U. (2004). Your own action influences how you perceive another person's action. *Current Biology, 14*, 493-498
- Hancock, P. A., & Newell, K. M. (1985). The movement speed-accuracy relationship in space-time. In: H. Heuer, U. Kleinbeck, & K. H. Schmidt (Eds.), *Motor behavior: Programming, control, and acquisition* (pp. 153-188). Berlin: Springer Verlag.
- Heed, T., Habets, B., Sebanz, N., & Knoblich, G. (2010). Others' actions reduce crossmodal integration in peripersonal space. *Current Biology, 20*, 1345-1349.
- Henry, F. M., & Rogers, E. E. (1960). Increased response latency for complicated movements and a "memory drum" theory of neuromotor reaction. *Research Quarterly, 31*, 448-458.
- Hick, W. E. (1952). On the rate of gain of information. *Quarterly Journal of Experimental Psychology, 4*, 11-26.

- Hoffmann, E. R. (1991a). Capture of moving targets: A modification of Fitts' law. *Ergonomics*, *34*, 211-12.
- Hoffmann, E. R., & Sheikh, I. H. (1991). Finger width corrections in Fitts' law: Implications for speed-accuracy research. *Journal of Motor Behavior*, *23*, 259-62.
- Holländer, A., Jung, C., & Prinz, W. (2011). Covert motor activity on NoGo trials in a task sharing paradigm: evidence from the lateralized readiness potential. *Experimental Brain Research*, *211*, 345-356.
- Hommel, B., Muesseler, J., Aschersleben, G., & Prinz, W. (2001). The theory of event coding (TEC). *Behavioral and Brain Sciences*, *24*, 849-937.
- Hommel, B., & Nattkemper, J. (2011). *Handlungspsychologie. Planung und Kontrolle intentionalen Handelns*. Heidelberg: Springer.
- Hyman, R. (1953). Stimulus information as a determinant of reaction time. *Journal of Experimental Psychology*, *45*, 188-196.
- Iacoboni, M. (2005). Neural mechanisms of imitation. *Current Opinion in Neurobiology*, *15*, 632-637.
- Jeannerod, M. (2001). Neural simulation of action: A unifying mechanism for motor cognition. *NeuroImage*, *14*, 103-109.
- Johnsgard, T. (1994). Fitts' Law with a virtual reality glove and a mouse: Effects of gain. *Proceedings of the Graphics Interface Conference*. Banff, Alberta, Canada.
- Johnson, J., & Raab, M. (2003). Take the first: Option generation and resulting choices. *Organizational Behavior and Human Decision Making Processes*, *91*, 215-229.
- Jones, K. S. (2003). What is an affordance? *Ecological Psychology*, *15*, 107-114.
- Juras, G., Slomka, K., & Latash, M. L. (2009). Violations of Fitts' law in a ballistic task. *Journal of Motor Behavior*, *41*, 525-528.
- Kelso, J. A. S. (1984). Phase transitions and critical behavior in human bimanual coordination. *American Journal of Physiology: Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, *15*, 1000-1004.
- Kelso, J. A. S. (1990). Phase transitions: Foundations of behavior. In: H. Haken & M. Stadler (Eds.), *Synergetics of cognition* (pp. 249-268). Berlin: Springer Verlag.
- Kelso, J.A.S. (1995). *Dynamic patterns: The self-organization of brain and behavior*. Cambridge: MIT Press.
- Kelso, J. A. S., Putnam, C. A., & Goodman, D. (1983). On the space-time structure of human interlimb coordination. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *35A*, 347-375.
- Kelso, J. A. S., Southard, D. L., & Goodman, D. (1979). On the coordination of two-handed movements. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception Performance*, *5*, 229-238.

- Kerr, B. A., & Langolf, G. D. (1977). Speed of aiming movements. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 29, 475-481.
- Kilner, J. M., Paulignan, Y., & Blakemore, S. J. (2003). An interference effect of observed biological movement on action. *Current Biology*, 13, 522-525.
- Klapp, S. T. (1975). Feedback versus motor programming in the control of aimed movements. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 1, 147-153.
- Klein-Soetebier, T., Steggemann, Y., & Weigelt, M. (2011). Effektorspezifische Bahnungsprozesse beim Betrachten von Basketball- und Fußballspielern. *Zeitschrift für Sportpsychologie*, 18, 155-160.
- Knoblich, G., Butterfill, S., & Sebanz, N. (2011). Psychological research on joint action: Theory and data. In: B. Ross (Ed.), *The Psychology of Learning and Motivation* (pp. 59-101). Burlington: Academic Press.
- Knoblich, G., & Flach, R. (2001). Predicting the effects of actions: Interactions of perception and action. *Psychological Science*, 12, 467-472.
- Knoblich, G., & Jordan, J. S. (2003). Action coordination in groups and individuals: Learning anticipatory control. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 29, 1006-1016.
- Knoblich, G., & Sebanz, N. (2006). The social nature of perception and action. *Current Directions in Psychological Science*, 15, 99-104.
- Knoblich, G., & Sebanz, N. (2008). Evolving intentions for social interaction: From entrainment to joint action. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 363, 2021-2031.
- Kornhuber, H. H. (1971). Motor functions of cerebellum and basal ganglia: The cerebello-cortical saccadic (ballistic) clock, the cerebellonuclear hold regulator, and the basal ganglia ramp (voluntary speed smooth movement) generator. *Kybernetik*, 8, 157-162.
- Krippendorff, K. (1986). *Information theory. Structural models for qualitative data*. Beverly Hills, CA: Sage.
- Kunde, W. (2006). Antezedente Effektrepräsentationen in der Verhaltenssteuerung. *Psychologische Rundschau*, 57(1), 34-42.
- Kunde, W. & Weigelt, M. (2005). Goal congruency in bimanual object manipulation. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 31, 145-165.
- Lagarde, J., & Kelso, J. A. S. (2006). Binding of movement, sound and touch: Multimodal coordination dynamics. *Experimental Brain Research*, 173, 673-688.
- Locke, E. A. (1967). Motivational effects of knowledge of results. Knowledge or goal-setting?. *Journal of Applied Psychology*, 51, 324-329.

- Lorch, R. F., & Myers, J. L. (1990). Regression analyses of repeated measures data in cognitive research. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 16, 149-157.
- Loula, F., Prasad, S., Harber, K., & Shiffrar, M. (2005). Recognizing people from their movement. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 31, 210-220.
- Marsh, K. L., Richardson, M. J., Baron, R. M., & Schmidt, R. C. (2006). Contrasting approaches to perceiving and acting with others. *Ecological Psychology*, 18, 1-37.
- MacKenzie, C. L., Marteniuk, R. G., Dugas, C., Liske, D., & Eickmeier, B. (1987). Three-dimensional movement trajectories in Fitts' task: Implications for control. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 39, 629-47.
- MacKenzie, I. S. (1989). A note on the information-theoretic base for Fitts' law. *Journal of Motor Behavior*, 21, 323-330.
- MacKenzie, I. S. (1992). Fitts' law as a research and design tool in human-computer interaction. *Human-Computer Interaction*, 7, 91-113.
- Marteniuk, R. G., MacKenzie, C. L., & Baba, D. M. (1984). Bimanual movement control: Information processing and interaction effects. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 36A, 335-365.
- Mechsner, F., & Knoblich, G. (2004). Do muscles matter in bimanual coordination? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 30, 490-503.
- Mechsner, F., Kerzel, D., Knoblich, G., & Prinz, W. (2001). Perceptual basis of bimanual coordination. *Nature*, 414(6859), 69-73.
- Meltzoff, A. N., & Prinz, W. (2002). *The imitative mind: Development, evolution, and brain bases*. Cambridge, England: Cambridge University Press.
- Memmert, D. (2011). Sports and Creativity. M. A. Runco & S. R. Pritzker (Eds.), *Encyclopedia of Creativity*, Second Edition (pp. 373-378). San Diego: Academic Press.
- Meulenbroek, R. G. J., Bosga, J., Hulstijn, M., & Miedl, S. F. (2007). Joint action coordination in transferring objects. *Experimental Brain Research*, 180, 333-343.
- Meyer, D. E., Smith, J. E. K., & Wright, C. E. (1982). Models for the speed and accuracy of aimed movements. *Psychological Review*, 89, 449-82.
- Meyer, D. E., Abrams, R. A., Kornblum, S., Wright, C. E., & Smith, J. E. K. (1988). Optimality in human motor performance: Ideal control of rapid aimed movements. *Psychological Review*, 95, 340-70.
- Meyer, D. E., Smith, J. E. K., Kornblum, S., Abrams, R. A., & Wright, C. E. (1990). Speed-accuracy trade-offs in aimed movements: Toward a theory of rapid voluntary action. In: M. Jeannerod (Ed.), *Attention and performance: Motor representation and control* (pp. 173-226). Hillsdale, NJ: Erlbaum.

- Miller, G. A. (1956). The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review*, 63, 81-97.
- Mottet, D., Guiard, Y., Ferrand, T., & Bootsma, R. J. (2001). Two-handed performance of a rhythmical Fitts task by individuals and dyads. *Journal of Experimental Psychology Human Perception Performance*, 27, 1275-1286.
- Newman-Norlund, R. D., Bosga, J., Meulenbroek, R. G. J., & Bekkering, H. (2008). Joint-action coordination of redundant force contributions in a virtual lifting task. *Motor Control*, 11, 235-58.
- Osborne, L. C., Lisberger, S. G., & Bialek, W. (2005). A sensory source for motor variation. *Nature*, 437, 412-416.
- Oullier, O., DeGuzman, G. C., Jantzen, K. J., Lagarde, J., & Kelso, J. A. S. (2008). Social coordination dynamics: Measuring human bonding. *Social Neuroscience*, 3(2), 178-192.
- Plamondon, R., & Alimi, A. M. (1997). Speed-accuracy trade-offs in target-directed movements. *Behavioral and Brain Sciences*, 20, 279-349.
- Prinz, W. (1990). A common-coding approach to perception and action. In: O. Neumann & W. Prinz, (Eds), *Relationships between perception and action. Current approaches* (pp. 167-201). New York, Springer.
- Prinz, W. (1997). Perception and action planning. *European Journal of Cognitive Psychology*, 9, 129-154.
- Ramnani, N., & Miall, R. C. (2004). A system in the human brain for predicting the actions of others. *Nature Neuroscience*, 7, 85-90.
- Richardson, M. J., Marsh, K. L., & Baron, R. M. (2007a). Judging and actualizing intrapersonal and interpersonal affordances. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 33, 845-859 .
- Richardson, M. J., Marsh, K. L., Isenhower, R., Goodman, J., & Schmidt, R. C. (2007b). Rocking together: Dynamics of intentional and unintentional interpersonal coordination. *Human Movement Science*, 26, 867-891.
- Richardson, M. J., Marsh, K. L., & Schmidt, R. C. (2005). Effects of visual and verbal interaction on unintentional interpersonal coordination. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 31, 62-79.
- Richardson, D. C., Street, C. N. H., Tan, J. Y. M., Kirkham, N. Z., Hoover, M. A., & Cavanaugh, A. G. (2012). Joint Perception: gaze and social context. *Frontiers in Human Neuroscience*, 6, 1-8.
- Rizzolatti, G., Craighero, L., & Fadiga, L. (2002). The mirror system in humans. In: M. I. Stamenov & V. Gallese (Eds.), *Mirror neurons and the evolution of brain and language* (pp. 37-59). Philadelphia: Benjamins.

- Samson, D., Apperly, I. A., Braithwaite, J. J., Andrews, B. J., & Bodely Scott, S. E. (2010). Seeing it their way: Evidence for rapid and involuntary computation of what other people see. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *36*, 1255-1266.
- Sanders, A. F. (1980). Stage analysis of reaction processes. In: G.E. Stelmach & J. Requin (Eds.), *Tutorials in Motor Behavior: Advances in Psychology*, (pp. 331-354). Amsterdam: North-Holland Publishing Co..
- Schauer, E. (2001). *Wurftrainer Basketball. Die besten Übungen und Programme*. Rowohlt: Tb.
- Schmidt, R. A., & Lee, T. L. (2005). *Motor Control and Learning: A behavioral emphasis*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Schmidt, R. C., & O'Brien, B. (1997). Evaluating the dynamics of unintended interpersonal coordination. *Ecological Psychology*, *9*, 189-206.
- Schmidt, R. C., & Richardson, M. J. (2008). Dynamics of interpersonal coordination. In: A. Fuchs & V. K. Jirsa (Eds.), *Coordination: Neural, behavioral and social dynamics* (pp. 281-307). Berlin: Springer Verlag.
- Schmidt, R. C., & Turvey, M. T. (1994). Phase-entrainment dynamics of visually coupled rhythmic movements. *Biological Cybernetics*, *70*, 369-76.
- Schmidt, R. A., Zelaznik, H. N., Hawkins, B., Frank, J. S., & Quinn, J. T. (1979). Motor-output variability: a theory for the accuracy of rapid motor acts. *Psychological Review*, *86*, 415-451.
- Schütz-Bosbach, S., & Prinz, W. (2007). Perceptual resonance: Action-induced modulation of perception. *Trends in Cognitive Sciences*, *11*, 349-355.
- Sebanz, N., Bekkering, H., & Knoblich, G. (2006a). Joint action: bodies and minds moving together. *Trends Cognitive Science*, *10*, 70-76.
- Sebanz, N., & Frith, C. (2004). Beyond simulation? Neural mechanisms for predicting the actions of others. *Nature Neuroscience*, *7*, 5-6.
- Sebanz, N., Knoblich, G., & Prinz, W. (2003). Representing others' actions: Just like one's own?. *Cognition*, *88*, 11-21.
- Sebanz, N., Knoblich, G., & Prinz, W. (2005). How two share a task. *Journal of Experimental Psychology Humans*, *31*, 1234-1246.
- Sebanz, N., Knoblich, G., Prinz, W., & Wascher, E. (2006b). Twin Peaks: An ERP study of action planning and control in co-acting individuals. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *18*, 859-870.
- Sebanz, N., Rebecchi, D., Knoblich, G., Prinz, W., & Frith, C. (2007). Is it really my turn? An event-related fMRI study of task sharing. *Social Neuroscience*, *2*, 81-95.

- Shannon, C. E., & Weaver, W. (1949). *The mathematical theory of communication*. Urbana, Illinois: University of Illinois Press.
- Shea, C. H., Boyle, J., & Kovacs, A. J. (2012). Bimanual Fitts' tasks: Kelso, Southard, and Goodman, 1979 revisited. *Experimental Brain Research*, 216, 113-121.
- Sheridan, M. R. (1979). A reappraisal of Fitts' law. *Journal of Motor Behaviour*, 11, 179-188.
- Siegel, D. S. (1977). The effect of movement amplitude and target diameter on reaction time. *Journal of Motor Behaviour*, 9, 257-265.
- Singer, R. N., & Janelle, C. M. (1999). Determining sport expertise: From genes to supremes. *International Journal of Sport Psychology*, 30, 117-150.
- Skrandies, W. (2003). Evoked potential studies of visual information processing. In: A. Zani & A. M. Proverbio (Eds.), *The cognitive electrophysiology of mind and brain* (pp. 71-92). San Diego, Academic Press.
- Steggemann, Y., & Weigelt, M. (2011). Der Kopf turnt Saltos...! Selektive Effekte sportlicher Bewegungserfahrung auf die mentale Rotationsleistung von menschlichen Figuren. *Zeitschrift für Sportpsychologie*, 18, 133-140.
- Sternberg, S. (1969). The discovery of processing stages: Extensions of Donders' method. In: W. G. Koster (Ed.), *Attention and performance II*. *Acta Psychologica*, 30, 276-315.
- Swinnen, S. P. (2002) Intermanual coordination: from behavioural principles to neural-network interactions. *Natural Review of Neuroscience*, 3, 348-359.
- Swinnen, S. P., & Wenderoth, N. (2004). Two hands, one brain: cognitive neuroscience of bimanual skill. *Trends in Cognitive Sciences*, 8(1), 18-25.
- Townsend, J. T., & Ashby, F. G. (1978). Methods of modeling capacity in simple processing systems. In: J. Castellan & F. Restle (Eds.), *Cognitive theory* (pp. 200-239). Hillsdale, N. J.: Erlbaum.
- Triplett, N. (1898). The dynamogenic factors in pacemaking and competition. *American Journal of Psychology*, 9, 507-533.
- Vesper, C., Butterfill, S., Knoblich, G., & Sebanz, N. (2010). A minimal architecture for joint action. *Neural Networks*, 23, 998-1003.
- Vesper, C., van der Wel, R. P. R. D., Knoblich, G., & Sebanz, N. (2011). Making oneself predictable: Reduced temporal variability facilitates joint action coordination. *Experimental Brain Research*, 211, 517-530.
- Vesper, C., Schmitz, L., Sebanz, N., & Knoblich, G. (2013a). *Joint action coordination through strategic reduction in variability*. In: M. Knauff, M. Pauen, N. Sebanz, & I. Wachsmuth (Eds.), *Proceedings of the 35th Annual Conference of the Cognitive Science Society* (pp. 1522-1527). Austin, TX: Cognitive Science Society.

- Vesper, C., van der Wel, P. R. D., Knoblich, G., & Sebanz, N. (2013b). Are you ready to jump? Predictive mechanisms in interpersonal coordination. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 39, 48-61.
- Welford, A. T. (1960). The measurement of sensory-motor performance: survey and reappraisal of twelve years' progress. *Ergonomics*, 3, 189-230.
- Williams, A.M., & Davids, K. (1998). Visual search strategy, selective attention, and expertise in soccer. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 69, 111-128.
- Williams, A. M., Ward, P., & Smeeton, N.J. (2004). Perceptual and cognitive expertise in sport: implications for skill acquisition and performance enhancement. In: A. M. Williams & N. J. Hodges (Eds.), *Skill acquisition in sport: research, theory and practice* (pp. 328-348), London, Routledge.
- Wilson, M., & Knoblich, G. (2005). The case for motor involvement in perceiving conspecifics. *Psychonomic Bulletin*, 131, 460-473.
- Wobbrock, J. O., Cutrell, E., Harada, S., & MacKenzie, I. S. (2008). An error model for pointing based on Fitts' law. *Proceedings of the ACM conference on human factors in computing systems (CHI '08)*, 1613-1622.
- Woodworth, R. S. (1899). The accuracy of voluntary movement. *Psychological Review (Monograph Supplement)*, 3, 1-119.
- Wright, C. E., & Meyer, D. E. (1983). Conditions of linear speed-accuracy trade-off in aimed movements. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 35, 279-296.

12 Anhang

Anhang 1 – Modifikationen des Fitts'schen Gesetzes (aus Plamondon & Almini, 1997)

Authors	Equation
Crossman (1956)	$MT = a + b \log_2 \left(\frac{A}{W} \right)$
Welford (1968)	$MT = k \log_2 \left(\frac{A}{W} + 0.5 \right)$
Welford et al. (1969)	$MT = a + b_A \log_2 (A) + b_W \log_2 \left(\frac{1}{W} \right)$
Jagacinski et al. (1980b)	$MT = c + dA + e(V + 1) \left(\frac{1}{W} - 1 \right)$
Jagacinski et al. (1980b)	$MT = p + q \log_2 \left\{ 2 \left[A + \frac{V}{W} (MT + T) \right] \right\}$
Jagacinski et al. (1980b)	$MT = x + y \log_2 \left(\frac{2A}{W} \right) + z \log_2 \left[\frac{V}{W/T} + 1 \right]$
Hoffman (1991a)	$MT = \frac{1}{K} \ln \left[\frac{A + \frac{V}{K}}{\frac{W}{2} - \frac{V}{K}} \right]$ <p style="text-align: center;">and $MT = a + b \log_2 \left(A + \frac{V}{K} \right) - c \log_2 \left(\frac{W}{2} - \frac{V}{K} \right)$</p>
Hoffman (1992)	$MT = -a + b(c + D) \log_2 \left(\frac{2A}{W} \right)$
MacKenzie (1989; 1992)	$MT = a + b \log_2 \left(\frac{A}{W} + 1 \right)$
Gan & Hoffmann (1988)	$MT = a + b\sqrt{A}$
Johnsgard (1994)	$MT = a + b \log_2 \left(\frac{A/W}{G} + 1 \right)$
Kvalseth (1980)	$MT = a \left(\frac{A}{W} \right)^b$

Anhang 2 – Exemplarische Einverständnis- und Teilnahmeerklärung (Experiment 1)

UNIVERSITÄT
DES
SAARLANDES



Universität Saarbrücken
Postfach 15 11 50
D-66041 Saarbrücken

Sportwissenschaftliches Institut
Sportpsychologie / Bewegungswissenschaft
Campus, Gebäude B 8 1
66123 Saarbrücken

Einverständniserklärung

Bitte beachten Sie, dass Ihre Informationen nur in anonymisierter Form weiterverarbeitet werden. Der/die Versuchsleiter/in garantiert den Schutz Ihrer Daten. Nach unserem Kenntnisstand besteht kein körperliches oder geistiges Risiko. Für die Teilnahme gibt es keine finanzielle Entlohnung. Die Teilnahme geschieht freiwillig und kann zu jedem Zeitpunkt von dem/der Teilnehmenden abgebrochen werden. Dadurch entsteht Ihnen kein Nachteil.

- **Ich bin damit einverstanden, an einer wissenschaftlichen Untersuchung zum Thema**

„Scheibentransport“

teilzunehmen.

- **Ich bin ausreichend über den Zweck und Ablauf der Untersuchung informiert worden.**

Name: _____

Straße: _____

PLZ: _____ Ort: _____

Tel./Fax: _____

E-Mail: _____

Ort/Datum

Unterschrift

Hinweise zum Datenschutz:

Die Erfassung, Speicherung und Verarbeitung personenbezogener Daten insbesondere medizinischer Daten ist laut Bundesdatenschutzgesetz dann erlaubt, wenn der Betroffene dazu schriftlich sein Einverständnis gibt und dieses mit seiner Unterschrift bekundet. Dieses muss nach dessen freien Willen geschehen, wobei der Verwendungszweck der Daten eindeutig bekannt sein muss. **Ferner hat der Betroffene jeder Zeit das Recht, seine personenbezogenen Daten einzusehen, zu ändern oder ohne Angabe von Gründen ganz oder teilweise löschen zu lassen.** Bitte wenden Sie sich dazu an obige Adresse.

Anhang 3 – Demographischer Fragebogen für ein Versuchspaar

Partner 1:

Name : _____ Vorname: _____

Alter: _____

Geschlecht: () weiblich () männlich

Körpergröße in cm: _____

Händigkeit: () rechts () links

Sehhilfe: () nein () ja

Sportliche Erfahrungen (regelmäßig betreiben bzw. betrieben haben):

Sportart: _____ von (Jahr) _____ bis (Jahr) _____ Dauer: ____

Sportart: _____ von (Jahr) _____ bis (Jahr) _____ Dauer: ____

Sportart: _____ von (Jahr) _____ bis (Jahr) _____ Dauer: ____

Partner 2:

Name : _____ Vorname: _____

Alter: _____

Geschlecht: () weiblich () männlich

Körpergröße in cm: _____

Händigkeit: () rechts () links

Sehhilfe: () nein () ja

Sportliche Erfahrungen (regelmäßig betreiben bzw. betrieben haben):

Sportart: _____ von (Jahr) _____ bis (Jahr) _____ Dauer: ____

Sportart: _____ von (Jahr) _____ bis (Jahr) _____ Dauer: ____

Sportart: _____ von (Jahr) _____ bis (Jahr) _____ Dauer: ____

Bitte beachten Sie, dass Ihre Informationen nur in anonymisierter Form weiterverarbeitet werden. Der/die Versuchsleiter/in garantiert den Schutz Ihrer Daten. Nach unserem Kenntnisstand besteht kein körperliches oder geistiges Risiko. Für die Teilnahme gibt es keine finanzielle Entlohnung. Die Teilnahme geschieht freiwillig und kann zu jedem Zeitpunkt von dem/der Teilnehmenden abgebrochen werden. Dadurch entsteht Ihnen kein Nachteil.

Ich bin damit einverstanden, an einer wissenschaftlichen Untersuchung zum Thema Basketball teilzunehmen.

Unterschrift (Partner 1)_____
(Unterschrift Partner 2)

Anhang 4 – Exemplarische Instruktion (hier: aus Experiment 9)

„Liebe Versuchspersonen,

es handelt sich um ein motorisches Experiment. Bitte stelle dich an die vom Versuchsleiter vorgegebene Markierung. Deine Aufgabe ist es in aufrechter Haltung einen Basketball durch das vorgegebene Ziel zu passen. Dein Partner / Deine Partnerin soll den Ball fangen und dir wieder zurückpassen können. Die Versuchsleiter zählen wie viele Pässe ihr in der vorgegebenen Zeit von 20 Sekunden schafft. Berücksichtigt dabei allerdings mehr die Genauigkeit als die Geschwindigkeit!

Die Versuchsleiter variieren nach jeweils vier Durchgängen die Größe des Zieles oder die Entfernung zu deinem Partner / deiner Partnerin oder beides. Die Fehler (Verfehlen des Zieles) werden ebenfalls gezählt und euch nach jedem Durchgang mitgeteilt. Das Experiment dauert circa 45 Minuten. Wenn du eine Pause benötigst, teile es dem Versuchsleiter bitte mit.

Viel Spaß beim Experiment!“

Anhang 5 – Durchschnittliche Bewegungszeit (BZ; in ms) für den Transport einer Scheibe in Experiment 1 (SI = Schwierigkeit, MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung, SE = Standardfehler, KI = Konfidenzintervall).

VP	Partner	4,0	5,0	5,6	6,0	6,6	7,0	7,6
1	1	1083	1125	1173	1165	1319	1520	1368
1	1	1053	1008	1196	1222	1313	1253	1512
1	1	1003	1093	1113	1227	1398	1356	1396
2	1	961	1056	1130	1212	1325	1190	1454
2	1	1020	1096	1187	1196	1503	1320	1451
2	1	1012	1002	1192	1255	1342	1247	1462
3	1	1180	1078	1284	1217	1358	1299	1632
3	1	1053	1108	1184	1220	1279	1439	1311
3	1	975	1026	1331	1235	1397	1266	1412
4	1	1020	1034	1098	1196	1345	1287	1310
4	1	950	901	1128	1176	1289	1190	1329
4	1	1016	1009	1065	1122	1350	1130	1287
5	1	827	1121	1127	1232	1277	1268	1578
5	1	832	1057	1162	1266	1471	1090	1252
5	1	755	954	1058	1163	1166	1385	1494
6	1	946	923	1031	1278	1166	1293	1494
6	1	983	1119	1256	1232	1449	1288	1779
6	1	959	995	1298	1162	1394	1254	1364
7	1	1062	1107	1226	1261	1284	1224	1489
7	1	1034	999	1273	1161	1535	1323	1573
7	1	954	983	1249	1197	1404	1456	1469
8	1	991	1095	1193	1155	1317	1368	1523
8	1	931	1098	1074	1270	1355	1379	1621
8	1	1115	1048	1212	1215	1514	1205	1163
9	1	971	915	1091	1275	1282	1238	1483
9	1	1008	987	1101	1198	1290	1388	1704
9	1	891	1045	1213	1380	1262	1379	1412
10	1	1037	952	1054	1089	1174	1106	1160
10	1	942	988	1239	1138	1302	1355	1229
10	1	936	1014	1138	1109	1293	1404	1377
11	1	1141	941	986	1153	1211	1221	1336
11	1	778	986	987	1054	1291	1391	1462
11	1	1048	1014	1016	1228	1225	1272	1366
12	1	993	977	1140	1281	1369	1268	1483
12	1	932	964	1333	1239	1320	1303	1541
12	1	1027	1098	1105	1243	1273	1190	1467
1	2	1030	1056	1337	1257	1375	1544	1502
1	2	954	1100	1265	1238	1560	1346	1655
1	2	980	1252	1138	1372	1345	1356	1707
2	2	1132	1127	1038	1273	1537	1283	1492
2	2	1211	1139	1167	1251	1472	1468	1590
2	2	1153	1101	1202	1328	1401	1488	1613
3	2	1011	1128	1208	1324	1508	1458	1701
3	2	1062	1205	1360	1299	1361	1587	1627

3	2	1150	1175	1341	1316	1690	1478	1675
4	2	1301	1196	1233	1331	1462	1476	1417
4	2	1307	1094	1297	1259	1506	1190	1496
4	2	1107	1084	1340	1412	1552	1130	1492
5	2	869	1096	1296	1203	1349	1394	1638
5	2	1018	1138	1153	1299	1510	1486	1417
5	2	932	1103	1161	1298	1308	1477	1809
6	2	1023	1137	1263	1366	1438	1459	1545
6	2	1107	1182	1373	1301	1536	1545	1901
6	2	1051	1194	1486	1315	1516	1486	1620
7	2	1005	1124	1207	1390	1479	1465	1508
7	2	1307	1171	1232	1244	1509	1457	1773
7	2	1023	1050	1295	1380	1571	1609	1604
8	2	1002	1038	1355	1306	1430	1330	1523
8	2	986	1167	1242	1390	1344	1511	1660
8	2	1021	1143	1232	1173	1481	1428	1340
9	2	1263	1188	1394	1397	1458	1388	1700
9	2	1137	1194	1325	1356	1535	1497	1704
9	2	1078	1217	1294	1526	1380	1545	1637
10	2	1326	1290	1212	1303	1442	1356	1606
10	2	1291	1374	1418	1372	1439	1647	1635
10	2	995	1254	1397	1429	1626	1581	1721
11	2	1158	1042	1394	1284	1336	1258	1347
11	2	978	1122	1113	1112	1303	1547	1485
11	2	938	1064	1191	1198	1246	1279	754
12	2	1191	1128	1234	1261	1431	1387	1558
12	2	1092	1134	1361	1283	1483	1373	1706
12	2	1098	1129	1202	1243	1364	1386	1511
MW	1+2	1037	1087	1214	1257	1390	1364	1506
SD	1+2	119	92	111	88	112	128	177
SE	1+2	14,14	10,87	13,15	10,40	13,30	15,24	21,03
KI	1+2	28,95	21,67	26,21	20,74	26,53	30,38	41,93

Anhang 6 – Durchschnittliche Bewegungszeit (BZ; in ms) für den Transport einer Scheibe in der Einzelbedingung von Experiment 2 (SI = Schwierigkeit, MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung, SE = Standardfehler, KI = Konfidenzintervall).

VP	Partner	4,0	5,0	5,6	6,0	6,6	7,0	7,6
1	1	793	988	1040	1049	1226	1083	1261
1	1	768	904	1071	1100	1251	1091	1168
1	1	813	889	1016	1017	1191	1118	1176
2	1	945	1084	1139	1113	1159	1044	1175
2	1	928	1071	1075	1158	1159	1154	1111
2	1	929	1056	1238	1193	1181	1144	1270
3	1	1046	1010	986	1085	1308	1238	1301
3	1	978	1013	1056	1208	1176	1254	1246
3	1	1009	1056	1041	1089	1338	1259	1381
4	1	994	1128	1071	1089	1276	1166	1330
4	1	810	1059	1276	1094	1281	1381	1440
4	1	753	1158	1191	1034	1276	1151	1191
5	1	943	1069	1034	1034	1061	1198	1431
5	1	956	1012	1221	1131	1448	1221	1346
5	1	826	1048	971	1091	1223	1193	1206
6	1	1101	1123	1111	1122	1286	1248	1191
6	1	960	1213	1261	1161	1268	1266	1221
6	1	933	1191	1164	1109	1193	1196	1221
7	1	788	986	991	1034	1078	1006	1171
7	1	913	979	1066	936	1136	1171	1146
7	1	858	1024	996	1073	1160	1056	1241
8	1	968	1171	1231	1169	1103	1540	1551
8	1	903	1092	1131	1103	1248	1321	1251
8	1	860	1071	1208	1213	1196	1331	1296
9	1	925	1095	918	1221	1356	1268	1279
9	1	881	950	963	1012	1169	1163	1321
9	1	826	926	976	1324	1401	1221	1088
10	1	1176	1029	1051	1128	1226	1240	1321
10	1	931	989	1085	1082	1131	1181	1361
10	1	861	1024	1138	1201	1288	1251	1163
11	1	1109	1071	1111	1146	1251	1454	1345
11	1	1014	1109	1331	1140	1510	1323	1369
11	1	1030	1045	1191	1154	1225	1163	1290
12	1	948	1004	1201	1091	1513	1179	1316
12	1	886	949	1139	1147	1213	1274	1440
12	1	831	989	1263	1063	1326	1205	1371
1	2	836	888	986	953	1056	1046	1296
1	2	838	964	1085	956	1135	1011	1191
1	2	856	1031	968	1056	1175	1186	1276
2	2	791	868	984	994	1280	1010	1226
2	2	836	958	951	966	1286	1071	1115
2	2	796	960	1128	1028	1164	1211	1183
3	2	826	1104	1258	1196	1060	1051	1226
3	2	895	1064	1108	1029	991	1036	1208

3	2	816	958	1121	1009	1251	1070	1251
4	2	993	948	1004	1094	1139	1393	1224
4	2	811	954	939	1044	1088	1119	1378
4	2	823	928	873	1084	980	1091	1201
5	2	865	1083	1048	1064	1323	1436	1321
5	2	866	958	1173	1079	1208	1001	1146
5	2	786	981	1098	1055	1171	1063	1171
6	2	935	1088	1231	1109	1191	1366	1251
6	2	895	1037	1211	1209	1341	1130	1396
6	2	940	1054	1115	1126	1175	1201	1326
7	2	756	869	918	901	1063	1029	986
7	2	686	840	791	1031	935	943	1083
7	2	836	784	931	875	941	1041	981
8	2	736	891	1103	976	1253	1241	1121
8	2	784	851	933	1036	1131	1076	1011
8	2	706	906	1101	1047	1311	1036	1086
9	2	958	911	1036	945	973	1126	1253
9	2	956	865	946	952	1091	936	1246
9	2	811	1013	988	1020	1221	1049	1153
10	2	896	1029	1071	1251	1231	1201	1256
10	2	1068	1032	1018	1100	1298	1333	1388
10	2	1015	1014	1366	1117	1273	1228	1353
11	2	766	789	988	1003	1166	1301	1161
11	2	763	879	873	1013	1060	1043	1193
11	2	701	789	988	854	893	1105	1181
12	2	796	914	1013	979	1136	981	1056
12	2	810	944	996	987	1226	1031	1311
12	2	776	964	1081	1034	1118	1106	1116
MW	1+2	881	996	1075	1073	1197	1167	1240
SD	1+2	102	94	116	89	122	126	111
SE	1+2	12,10	11,19	13,75	10,57	14,53	14,98	13,20
KI	1+2	24,12	22,32	27,41	21,08	28,96	29,87	26,32

Anhang 7 – Durchschnittliche Bewegungszeit (BZ; in ms) für den Transport einer Scheibe in der Paarbedingung von Experiment 2 (SI = Schwierigkeit, MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung, SE = Standardfehler, KI = Konfidenzintervall).

VP	Partner	4,0	5,0	5,6	6,0	6,6	7,0	7,6
1	1	1015	995	1080	1103	1185	1155	1408
1	1	955	968	1310	1050	1300	1155	1355
1	1	980	923	1135	1058	1140	1095	1430
2	1	955	1078	1220	1208	1340	1180	1420
2	1	980	1085	1045	1090	1330	1100	2450
2	1	990	1040	1095	1135	1240	1305	1200
3	1	1040	1148	1170	1265	1233	1305	1555
3	1	985	1150	1170	1210	1247	1150	1365
3	1	1050	1153	1155	1263	1244	1240	1430
4	1	975	1083	1160	1035	1090	1295	1180
4	1	1120	1093	1135	1123	1110	1135	1160
4	1	945	1120	1150	1125	1140	1045	1205
5	1	930	1045	1135	1123	1275	1270	1295
5	1	885	1068	1080	1130	1360	1140	1270
5	1	990	1088	1165	1070	1245	1070	1255
6	1	970	1100	1185	1275	1275	1165	1345
6	1	890	1040	1100	1308	1285	1320	1445
6	1	950	948	1130	1153	1220	1130	1155
7	1	915	1055	985	1085	1200	1170	1235
7	1	870	1025	950	980	1075	1120	1105
7	1	740	1010	975	1018	1190	1070	1180
8	1	1035	1183	1185	1293	1245	1275	1625
8	1	1125	1100	1180	1253	1230	1260	1550
8	1	1035	1053	1280	1285	1315	1185	1275
9	1	955	1088	1215	1075	1475	1425	1295
9	1	850	1115	1065	1088	1245	1210	1190
9	1	915	1108	1125	1050	1225	1360	1320
10	1	1060	1140	1095	1148	1165	1310	1390
10	1	1050	1205	1295	1180	1255	1175	1535
10	1	1120	1148	1170	1190	1445	1295	1380
11	1	910	1015	1055	1093	1170	1205	1315
11	1	915	1010	1050	1155	1395	1260	1355
11	1	900	1016	1025	1168	1150	1060	1385
12	1	1045	1180	1300	1135	1140	1095	1360
12	1	990	1045	1240	1163	1135	1110	1280
12	1	920	1140	1150	1088	1375	1285	1235
1	2	1076	1056	1163	1242	1311	1234	1498
1	2	1033	1035	1383	1160	1613	1205	1503
1	2	1041	995	1188	1128	1218	1164	1509
2	2	975	1113	1275	1244	1360	1221	1490
2	2	995	1123	1085	1187	1400	1158	1385
2	2	998	1086	1121	1172	1295	1375	1236
3	2	1083	1219	1236	1341	1321	1361	1663
3	2	1035	1209	1231	1306	1351	1255	1476

3	2	1151	1243	1211	1319	1318	1296	1540
4	2	1026	1159	1225	1174	1158	1371	1235
4	2	1171	1146	1230	1201	1136	1246	1195
4	2	975	1199	1196	1193	1265	1121	1480
5	2	980	1111	1215	1190	1435	1365	1396
5	2	955	1116	1150	1243	1503	1294	1383
5	2	1063	1164	1225	1146	1381	1138	1361
6	2	1041	1176	1253	1365	1383	1280	1450
6	2	960	1119	1180	1393	1411	1375	1536
6	2	1036	1069	1176	1256	1321	1228	1271
7	2	954	1113	1021	1134	1245	1275	1308
7	2	933	1094	1003	1057	1211	1210	1211
7	2	779	1146	1011	1073	1266	1171	1245
8	2	1083	1243	1338	1340	1406	1358	1679
8	2	1168	1160	1251	1337	1296	1338	1608
8	2	1075	1119	1361	1380	1364	1266	1383
9	2	1003	1157	1273	1168	1548	1504	1378
9	2	889	1176	1134	1176	1333	1263	1289
9	2	974	1181	1273	1128	1285	1428	1381
10	2	1150	1197	1174	1223	1269	1381	1561
10	2	1216	1282	1383	1231	1345	1263	1618
10	2	1196	1229	1261	1266	1498	1346	1466
11	2	924	1068	1086	1138	1213	1271	1336
11	2	935	1079	1070	1206	1426	1318	1369
11	2	906	1051	1046	1186	1174	1143	1406
12	2	1101	1246	1353	1209	1210	1171	1415
12	2	1046	1096	1321	1241	1185	1148	1375
12	2	960	1182	1208	1147	1428	1351	1350
MW	1+2	998	1110	1170	1181	1286	1236	1388
SD	1+2	91	75	101	92	112	101	183
SE	1+2	10,80	8,85	11,94	10,92	13,31	11,95	21,68
KI	1+2	21,54	17,65	23,81	21,78	26,55	23,82	43,22

Anhang 8 – Durchschnittliche Bewegungszeit (BZ; in ms) für den Transport einer Scheibe in der in Experiment 3 (SI = Schwierigkeit, MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung, SE = Standardfehler, KI = Konfidenzintervall).

VP	Partner	4,0	5,0	5,6	6,0	6,6	7,0	7,6
1	1	580	682,5	590	713	740	690	650
1	1	715	747,5	585	729	620	660	640
1	1	710	702,5	645	693	725	725	760
2	1	605	632,5	660	666	660	710	735
2	1	700	662,5	565	622	695	600	760
2	1	660	610	605	671	830	785	785
3	1	915	785	610	778	923,75	835	840
3	1	785	690	740	700	755	830	755
3	1	795	772,5	740	813	715	675	910
4	1	755	682,5	715	653	620	725	810
4	1	785	660	610	743	725	675	770
4	1	860	605	730	628	720	720	770
5	1	775	755	860	785	870	800	870
5	1	885	730	920	750	825	850	1000
5	1	960	850	710	813	965	830	905
6	1	840	637,5	570	638	660	825	760
6	1	730	767,5	535	678	615	650	825
6	1	680	635	540	678	775	755	705
7	1	700	750	650	703	880	655	925
7	1	620	920	565	838	990	985	877,5
7	1	770	660	665	718	815	835	775
8	1	635	717,5	735	649	860	805	840
8	1	660	725	610	730	695	765	965
8	1	835	732,5	645	655	695	815	1030
9	1	655	712,5	715	613	750	830	875
9	1	795	755	675	648	740	850	740
9	1	550	635	765	660	805	865	820
10	1	820	822,5	685	815	745	720	770
10	1	710	717,5	750	695	775	885	780
10	1	785	787,5	670	733	705	665	885
11	1	590	512,5	620	645	595	810	740
11	1	620	565	655	563	690	655	810
11	1	725	575	520	570	725	630	655
12	1	585	590	865	648	635	785	775
12	1	770	700	695	644	605	665	700
12	1	885	740	745	633	670	655	730
1	2	601	729	811	679	668	706	855
1	2	608	621	735	772	765	880	856
1	2	785	706	739	728	680	836	850
2	2	900	753	630	735	690	656	786
2	2	786	670	670	676	856	736	854
2	2	750	816	564	709	753	691	830
3	2	751	763	781	653	836	735	916
3	2	629	679	640	662	790	813	756

3	2	851	618	703	741	750	725	835
4	2	826	754	703	781	710	813	810
4	2	726	762	768	781	881	709	770
4	2	809	780	663	773	690	623	770
5	2	916	863	749	914	706	970	991
5	2	1016	809	876	956	851	838	915
5	2	906	938	918	792	870	1021	1035
6	2	735	799	721	691	795	792	880
6	2	820	671	670	776	760	843	886
6	2	751	844	760	756	661	746	791
7	2	951	842	798	784	818	906	886
7	2	975	1106	841	866	1055	880	788
7	2	816	865	734	826	711	796	893
8	2	846	929	821	800	770	709	751
8	2	1000	749	780	721	826	754	729
8	2	1073	770	706	745	881	778	918
9	2	970	813	563	731	636	785	821
9	2	760	828	538	739	798	695	923
9	2	855	844	631	753	641	848	665
10	2	756	743	791	791	980	858	880
10	2	805	869	769	818	756	741	880
10	2	846	659	708	776	795	825	890
11	2	796	789	785	724	776	686	825
11	2	845	852	696	761	786	830	825
11	2	826	809	701	763	920	888	926
12	2	823	816	780	916	868	644	790
12	2	765	711	686	863	916	878	910
12	2	819	796	681	879	911	839	1085
MW	1+2	780	744	698	732	769	773	829
SD	1+2	114	99	92	80	101	91	91
SE	1+2	13,48	11,78	10,95	9,55	11,96	10,78	10,85
KI	1+2	26,89	23,50	21,84	19,05	23,85	21,49	21,64

Anhang 9 – Durchschnittliche Bewegungszeit (BZ; in ms) für das Werfen eines Balles in Experiment 4 (SI = Schwierigkeit, MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung, SE = Standardfehler, KI = Konfidenzintervall).

VP	Partner	2,2	2,8	3,2	3,4	3,8	4,0	4,4
1	1	1196	1624	1712	1713	2077	2426	2386
1	1	1186	1673	1765	1703	2109	2347	2371
1	1	1257	1587	1791	1637	2561	2129	2057
2	1	1068	1168	1287	1348	1766	1782	1794
2	1	1047	1100	1354	1274	1787	1513	1597
2	1	1101	1101	1347	1192	1915	1651	1624
3	1	1312	1099	1308	1260	1628	1364	1387
3	1	1128	1214	1212	1284	1699	1598	1544
3	1	1025	1060	1119	1277	1645	1570	1556
4	1	1001	1362	1764	1498	1855	2160	2201
4	1	964	1392	1745	1525	1821	2098	2168
4	1	897	1424	1780	1579	1844	2149	2156
5	1	1187	1251	1467	1606	1729	1555	1574
5	1	1212	1224	1481	1627	1622	1527	1523
5	1	1179	1308	1355	1481	1457	1496	1499
6	1	1039	1055	1248	1228	1199	1525	1502
6	1	962	1045	1238	1094	1135	1423	1487
6	1	1011	1113	1371	1103	1097	1489	1468
7	1	1302	1445	1801	1920	1912	2485	2411
7	1	1241	1380	1954	1701	2113	2765	2790
7	1	1230	1402	1814	1990	2035	2621	2635
8	1	1512	1504	1726	1645	2253	2214	2188
8	1	1602	1492	1672	1619	2089	2087	2112
8	1	1671	1445	1818	1644	2076	2078	2077
9	1	1184	1083	1456	1184	1593	1739	1735
9	1	987	978	1413	1278	1612	1866	1877
9	1	1100	1022	1381	1190	1499	1731	1735
10	1	821	987	1022	1241	1209	1465	1722
10	1	872	977	1001	1097	1226	1473	1454
10	1	954	947	978	1148	1129	1520	1510
11	1	1022	1342	1724	1684	2121	2328	2312
11	1	1068	1479	1631	1709	2049	2285	2274
11	1	1120	1477	1674	1580	1987	2125	2289
12	1	1287	1259	1523	1542	1924	1681	2598
12	1	1236	1287	1678	1581	1929	1689	2866
12	1	1235	1404	1544	1512	1926	1795	2432
1	2	1215	1670	1730	1716	2085	2476	3048
1	2	1129	1668	1766	1703	2109	2336	3484
1	2	1344	1584	1781	1637	2559	2134	3055
2	2	1046	1209	1328	1348	1754	1773	2520
2	2	1090	1143	1353	1274	1781	1508	2671
2	2	1094	1091	1344	1189	1918	1653	2816
3	2	925	1118	1301	1260	1633	1368	1851
3	2	938	1184	1176	1279	1704	1598	1836

3	2	926	1068	1226	1277	1649	1570	1875
4	2	1414	1334	1754	1495	1871	2160	2326
4	2	1234	1368	1723	1523	1828	2098	2316
4	2	1208	1442	1743	1576	1860	2149	2383
5	2	1210	1297	1476	1606	1739	1566	2085
5	2	1211	1217	1450	1627	1605	1513	2090
5	2	1179	1256	1344	1486	1469	1480	2304
6	2	914	1066	1231	1231	1238	1500	1769
6	2	844	1039	1274	1094	1175	1423	1594
6	2	765	1101	1238	1103	1098	1489	1600
7	2	1101	1473	1769	1920	1929	2485	2524
7	2	1090	1375	1976	1701	2118	2765	2581
7	2	1085	1395	1860	1990	2043	2621	2460
8	2	1500	1480	1796	1645	2230	2214	2296
8	2	1504	1489	1664	1619	2106	2094	2333
8	2	1581	1476	1715	1644	2090	2078	2165
9	2	1206	1098	1425	1184	1610	1739	1840
9	2	945	996	1398	1278	1633	1866	1930
9	2	945	1029	1426	1190	1514	1731	2048
10	2	871	998	1403	1246	1199	1465	1746
10	2	871	978	1211	1092	1219	1473	1544
10	2	821	941	1278	1148	1129	1520	1574
11	2	1191	1373	1723	1684	2144	2328	2566
11	2	1055	1486	1601	1709	2066	2285	2449
11	2	1048	1484	1695	1580	1980	2125	2454
12	2	1351	1256	1530	1542	1914	1698	2574
12	2	1259	1279	1691	1584	1929	1689	2833
12	2	1219	1405	1660	1523	1918	1793	2438
MW	1+2	1133	1272	1517	1464	1770	1882	2123
SD	1+2	194	203	243	238	348	384	469
SE	1+2	23,01	24,10	28,87	28,30	41,28	45,56	55,66
KI	1+2	45,88	48,05	57,56	56,44	82,31	90,85	110,99

Anhang 10 – Durchschnittliche Bewegungsfehler (BF; in %) beim Werfen der Bälle in Experiment 4 (SI = Schwierigkeit, MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung, SE = Standardfehler, KI = Konfidenzintervall).

VP	Partner	2,2	2,8	3,2	3,4	3,8	4,0	4,4
1	1+2	0,00	9,38	18,75	12,50	18,75	31,25	50,00
1	1+2	0,00	3,13	12,50	6,25	12,50	31,25	31,25
1	1+2	0,00	0,00	18,75	6,25	31,25	31,25	43,75
2	1+2	0,00	0,00	0,00	6,25	25,00	6,25	18,75
2	1+2	0,00	3,13	6,25	3,13	31,25	25,00	31,25
2	1+2	0,00	3,13	18,75	9,38	18,75	25,00	37,50
3	1+2	6,25	3,13	0,00	15,63	12,50	25,00	12,50
3	1+2	0,00	9,38	18,75	9,38	0,00	31,25	31,25
3	1+2	0,00	0,00	0,00	25,00	12,50	31,25	18,75
4	1+2	0,00	9,38	12,50	18,75	18,75	18,75	37,50
4	1+2	0,00	3,13	18,75	15,63	18,75	18,75	18,75
4	1+2	0,00	6,25	25,00	12,50	18,75	31,25	37,50
5	1+2	0,00	0,00	6,25	18,75	18,75	12,50	25,00
5	1+2	0,00	0,00	6,25	18,75	31,25	18,75	31,25
5	1+2	0,00	6,25	12,50	21,88	18,75	31,25	25,00
6	1+2	0,00	18,75	31,25	12,50	25,00	37,50	31,25
6	1+2	6,25	9,38	18,75	12,50	18,75	31,25	37,50
6	1+2	0,00	21,88	25,00	21,88	18,75	18,75	37,50
7	1+2	0,00	0,00	0,00	18,75	18,75	25,00	31,25
7	1+2	0,00	0,00	18,75	6,25	25,00	31,25	12,50
7	1+2	0,00	6,25	6,25	18,75	18,75	25,00	31,25
8	1+2	0,00	6,25	0,00	15,63	25,00	37,50	37,50
8	1+2	0,00	0,00	6,25	3,13	25,00	18,75	31,25
8	1+2	12,50	0,00	25,00	6,25	31,25	25,00	37,50
9	1+2	0,00	0,00	12,50	9,38	0,00	31,25	31,25
9	1+2	0,00	3,13	25,00	6,25	6,25	25,00	12,50
9	1+2	0,00	0,00	0,00	9,38	12,50	18,75	12,50
10	1+2	0,00	9,38	31,25	9,38	18,75	18,75	31,25
10	1+2	0,00	0,00	0,00	6,25	18,75	12,50	37,50
10	1+2	0,00	6,25	6,25	15,63	18,75	31,25	6,25
11	1+2	0,00	0,00	18,75	6,25	25,00	37,50	37,50
11	1+2	0,00	15,63	12,50	3,13	25,00	31,25	18,75
11	1+2	0,00	12,50	31,25	3,13	6,25	25,00	37,50
12	1+2	6,25	12,50	12,50	15,63	25,00	31,25	50,00
12	1+2	12,50	9,38	18,75	25,00	25,00	18,75	31,25
12	1+2	18,75	15,63	18,75	21,88	31,25	25,00	31,25
MW	1+2	1,74	5,64	13,72	12,41	19,62	25,69	29,86
SD	1+2	4,38	6,01	9,78	6,62	8,07	7,44	10,58
SE	1+2	0,74	1,02	1,65	1,12	1,36	1,26	1,79
KI	1+2	1,50	2,06	3,35	2,27	2,77	2,55	3,63

Anhang 11 – Durchschnittliche Bewegungszeit (BZ; in ms) für das Werfen eines Balles in der Einzelbedingung von Experiment 5 (SI = Schwierigkeit, MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung, SE = Standardfehler, KI = Konfidenzintervall).

VP	Partner	2,2	2,8	3,2	3,4	3,8	4,0	4,4
1	1	1393	1435	1563	1793	1889	1813	1944
1	1	1329	1362	1615	1827	1870	1756	2061
1	1	1358	1404	1728	1821	2025	1835	2149
2	1	1345	1643	1775	1979	2453	2390	1928
2	1	1353	1476	1830	1778	2393	2130	1821
2	1	1296	1519	2001	1876	2394	2170	1975
3	1	1303	1464	1601	1773	2038	2044	1895
3	1	1176	1388	1721	1691	1960	1871	1941
3	1	1163	1408	1640	1633	1976	2003	2061
4	1	1085	1451	1593	1611	1584	1760	1803
4	1	1065	1394	1459	1511	1501	1560	1813
4	1	1050	1349	1490	1499	1566	1664	1655
5	1	905	1056	1175	1265	1424	1478	1540
5	1	883	973	1278	1346	1579	1285	1536
5	1	945	1013	1133	1184	1683	1394	1755
6	1	945	1400	1228	1689	2068	2255	1976
6	1	913	1328	1231	1826	1990	2336	2091
6	1	843	1247	1195	1701	1996	2329	2143
7	1	2138	2304	2473	2846	2853	3176	3385
7	1	1796	2369	2763	2801	2580	3033	3186
7	1	1834	2522	2635	2776	2603	3015	3211
8	1	1340	1508	1739	1764	2430	2199	2169
8	1	1204	1509	1579	1729	2386	1949	2320
8	1	1234	1539	1569	1555	2129	2046	2278
9	1	1633	1912	2298	2264	2281	2364	2320
9	1	1625	1860	2191	2311	2414	2359	2410
9	1	1656	1806	2214	2231	2226	2238	2399
10	1	1199	1383	1301	1396	1583	1520	1563
10	1	954	1258	1360	1361	1410	1460	1520
10	1	1148	1246	1329	1317	1513	1741	1636
11	1	1328	1714	1953	1978	2383	2055	2550
11	1	1363	1625	1594	1936	2586	1750	2441
11	1	1180	1793	1520	2035	2688	1805	2188
12	1	1370	1496	1793	1786	1934	1899	1918
12	1	1254	1507	1926	1797	1758	1918	1988
12	1	1214	1439	1789	1791	1930	1778	2024
13	1	2316	2076	2473	2545	2293	2219	2688
13	1	2034	2000	2348	2573	2383	2004	2524
13	1	1918	2091	2363	2419	2254	2399	2449
14	1	1528	1315	1489	1471	1473	1480	1879
14	1	1414	1252	1375	1544	1508	1508	1778
14	1	1375	1291	1316	1464	1644	1438	1793
15	1	1053	1211	1570	1402	1743	2198	2180
15	1	1100	1219	1678	1498	1706	2015	2258

15	1	1050	1209	1514	1376	1366	2068	2248
1	2	810	962	983	1024	1025	1063	1083
1	2	794	924	1160	1054	1044	1059	1151
1	2	736	958	1051	1077	1088	1168	1196
2	2	1333	1554	1638	1648	1843	1883	2210
2	2	1178	1395	1660	1620	1856	1698	2253
2	2	1168	1429	1769	1476	1788	1620	2414
3	2	1294	1455	1658	1667	2084	1968	1834
3	2	1209	1410	1515	1608	1813	1981	2140
3	2	1268	1421	1634	1704	1784	1994	2376
4	2	995	1152	1195	1376	1353	1308	1538
4	2	1076	1230	1194	1299	1290	1321	1828
4	2	915	1159	1194	1292	1169	1463	1418
5	2	1066	1259	1344	1379	1511	1520	1605
5	2	1173	1284	1258	1243	1456	1625	1699
5	2	1235	1209	1469	1293	1574	1484	1710
6	2	908	1128	1320	1177	1160	1433	1545
6	2	926	1043	1118	1229	1166	1370	1424
6	2	860	1074	1135	1206	1343	1349	1533
7	2	663	1234	980	1121	1238	1103	1510
7	2	608	1033	1013	1124	1198	1140	1450
7	2	680	981	833	989	1125	1075	1436
8	2	1575	1703	1851	1813	2134	2246	2244
8	2	1583	1620	1789	1762	2118	2179	2374
8	2	1625	1610	1754	1709	2191	2191	2671
9	2	1649	1705	2228	2149	2226	2441	3050
9	2	1743	1551	2199	2037	2406	2520	3071
9	2	1860	1689	2563	1975	2445	2704	2606
10	2	934	1028	984	1123	1298	1199	2043
10	2	855	939	1035	1088	1223	1211	2000
10	2	918	904	930	1004	1309	1223	2098
11	2	1136	1373	1485	1531	1449	2375	2008
11	2	1204	1289	1320	1501	1399	1884	2328
11	2	1136	1244	1406	1537	1336	2039	2340
12	2	1243	1276	1489	1595	1676	1540	1746
12	2	1320	1252	1461	1420	1618	1641	1601
12	2	1141	1293	1445	1498	1563	1656	1559
13	2	1063	1318	1555	1367	1606	1519	1871
13	2	1013	1256	1496	1403	1660	1340	2121
13	2	949	1268	1434	1414	1665	1555	2204
14	2	1331	1459	1551	1536	1603	1590	1875
14	2	1515	1449	1566	1542	1531	1649	1808
15	2	1049	1086	1214	1204	1488	1645	1740
15	2	933	989	1191	1132	1363	1593	1646
15	2	926	969	1205	1202	1351	1526	1395
MW	1+2	1228	1397	1569	1616	1785	1816	2010
SD	1+2	314	285	382	349	380	414	438
SE	1+2	47	43	58	53	57	62	66
KI	1+2	95	86	116	106	116	126	133

Anhang 12 – Durchschnittliche Bewegungszeit (BZ; in ms) für das Werfen eines Balles in der Paarbedingung von Experiment 5 (SI = Schwierigkeit, MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung, SE = Standardfehler, KI = Konfidenzintervall).

VP	Partner	2,2	2,8	3,2	3,4	3,8	4,0	4,4
1	1+2	1301	1361	1439	1561	1541	1505	1873
1	1+2	1210	1388	1418	1540	1544	1496	1778
1	1+2	1145	1373	1418	1526	1625	1695	1885
2	1+2	1695	2022	2264	2070	2376	2539	2619
2	1+2	1531	1934	2273	2122	2383	2506	2435
2	1+2	1665	1873	2408	2094	2383	2371	2761
3	1+2	1525	1631	1986	1863	2309	2315	2458
3	1+2	1465	1686	2140	1938	2443	2246	2594
3	1+2	1476	1668	2189	1957	2286	2189	2621
4	1+2	1479	1549	1810	1801	2455	2235	2745
4	1+2	1433	1574	1919	1652	2381	2315	2803
4	1+2	1373	1588	1861	1688	2221	2073	2548
5	1+2	1303	1440	1806	1762	2138	1904	2434
5	1+2	1151	1455	1901	1819	2030	1985	2504
5	1+2	1223	1467	1914	1694	2213	2196	2388
6	1+2	1278	1411	2015	1569	1873	2359	2615
6	1+2	1195	1296	1996	1593	1900	2243	2656
6	1+2	1155	1263	2050	1596	1886	2270	2745
7	1+2	1728	1984	2593	2788	2639	3806	3428
7	1+2	1604	1780	2913	2789	2540	3839	3726
7	1+2	1380	1774	2536	2673	2821	3505	4096
8	1+2	2098	2209	2394	2580	2778	2669	3195
8	1+2	2043	2264	2234	2536	2673	2793	3066
8	1+2	1941	2199	2211	2411	2750	2875	3278
9	1+2	2153	2436	2581	3160	2724	3054	4700
9	1+2	2309	2359	2434	2901	2890	2816	3853
9	1+2	2156	2422	2676	2888	2953	2890	3848
10	1+2	1309	1371	1559	1681	1939	2140	2403
10	1+2	1151	1309	1645	1668	1755	2050	2368
10	1+2	1149	1236	1601	1519	1743	2036	2293
11	1+2	1446	1563	2094	1811	2465	2153	3070
11	1+2	1508	1498	2059	1838	2089	2200	2653
11	1+2	1458	1393	1851	1811	2261	2524	2641
12	1+2	1430	1891	1996	2121	2516	2148	2675
12	1+2	1211	1840	1898	2137	2418	2301	2808
12	1+2	1414	1930	1978	2083	2504	2270	2653
13	1+2	1725	1889	1918	2383	2500	2875	3418
13	1+2	1550	1649	1891	2121	2215	2794	3410
13	1+2	1394	1643	1959	2138	2368	2750	3285
14	1+2	1583	1775	2101	1887	1969	2066	2329
14	1+2	1551	1771	2019	1888	2008	2031	2300
14	1+2	1601	1764	1921	1878	2028	2046	2228
15	1+2	1166	1268	1591	1528	1670	2125	2604
15	1+2	1109	1154	1490	1551	1911	2328	2686

15	1+2	1104	1236	1396	1452	1746	2195	2431
MW	1+2	1486	1680	2008	2001	2241	2394	2798
SD	1+2	304	336	351	437	371	493	588
SE	1+2	46	51	53	66	56	74	89
KI	1+2	92	102	107	133	113	150	179

Anhang 13 – Durchschnittliche Bewegungsfehler (BF; in %) beim Werfen der Bälle in der Einzelbedingung von Experiment 5 (SI = Schwierigkeit, MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung, SE = Standardfehler, KI = Konfidenzintervall).

VP	Partner	2,2	2,8	3,2	3,4	3,8	4,0	4,4
1	1	0,00	0,00	25,00	25,00	33,33	25,00	37,50
2	1	8,33	16,67	25,00	20,83	33,33	50,00	41,67
3	1	0,00	0,00	0,00	2,08	4,17	12,50	25,00
4	1	0,00	10,42	8,33	8,33	20,83	25,00	29,17
5	1	0,00	2,08	12,50	22,92	16,67	33,33	29,17
6	1	0,00	8,33	16,67	18,75	20,83	33,33	37,50
7	1	4,17	8,33	16,67	22,92	29,17	29,17	29,17
8	1	4,17	0,00	4,17	14,58	25,00	25,00	29,17
9	1	0,00	8,33	12,50	8,33	12,50	29,17	33,33
10	1	0,00	2,08	12,50	10,42	29,17	29,17	25,00
11	1	0,00	10,42	12,50	29,17	33,33	29,17	33,33
12	1	0,00	4,17	8,33	20,83	16,67	16,67	29,17
13	1	0,00	8,33	8,33	25,00	16,67	41,67	37,50
14	1	0,00	0,00	0,00	0,00	8,33	8,33	20,83
15	1	0,00	12,50	20,83	6,25	29,17	33,33	29,17
1	2	0,00	8,33	20,83	12,50	12,50	16,67	29,17
2	2	0,00	2,08	16,67	10,42	20,83	25,00	45,83
3	2	0,00	2,08	4,17	2,08	16,67	4,17	20,83
4	2	0,00	4,17	4,17	18,75	20,83	29,17	16,67
5	2	20,83	18,75	25,00	20,83	25,00	25,00	41,67
6	2	0,00	2,08	4,17	10,42	12,50	16,67	25,00
7	2	0,00	2,08	0,00	6,25	12,50	20,83	25,00
8	2	0,00	10,42	12,50	16,67	25,00	29,17	29,17
9	2	0,00	2,08	0,00	8,33	16,67	29,17	16,67
10	2	8,33	4,17	0,00	16,67	33,33	25,00	29,17
11	2	4,17	18,75	20,83	22,92	16,67	37,50	37,50
12	2	20,83	16,67	25,00	25,00	29,17	29,17	33,33
13	2	0,00	8,33	20,83	12,50	25,00	16,67	33,33
14	2	8,33	2,08	4,17	12,50	8,33	25,00	29,17
15	2	4,17	6,25	12,50	12,50	29,17	54,17	45,83
MW	1+2	2,78	6,67	11,81	14,79	21,11	26,81	30,83
SD	1+2	4,89	5,78	8,65	7,73	8,37	10,81	7,46
SE	1+2	1,31	1,54	2,31	2,07	2,24	2,89	1,99
KI	1+2	2,80	3,31	4,96	4,43	4,80	6,20	4,28

Anhang 14 – Durchschnittliche Bewegungsfehler (BF; in %) beim Werfen der Bälle in der Paarbedingung von Experiment 5 (SI = Schwierigkeit, MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung, SE = Standardfehler, KI = Konfidenzintervall).

VP	Partner	2,2	2,8	3,2	3,4	3,8	4,0	4,4
1	1+2	0,00	4,17	6,25	11,46	20,83	31,25	31,25
2	1+2	2,08	4,17	25,00	21,88	22,92	39,58	39,58
3	1+2	0,00	0,00	10,42	10,42	10,42	18,75	31,25
4	1+2	0,00	5,21	10,42	10,42	29,17	29,17	31,25
5	1+2	2,08	15,63	12,50	23,96	22,92	22,92	39,58
6	1+2	0,00	2,08	14,58	17,71	4,17	16,67	37,50
7	1+2	4,17	1,04	12,50	12,50	18,75	27,08	31,25
8	1+2	2,08	7,29	4,17	12,50	27,08	27,08	29,17
9	1+2	0,00	4,17	10,42	17,71	16,67	18,75	41,67
10	1+2	2,08	4,17	12,50	11,46	20,83	29,17	31,25
11	1+2	0,00	6,25	16,67	14,58	16,67	20,83	37,50
12	1+2	6,25	10,42	12,50	6,25	22,92	18,75	33,33
13	1+2	2,08	6,25	6,25	9,38	20,83	25,00	29,17
14	1+2	0,00	1,04	14,58	6,25	12,50	14,58	27,08
15	1+2	0,00	3,13	14,58	15,63	29,17	39,58	54,17
MW	1+2	1,39	5,00	12,22	13,47	19,72	25,28	35,00
SD	1+2	1,87	3,98	4,97	5,16	6,90	7,67	6,92
SE	1+2	0,50	1,06	1,33	1,38	1,85	2,05	1,85
KI	1+2	1,07	2,28	2,85	2,96	3,96	4,40	3,97

Anhang 15 – Durchschnittliche Bewegungszeit (BZ; in ms) für das Werfen eines Balles in Experiment 6 (SI = Schwierigkeit, MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung, SE = Standardfehler, KI = Konfidenzintervall).

VP	Partner	2,2	2,8	3,2	3,4	3,8	4,0	4,4
1	1	1445	1678	1705	1560	1698	1600	1625
1	1	1570	1685	1570	1555	1810	1530	1515
1	1	1695	1650	1575	1633	1700	1490	1380
2	1	2400	2108	2020	1988	2050	2100	2040
2	1	2335	2088	2250	1945	1998	2125	2060
2	1	2295	2265	2040	1948	1941	2095	2200
3	1	1575	1553	1745	1553	1773	1840	2055
3	1	1880	1527	1675	1653	1705	1735	1885
3	1	1835	1585	1580	1594	1593	1745	1860
4	1	1510	1455	1460	1395	1660	1495	1680
4	1	1595	1395	1435	1355	1530	1305	1820
4	1	1460	1333	1295	1335	1325	1415	1715
5	1	1530	1560	1650	1473	1778	1725	1640
5	1	1675	1468	1670	1528	1565	1715	2170
5	1	1560	1505	1755	1420	1575	1615	1630
6	1	1615	1478	1515	1528	1503	1715	1535
6	1	1805	1458	1535	1320	1533	1715	1585
6	1	1660	1418	1235	1255	1508	1665	1505
7	1	2020	1715	1800	1673	1943	1955	2170
7	1	1800	1753	1880	1665	1643	1840	2185
7	1	1750	1513	1710	1678	1790	2190	2135
8	1	1785	1603	2235	1800	1850	1805	1815
8	1	1720	1603	1915	1770	1743	1985	1730
8	1	1805	1625	2015	1735	1715	1725	2155
9	1	1405	1265	1235	1308	1383	1355	1570
9	1	1440	1345	1350	1348	1398	1385	1490
9	1	1360	1400	1185	1280	1398	1445	1565
10	1	1690	1873	1810	1783	1860	2015	2420
10	1	1660	1745	1885	1793	1798	2015	2320
10	1	1760	1683	1665	1738	1818	2080	2010
11	1	1790	1903	1565	1538	1743	1645	2000
11	1	1705	1858	1605	1365	1603	1530	1785
11	1	1950	1828	1785	1208	1708	1590	2055
12	1	1410	1570	1335	1420	1545	1590	1650
12	1	1400	1558	1375	1465	1520	1585	1790
12	1	1480	1590	1230	1580	1500	1605	1830
13	1	1430	1240	1410	1430	1368	1565	1735
13	1	1485	1180	1525	1343	1450	1590	1790
13	1	1460	1208	1285	1380	1498	1480	1665
14	1	1625	1520	1585	1548	1665	1695	1695
14	1	1620	1505	1510	1545	1630	1640	1600
14	1	1560	1515	1510	1465	1638	1660	1635
15	1	1275	1183	1275	1205	1425	1190	1330
15	1	1305	1168	1250	1165	1343	1235	1465

15	1	1100	1135	1210	1133	1278	1365	1340
16	1	1680	1530	1685	1473	1750	1800	1920
16	1	1800	1463	1765	1510	1633	1820	1860
16	1	1795	1460	1580	1443	1678	1805	1905
17	1	1645	1553	1320	1518	1448	1490	1680
17	1	1680	1535	1375	1388	1468	1490	1625
17	1	1745	1430	1300	1438	1413	1435	1625
18	1	1300	1368	1430	1253	1318	1540	1520
18	1	1295	1260	1305	1183	1350	1570	1445
18	1	1280	1220	1345	1143	1358	1415	1380
19	1	1575	1480	1350	1298	1403	1395	1640
19	1	1855	1385	1335	1235	1375	1445	1375
19	1	1835	1345	1285	1330	1463	1380	1680
20	1	1855	1618	1440	1430	1665	1675	1595
20	1	1860	1508	1625	1493	1575	1575	1465
20	1	1715	1408	1465	1493	1535	1575	1530
1	2	1615	1708	1830	1710	1843	1795	1545
1	2	1528	1698	1915	1643	1773	1800	1675
1	2	1395	1665	1730	1698	1723	1755	1840
2	2	2225	2285	2100	2128	2405	2130	2630
2	2	2200	2238	2055	2110	2375	2255	2500
2	2	2335	2223	1940	2118	2323	2430	2450
3	2	2055	1870	1920	1675	1974	1640	1700
3	2	1980	1825	1765	1743	1770	1645	1990
3	2	2040	1838	1550	1698	1658	1725	1975
4	2	1755	1465	2130	1460	1653	1335	1605
4	2	1885	1335	1940	1405	1565	1380	1740
4	2	1775	1343	1565	1410	1438	1315	1565
5	2	1725	2028	1505	1623	1670	1770	1985
5	2	2270	1905	1380	1633	1735	1515	1875
5	2	1680	1768	1455	1525	1828	1615	1735
6	2	1575	1700	1715	1713	1688	1485	1810
6	2	1665	1663	1775	1435	1645	1575	2000
6	2	1540	1568	1890	1413	1390	1575	1815
7	2	2315	2085	2005	1824	1925	1795	2140
7	2	2365	1823	1780	1723	1863	2000	1930
7	2	2240	2113	1880	1715	1690	1670	1905
8	2	1980	2013	1815	1928	2108	1750	1920
8	2	1845	2063	1785	1883	1880	1735	1920
8	2	2265	1895	1745	1883	1985	1725	1995
9	2	1605	1363	1535	1375	1313	1375	1495
9	2	1555	1435	1485	1393	1393	1485	1570
9	2	1620	1458	1530	1378	1373	1475	1500
10	2	2530	2100	1935	1895	1958	2000	1818
10	2	2430	1985	1935	1893	1870	1995	1795
10	2	2125	2060	1915	1803	1730	1885	1910
11	2	2145	1678	2025	1598	1860	1990	1945
11	2	1935	1758	1605	1448	1913	1975	1840
11	2	2195	1845	1645	1273	1968	1980	2135

12	2	1700	1583	1655	1480	1515	1720	1530
12	2	1820	1648	1495	1555	1525	1685	1480
12	2	1900	1555	1640	1660	1465	1750	1620
13	2	1750	1475	1575	1573	1465	1280	1585
13	2	1795	1573	1510	1435	1633	1260	1670
13	2	1710	1513	1560	1513	1358	1360	1595
14	2	1785	1773	1805	1603	1693	1585	1790
14	2	1650	1730	1750	1648	1625	1600	1825
14	2	1690	1735	1795	1568	1663	1590	1720
15	2	1315	1333	1490	1248	1193	1515	1405
15	2	1455	1335	1335	1210	1168	1425	1495
15	2	1330	1368	1275	1195	1228	1300	1205
16	2	1980	2000	1575	1563	1700	1635	1795
16	2	1895	1918	1455	1635	1793	1510	1995
16	2	1945	1920	1550	1549	1655	1535	1940
17	2	1760	1508	1675	1623	1595	1860	1810
17	2	1710	1523	1710	1498	1500	1755	1930
17	2	1725	1483	1670	1520	1453	1660	1925
18	2	1535	1438	1520	1330	1465	1505	1400
18	2	1510	1448	1540	1255	1340	1465	1380
18	2	1440	1390	1510	1198	1290	1455	1400
19	2	1655	1503	1410	1408	1610	1500	1785
19	2	1465	1555	1470	1368	1543	1475	2045
19	2	1795	1585	1495	1438	1523	1320	1970
20	2	1645	1730	1885	1560	1638	1915	1960
20	2	1510	1700	1760	1653	1660	1800	2020
20	2	1575	1640	1780	1628	1530	1695	1845
MW	1+2	1738	1622	1626	1534	1633	1654	1779
SD	1+2	273,05	241,96	229,81	211,61	225,82	238,05	264,73
SE	1+2	35,55	31,50	29,92	27,55	29,40	30,99	34,47
KI	1+2	71,13	63,03	59,87	55,13	58,83	62,01	68,97

Anhang 16 – Durchschnittliche Bewegungsfehler (BF; in %) beim Werfen der Bälle in Experiment 6 (SI = Schwierigkeit, MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung, SE = Standardfehler, KI = Konfidenzintervall).

VP	Partner	2,2	2,8	3,2	3,4	3,8	4,0	4,4
1	1+2	0,0	3,1	25,0	18,8	18,8	37,5	31,3
1	1+2	0,0	3,1	12,5	27,1	25,0	18,8	18,8
1	1+2	0,0	0,0	0,0	25,0	25,0	31,3	37,5
2	1+2	0,0	15,6	0,0	18,8	31,3	31,3	37,5
2	1+2	6,3	12,5	18,8	16,7	25,0	31,3	25,0
2	1+2	0,0	0,0	6,3	16,7	25,0	37,5	18,8
3	1+2	0,0	9,4	18,8	18,8	18,8	37,5	37,5
3	1+2	12,5	3,1	6,3	29,2	25,0	31,3	12,5
3	1+2	18,8	6,3	18,8	31,3	37,5	37,5	12,5
4	1+2	0,0	6,3	0,0	6,3	12,5	12,5	25,0
4	1+2	0,0	0,0	0,0	4,2	12,5	25,0	25,0
4	1+2	0,0	3,1	0,0	12,5	6,3	12,5	12,5
5	1+2	6,3	12,5	18,8	14,6	31,3	31,3	37,5
5	1+2	0,0	9,4	25,0	16,7	25,0	37,5	37,5
5	1+2	6,3	6,3	12,5	12,5	37,5	31,3	37,5
6	1+2	0,0	12,5	25,0	16,7	18,8	12,5	18,8
6	1+2	0,0	0,0	12,5	8,3	31,3	18,8	25,0
6	1+2	0,0	9,4	12,5	20,8	12,5	25,0	31,3
7	1+2	0,0	15,6	6,3	22,9	25,0	37,5	25,0
7	1+2	0,0	12,5	0,0	18,8	18,8	18,8	37,5
7	1+2	6,3	18,8	25,0	25,0	31,3	18,8	37,5
8	1+2	12,5	6,3	6,3	10,4	18,8	25,0	18,8
8	1+2	18,8	15,6	12,5	12,5	31,3	37,5	12,5
8	1+2	18,8	3,1	0,0	25,0	31,3	31,3	18,8
9	1+2	0,0	9,4	25,0	10,4	18,8	31,3	31,3
9	1+2	0,0	12,5	12,5	10,4	37,5	37,5	37,5
9	1+2	0,0	12,5	6,3	6,3	37,5	37,5	31,3
10	1+2	0,0	3,1	6,3	10,4	0,0	37,5	37,5
10	1+2	0,0	0,0	12,5	10,4	12,5	18,8	37,5
10	1+2	0,0	15,6	12,5	2,1	12,5	12,5	25,0
11	1+2	0,0	0,0	18,8	12,5	25,0	6,3	25,0
11	1+2	0,0	6,3	6,3	6,3	37,5	12,5	25,0
11	1+2	0,0	6,3	25,0	20,8	25,0	18,8	37,5
12	1+2	0,0	0,0	0,0	2,1	25,0	25,0	18,8
12	1+2	0,0	3,1	6,3	6,3	12,5	25,0	25,0
12	1+2	0,0	0,0	12,5	6,3	31,3	6,3	12,5
13	1+2	6,3	15,6	18,8	16,7	31,3	31,3	31,3
13	1+2	0,0	12,5	12,5	8,3	18,8	37,5	18,8
13	1+2	6,3	12,5	6,3	27,1	18,8	25,0	37,5
14	1+2	0,0	0,0	12,5	12,5	25,0	18,8	31,3
14	1+2	0,0	3,1	25,0	18,8	18,8	37,5	31,3
14	1+2	0,0	3,1	18,8	14,6	18,8	37,5	31,3
15	1+2	0,0	0,0	18,8	8,3	18,8	18,8	37,5
15	1+2	0,0	0,0	0,0	4,2	12,5	31,3	25,0

15	1+2	0,0	3,1	0,0	22,9	18,8	18,8	37,5
16	1+2	0,0	3,1	6,3	14,6	6,3	18,8	25,0
16	1+2	0,0	0,0	18,8	25,0	18,8	25,0	37,5
16	1+2	0,0	0,0	18,8	8,3	18,8	37,5	37,5
17	1+2	6,3	18,8	25,0	16,7	6,3	31,3	25,0
17	1+2	0,0	18,8	12,5	16,7	12,5	18,8	31,3
17	1+2	0,0	21,9	18,8	18,8	0,0	18,8	31,3
18	1+2	0,0	3,1	25,0	12,5	18,8	37,5	37,5
18	1+2	0,0	9,4	6,3	8,3	18,8	25,0	31,3
18	1+2	6,3	0,0	12,5	14,6	18,8	25,0	31,3
19	1+2	0,0	0,0	25,0	8,3	12,5	18,8	31,3
19	1+2	0,0	3,1	12,5	8,3	18,8	18,8	25,0
19	1+2	6,3	0,0	6,3	16,7	6,3	18,8	37,5
20	1+2	0,0	9,4	12,5	18,8	18,8	37,5	31,3
20	1+2	6,3	3,1	31,3	6,3	12,5	12,5	37,5
20	1+2	0,0	9,4	25,0	8,3	18,8	0,0	25,0
MW	1+2	2,40	6,72	12,92	14,48	20,63	25,63	28,85
SD	1+2	7,29	7,99	11,35	8,93	11,81	12,36	11,43
SE	1+2	0,95	1,04	1,48	1,16	1,54	1,61	1,49
KI	1+2	1,90	2,08	2,96	2,33	3,08	3,22	2,98

Anhang 17 – Durchschnittliche Bewegungszeit (BZ; in ms) für das Passen eines Basketballballes in Experiment 7 (SI = Schwierigkeit, MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung, SE = Standardfehler, KI = Konfidenzintervall).

VP	Partner	3,5	3,9	4,1	4,5	4,9	5,2	5,6
1	1	726	844	968	947	1180	1058	1200
1	1	745	745	952	982	1049	936	1185
1	1	745	723	968	941	1150	1080	1138
2	1	633	623	880	794	1076	865	1093
2	1	635	660	827	816	988	836	1244
2	1	658	608	817	822	912	851	1004
3	1	691	665	837	809	988	972	1013
3	1	677	646	920	820	1022	908	947
3	1	683	631	867	828	1009	944	956
4	1	669	605	872	941	1200	1069	1245
4	1	631	635	816	1000	1145	1067	1280
4	1	649	635	776	953	1205	1022	1434
5	1	-	547	646	680	807	-	847
5	1	-	531	666	646	876	-	860
5	1	-	547	669	664	827	-	902
6	1	556	613	726	780	912	760	840
6	1	589	669	674	763	908	797	1020
6	1	556	589	732	736	892	893	1004
7	1	706	806	847	885	1107	909	1060
7	1	734	763	813	880	1089	873	1056
7	1	717	733	797	806	1098	800	912
8	1	606	663	792	765	864	898	924
8	1	658	629	752	770	1098	876	1111
8	1	738	617	750	764	1027	825	947
9	1	635	712	840	832	996	888	976
9	1	677	711	823	847	1040	876	992
9	1	691	703	797	845	1082	892	1020
10	1	803	760	929	901	1111	996	1058
10	1	830	709	874	954	1087	1058	1111
10	1	798	719	903	889	1047	960	1086
11	1	500	515	723	599	944	667	856
11	1	498	539	751	643	882	663	860
11	1	487	534	668	645	880	718	880
12	1	630	534	714	746	840	877	904
12	1	623	537	720	766	884	773	1004
12	1	638	536	651	720	953	766	934
1	2	788	724	940	941	1170	1013	1200
1	2	751	756	972	968	1111	1064	1185
1	2	732	737	920	920	1185	1044	1142
2	2	583	618	800	793	1031	953	1129
2	2	588	610	797	784	1032	858	1195
2	2	583	620	830	773	960	858	1120
3	2	661	683	827	827	1060	928	1098
3	2	680	674	777	817	1124	856	1062

3	2	640	720	803	847	1098	828	1036
4	2	703	672	1024	975	1210	1053	1245
4	2	651	672	948	979	1285	1116	1125
4	2	671	648	900	995	1235	1129	1286
5	2	-	509	663	662	865	-	1004
5	2	-	497	737	660	905	-	1028
5	2	-	509	649	722	800	-	953
6	2	608	608	717	760	912	847	1016
6	2	643	635	742	834	904	850	964
6	2	631	576	726	752	920	760	996
7	2	723	738	817	844	960	807	916
7	2	697	782	817	814	1067	815	928
7	2	729	853	803	841	1093	873	1044
8	2	702	694	868	877	1028	931	1100
8	2	717	689	888	886	1191	924	1102
8	2	729	697	882	875	1169	851	1187
9	2	669	725	847	825	944	880	956
9	2	656	734	840	858	991	892	1008
9	2	643	743	850	808	949	836	952
10	2	751	654	869	999	1200	1160	1222
10	2	807	643	995	973	1138	1209	1209
10	2	770	654	891	968	1204	1107	1173
11	2	613	593	772	872	1016	850	1064
11	2	602	619	797	837	1038	890	976
11	2	564	574	757	810	1100	955	1032
12	2	608	536	717	717	818	713	776
12	2	620	569	717	724	903	690	928
12	2	603	556	674	695	815	717	806
MW	1+2	666	649	810	825	1022	903	1043
SD	1+2	75	84	93	100	122	123	130
SE	1+2	8,84	9,92	11,03	11,89	14,53	14,56	15,46
KI	1+2	17,63	19,78	21,99	23,71	28,98	29,04	30,83

Anhang 18 – Durchschnittliche Bewegungsfehler (BF; in %) beim Passen des Basketballs in Experiment 7 (SI = Schwierigkeit, MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung, SE = Standardfehler, KI = Konfidenzintervall).

VP	Partner	3,5	3,9	4,1	4,5	4,9	5,2	5,6
1	1+2	0,00	0,00	6,43	6,43	32,17	19,30	32,17
1	1+2	0,00	6,43	0,00	4,29	0,00	19,30	32,17
1	1+2	0,00	0,00	0,00	0,00	6,43	51,47	45,04
2	1+2	0,00	0,00	0,00	0,00	6,43	12,87	12,87
2	1+2	0,00	0,00	0,00	4,29	12,87	12,87	12,87
2	1+2	0,00	0,00	0,00	2,14	0,00	0,00	0,00
3	1+2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	51,47	19,30
3	1+2	0,00	0,00	0,00	4,29	12,87	38,61	38,61
3	1+2	0,00	0,00	0,00	12,87	19,30	6,43	0,00
4	1+2	0,00	0,00	0,00	19,30	0,00	25,74	6,43
4	1+2	0,00	0,00	0,00	2,14	12,87	12,87	0,00
4	1+2	0,00	0,00	0,00	2,14	12,87	12,87	51,47
5	1+2	0,00	0,00	0,00	2,14	0,00	19,30	45,04
5	1+2	19,30	0,00	0,00	8,58	6,43	12,87	12,87
5	1+2	0,00	0,00	19,30	8,58	19,30	51,47	57,91
6	1+2	0,00	0,00	0,00	8,58	0,00	19,30	12,87
6	1+2	0,00	0,00	0,00	12,87	12,87	12,87	19,30
6	1+2	0,00	19,30	0,00	2,14	0,00	12,87	19,30
7	1+2	0,00	0,00	0,00	15,01	0,00	6,43	6,43
7	1+2	0,00	0,00	0,00	8,58	0,00	0,00	0,00
7	1+2	0,00	0,00	0,00	6,43	6,43	0,00	0,00
8	1+2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	12,87	25,74
8	1+2	0,00	0,00	6,43	6,43	12,87	6,43	19,30
8	1+2	19,30	0,00	0,00	2,14	25,74	6,43	25,74
9	1+2	0,00	0,00	0,00	2,14	6,43	6,43	6,43
9	1+2	0,00	0,00	0,00	4,29	25,74	6,43	19,30
9	1+2	0,00	0,00	0,00	4,29	12,87	19,30	12,87
10	1+2	0,00	0,00	0,00	8,58	12,87	6,43	6,43
10	1+2	0,00	0,00	0,00	8,58	32,17	19,30	6,43
10	1+2	0,00	0,00	6,43	6,43	12,87	32,17	12,87
11	1+2	0,00	0,00	6,43	2,14	6,43	12,87	25,74
11	1+2	0,00	0,00	0,00	10,72	0,00	6,43	57,91
11	1+2	0,00	19,30	6,43	8,58	12,87	19,30	45,04
12	1+2	0,00	0,00	0,00	6,43	6,43	12,87	6,43
12	1+2	0,00	19,30	0,00	4,29	12,87	0,00	12,87
12	1+2	0,00	0,00	0,00	6,43	12,87	0,00	38,61
MW	1+2	1,07	1,79	1,43	5,90	9,83	15,73	20,73
SD	1+2	4,48	5,46	3,80	4,48	9,16	13,97	17,14
SE	1+2	0,76	0,92	0,64	0,76	1,55	2,36	2,90
KI	1+2	1,54	1,87	1,30	1,54	3,14	4,79	5,88

Anhang 19 – Durchschnittliche Bewegungszeit (BZ; in ms) für das Passen eines Basketballballes in Experiment 8 (SI = Schwierigkeit, MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung, SE = Standardfehler, KI = Konfidenzintervall).

VP	Partner	3,1	3,5	3,7	3,9	4,1	4,5	4,9
1	1	822	785	840	787	942	996	1179
1	1	742	748	862	787	898	1038	1175
1	1	769	732	938	807	938	1036	1064
2	1	1062	1089	1233	1225	1360	1209	1617
2	1	1111	1022	1240	1190	1320	1099	1603
2	1	1124	1027	1345	1135	1286	1423	1567
3	1	952	996	1275	992	1111	1231	1373
3	1	950	942	1175	1024	1122	1240	1154
3	1	912	975	1145	1072	1107	1303	1424
4	1	625	592	737	691	747	845	936
4	1	598	619	793	634	737	848	944
4	1	583	603	780	620	690	829	948
5	1	960	1022	1100	1297	1071	1221	1538
5	1	944	1009	1140	1434	1044	1246	1570
5	1	912	960	1150	1171	1013	1240	1473
6	1	803	975	1076	1124	1052	1093	1370
6	1	940	1000	988	975	1036	1073	1451
6	1	897	989	960	1051	1052	1153	1247
7	1	988	913	1093	1072	1100	1243	1423
7	1	1004	956	1067	972	1050	1241	1773
7	1	944	895	1062	976	1305	1280	1247
8	1	858	836	1044	940	1095	1194	1185
8	1	707	836	831	860	1160	1217	1180
8	1	720	809	924	852	1235	1229	1220
9	1	742	916	964	969	1008	1151	1298
9	1	833	908	987	933	932	1165	1231
9	1	737	868	960	831	948	1097	1235
10	1	887	853	1078	1009	1080	1143	1273
10	1	891	898	1041	1084	1050	1090	1253
10	1	873	911	1068	981	1124	1136	1254
11	1	858	883	1020	904	1048	1076	1265
11	1	903	850	1052	1087	1145	1023	1201
11	1	787	813	1040	892	1056	1057	1134
12	1	757	853	876	1008	962	1047	1186
12	1	750	857	909	896	844	1073	1195
12	1	753	793	852	852	846	1062	1183
1	2	702	708	760	793	767	888	1107
1	2	680	689	731	790	767	902	1053
1	2	606	717	785	723	800	842	1110
2	2	1000	987	1233	1130	1223	1126	1407
2	2	1058	929	1215	1015	1229	1167	1407
2	2	1013	969	1285	1005	1234	1254	1510
3	2	928	876	1050	940	1084	1141	1229
3	2	838	855	1060	988	1016	1123	1474

3	2	876	891	1065	892	1044	1131	1288
4	2	618	645	757	757	907	844	1004
4	2	635	632	827	743	797	846	1008
4	2	595	696	740	691	773	848	960
5	2	956	1018	1315	1303	1142	1391	1802
5	2	952	1080	1245	1411	1080	1340	1520
5	2	908	991	1295	1246	1107	1316	1530
6	2	707	818	872	731	908	962	1299
6	2	723	818	880	760	872	944	1335
6	2	740	749	856	778	908	1064	1188
7	2	952	905	1084	920	1065	1083	1203
7	2	980	887	1089	992	1035	1156	1205
7	2	904	811	1080	836	1100	1121	1163
8	2	1084	1267	1067	1000	1450	1594	1525
8	2	1093	1231	1044	928	1325	1669	1550
8	2	880	1022	1013	1060	1215	1631	1837
9	2	818	1028	1120	1084	1048	1537	1711
9	2	820	936	1156	1111	1064	1389	1482
9	2	817	900	1333	1058	1088	1345	1479
10	2	916	893	1093	996	1093	1212	1291
10	2	902	964	1069	1084	1071	1209	1257
10	2	855	913	1093	1022	1018	1224	1437
11	2	793	783	960	771	880	1016	1124
11	2	780	773	960	800	900	1005	1070
11	2	703	750	948	753	888	991	1043
12	2	837	773	967	896	1020	1112	1275
12	2	833	783	913	902	940	1140	1253
12	2	813	827	945	876	932	1089	1240
MW	1+2	847	878	1022	957	1032	1143	1302
SD	1+2	133	133	158	174	159	192	232
SE	1+2	23	23	27	29	27	32	39
KI	1+2	45	45	54	59	54	65	79

Anhang 20 – Durchschnittliche Bewegungsfehler (BF; in %) beim Passen des Basketballs in Experiment 8 (SI = Schwierigkeit, MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung, SE = Standardfehler, KI = Konfidenzintervall).

VP	Partner	3,1	3,5	3,7	3,9	4,1	4,5	4,9
1	1+2	0,00	0,00	4,00	0,00	0,00	17,65	19,32
1	1+2	0,00	3,17	0,00	4,77	4,04	0,00	19,32
1	1+2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,53	35,21
2	1+2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,53	9,45
2	1+2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,40	9,45
2	1+2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,67	0,00
3	1+2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	24,91
3	1+2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,40	28,34
3	1+2	0,00	0,00	0,00	0,00	12,12	12,59	2,15
4	1+2	0,00	0,00	0,00	9,54	28,28	0,00	11,17
4	1+2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,73	4,30
4	1+2	0,00	0,00	0,00	0,00	4,04	5,06	24,90
5	1+2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,67	24,47
5	1+2	9,65	0,00	0,00	0,00	12,12	4,20	9,45
5	1+2	0,00	0,00	12,01	4,77	4,04	10,92	40,36
6	1+2	0,00	0,00	0,00	14,30	0,00	1,67	11,59
6	1+2	0,00	0,00	0,00	4,77	0,00	13,40	12,02
6	1+2	0,00	9,50	0,00	0,00	0,00	1,67	12,02
7	1+2	0,00	0,00	0,00	9,54	0,00	8,35	4,72
7	1+2	0,00	0,00	0,00	0,00	4,04	5,01	0,00
7	1+2	0,00	0,00	0,00	0,00	12,12	2,53	0,00
8	1+2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	14,60
8	1+2	0,00	0,00	4,00	0,00	0,00	10,07	9,87
8	1+2	9,65	0,00	0,00	0,00	0,00	11,78	12,45
9	1+2	0,00	0,00	0,00	0,00	4,04	2,53	4,72
9	1+2	0,00	0,00	0,00	0,00	4,04	11,78	9,87
9	1+2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,40	11,59
10	1+2	0,00	0,00	0,00	4,77	0,00	10,07	4,72
10	1+2	0,00	0,00	0,00	14,30	0,00	14,31	9,02
10	1+2	0,00	0,00	4,00	9,54	0,00	6,73	15,89
11	1+2	0,00	0,00	4,00	0,00	4,04	2,53	14,60
11	1+2	0,00	0,00	0,00	4,77	4,04	5,01	25,32
11	1+2	0,00	9,50	4,00	0,00	12,12	6,73	24,47
12	1+2	0,00	0,00	0,00	4,77	4,04	4,20	6,87
12	1+2	0,00	9,50	0,00	0,00	8,08	5,06	5,15
12	1+2	0,00	0,00	0,00	0,00	8,08	6,73	15,45
MW	1+2	0,54	0,88	0,89	2,38	3,59	6,14	13,55
SD	1+2	2,24	2,69	2,37	4,19	5,86	4,60	9,79
SE	1+2	0,38	0,45	0,40	0,71	0,99	0,78	1,65
KI	1+2	0,77	0,92	0,81	1,44	2,01	1,58	3,36

Anhang 21 – Durchschnittliche Bewegungszeit (BZ; in ms) für das Passen eines Basketballballes in Experiment 9 (SI = Schwierigkeit, MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung, SE = Standardfehler, KI = Konfidenzintervall).

VP	Partner	2,5	3,1	3,5	3,8	4,3	5,0	5,4
1	1+2	727	865	993	885	922	966	1185
1	1+2	707	855	969	927	1033	933	1160
1	1+2	722	838	1094	903	925	932	1107
2	1+2	837	915	1119	944	1104	1035	1193
2	1+2	786	811	995	894	953	935	1096
2	1+2	731	844	1104	984	980	970	1119
3	1+2	670	811	1018	912	909	910	1068
3	1+2	762	886	1108	913	1036	1115	1126
3	1+2	764	877	1046	959	1077	1083	1310
4	1+2	958	1003	1179	1079	1142	1129	1281
4	1+2	984	994	1218	1182	1165	1140	1379
4	1+2	613	1034	1226	1051	1102	1151	1279
5	1+2	726	860	1023	898	894	931	1119
5	1+2	722	848	1010	959	999	933	1098
5	1+2	701	886	1037	898	937	948	1137
6	1+2	811	900	1117	960	1097	1015	1193
6	1+2	744	813	1081	958	953	904	1116
6	1+2	727	844	1104	984	980	970	1123
7	1+2	666	811	1015	908	902	910	1072
7	1+2	735	871	1108	920	1003	1088	1117
7	1+2	801	888	1079	970	1040	1072	1227
8	1+2	993	1033	1244	1121	1134	1134	1287
8	1+2	960	1021	1255	1135	1117	1147	1371
8	1+2	619	1034	1226	1051	1102	1151	1279
MW	1+2	769	898	1099	975	1021	1021	1185
SD	1+2	107	78	87	84	86	93	94
SE	1+2	22	16	18	18	18	19	20
KI	1+2	46,31	33,46	37,44	36,38	37,00	40,12	40,54

Anhang 22 – Durchschnittliche Bewegungsfehler (BF; in %) beim Passen des Basketballs in Experiment 9 (SI = Schwierigkeit, MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung, SE = Standardfehler, KI = Konfidenzintervall).

VP	Partner	2,5	3,1	3,5	3,8	4,3	5,0	5,4
1	1+2	3,94	4,21	0,00	4,89	15,26	15,25	23,78
1	1+2	0,00	0,00	0,00	4,89	7,30	10,17	11,89
1	1+2	3,94	2,11	11,05	0,00	12,39	25,42	29,73
2	1+2	0,00	4,49	0,00	4,89	17,48	25,42	35,67
2	1+2	0,00	2,11	0,00	9,79	7,30	5,08	41,62
2	1+2	0,00	6,60	16,57	4,89	11,74	0,00	11,89
3	1+2	0,00	2,38	11,05	0,00	12,39	10,17	17,84
3	1+2	3,94	0,00	5,52	4,89	8,87	10,17	29,73
3	1+2	3,94	0,00	5,52	0,00	7,30	20,34	23,78
4	1+2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,17	11,89
4	1+2	0,00	0,00	0,00	4,89	7,95	0,00	17,84
4	1+2	0,00	0,00	0,00	4,89	5,74	0,00	11,89
5	1+2	3,94	6,60	27,62	4,89	11,74	20,34	41,62
5	1+2	3,94	6,60	0,00	9,79	9,52	30,51	35,67
5	1+2	7,87	8,70	0,00	14,68	18,13	25,42	35,67
6	1+2	0,00	0,00	0,00	0,00	2,87	10,17	5,95
6	1+2	0,00	2,11	0,00	0,00	5,09	15,25	17,84
6	1+2	0,00	2,11	0,00	0,00	8,60	15,25	0,00
7	1+2	3,94	2,38	0,00	4,89	10,17	15,25	29,73
7	1+2	0,00	6,87	0,00	0,00	7,30	10,17	11,89
7	1+2	0,00	0,00	5,52	0,00	18,78	10,17	11,89
8	1+2	0,00	0,00	0,00	4,89	7,30	10,17	0,00
8	1+2	0,00	0,00	0,00	0,00	4,44	5,08	11,89
8	1+2	0,00	2,38	0,00	0,00	2,22	10,17	17,84
9	1+2	0,00	0,00	0,00	0,00	2,87	5,08	5,95
9	1+2	0,00	0,00	0,00	0,00	2,22	10,17	5,95
9	1+2	0,00	0,00	0,00	4,89	5,74	5,08	5,95
10	1+2	3,94	0,00	0,00	0,00	0,00	5,08	5,95
10	1+2	0,00	0,00	0,00	0,00	2,87	0,00	5,95
10	1+2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,08	0,00
11	1+2	0,00	0,00	0,00	0,00	2,87	0,00	23,78
11	1+2	0,00	0,00	0,00	0,00	5,09	5,08	0,00
11	1+2	0,00	0,00	5,52	4,89	11,74	10,17	11,89
12	1+2	0,00	0,00	0,00	4,89	0,00	0,00	17,84
12	1+2	0,00	0,00	0,00	0,00	2,87	10,17	0,00
12	1+2	0,00	0,00	0,00	0,00	4,44	0,00	11,89
MW	1+2	1,09	1,66	2,46	2,72	7,24	10,17	16,18
SD	1+2	2,02	2,55	5,82	3,59	5,18	8,15	12,28
SE	1+2	0,34	0,43	0,98	0,61	0,88	1,38	2,07
KI	1+2	0,69	0,87	2,00	1,23	1,78	2,80	4,21

Anhang 23 – Gemeinsame Darstellung der signifikanten (O) und nicht-signifikanten (X) Ergebnisse der Bewegungszeiten (BZ) der neun Experimente mit der Anzahl der Versuchspaare (VP), der Bezeichnung und den jeweiligen signifikanten Haupteffekten für die Faktoren Schwierigkeitsindex (SI), Distanz (A) und Zielweite (W) sowie die Interaktion beider Faktoren (A*W). Der Determinationskoeffizient (R^2) als Bestimmtheitsmaß für den Zusammenhang zwischen SI und BZ und die Funktionsvorschrift für die BZ in Abhängigkeit vom Partner werden ebenfalls angegeben.

Exp.	VP	Bezeichnung	Statistiken (Bewegungszeiten)					
			SI	A	W	A*W	R^2	Regressionsgleichung
1	12	Scheiben	O	O	O	O	.690	BZ = 126 ms*SI + 431 ms
							.603	BZ = 138 ms*SI + 502 ms
2	12	1-2-1 Scheiben	O	O	O	O	.463	BZ = 97 ms*SI + 585 ms
							.561	BZ = 100 ms*SI + 631 ms
3	12	Scheiben unters. SI	X	-	-	-	.009	n.a.
							.005	n.a.
4	14	Kisten	O	O	O	O	.455	BZ = 408 ms*SI + 186 ms
							.544	BZ = 506 ms*SI - 104 ms
5	15	1-2-1 Kisten	O	O	O	X	.367	BZ = 463 ms*SI + 353 ms
							.359	BZ = 496 ms*SI + 368 ms
6	20	Kisten unters. SI	X	-	-	-	.019	n.a.
							.004	n.a.
7	12	Dim. Breite	O	O	O	O	.532	BZ = 185 ms*SI - 2 ms
							.560	BZ = 198 ms*SI - 37 ms
8	12	Dim. Höhe	O	O	O	O	.428	BZ = 237 ms*SI + 90 ms
							.390	BZ = 260 ms*SI - 2 ms
9	12	Dim. Tiefe	O	O	O	X	.343	BZ = 107 ms*SI + 573 ms
							.304	BZ = 98 ms*SI + 500 ms

Anhang 24 – Gemeinsame Darstellung der signifikanten (O) und nicht-signifikanten (X) Ergebnisse der neun Experimente mit der Anzahl der Versuchspaare (VP), der Bezeichnung und den jeweiligen signifikanten Haupteffekten für die Faktoren Schwierigkeitsindex (SI), Distanz (A) und Zielweite (W) sowie die Interaktion beider Faktoren (A*W). Der Determinationskoeffizient (R^2) als Bestimmtheitsmaß für den Zusammenhang zwischen SI und BZ sowie die Funktionsvorschriften für die BZ in Abhängigkeit vom Partner werden ebenfalls angegeben.

Exp.	VP	Bezeichnung	Statistiken (Bewegungsfehler)					
			SI	A	W	A*W	R^2	Regressionsgleichung
1	12	Scheiben	-	-	-	-	-	-
2	12	1-2-1 Scheiben	-	-	-	-	-	-
3	12	Scheiben unters. SI	-	-	-	-	-	-
4	14	Kisten	O	O	O	O	.471	$BF = 0,003e^{3,933*SI}$
5	15	1-2-1 Kisten	O	O	O	X	.488	$BF = 0,014e^{1,888*SI}$
							.559	$BF = 0,002e^{2,350*SI}$
6	20	Kisten unters. SI	O	-	-	-	.447	$BF = 0,003e^{2,997*SI}$
7	12	Dim. Breite	O	O	O	X	.429	$BF = 0,02e^{4,440*SI}$
8	12	Dim. Höhe	O	O	O	O	.434	$BF = 0,04e^{3,838*SI}$
9	12	Dim. Tiefe	O	O	O	O	.270	$BF = 0,06e^{2,459*SI}$

13 Eidesstattliche Erklärung

Hiermit versichere ich an Eides Statt, dass ich diese Dissertation selbstständig und nur unter Benutzung der angegebenen Quellen angefertigt habe. Sie hat noch keiner anderen Stelle zur Prüfung vorgelegen. Weiterhin erkläre ich, dass ich keine anderen als die von mir angegebenen Hilfsmittel zur Anfertigung dieser Dissertation verwendet habe. Wörtlich übernommene Textstellen, auch Einzelsätze oder Teile davon, sind als Zitate kenntlich gemacht.

Paderborn, den _____

Timo Klein-Soetebier

14 Danksagung

Einen besonderen Dank möchte ich an Professor Matthias Weigelt, dem Betreuer dieser Arbeit, richten. Er hat mir über den gesamten Promotionszeitraum jederzeit mit Rat & Tat zur Seite gestanden, mir das wissenschaftliche Arbeiten näher gebracht und meine Begeisterung für das empirische Arbeiten geweckt. Ich konnte mich bei inhaltlichen Entscheidungen auf sein Urteil verlassen. Ich danke Professor Günther Knoblich für die Übernahme des Zweitgutachtens und den anregenden Diskussionen auf Tagungen, die halfen das Dissertationsthema zu modifizieren. Als Ansprechpartner für technische Fragen stand mir Dr. Christoph Schütz von der Universität Bielefeld freundlich zur Verfügung.

Wie wichtig eine gut funktionierende Arbeitsgruppe ist, wurde mir in zahlreichen Diskussionen mit meinen Kollegen und Kolleginnen Mustafa Alaboud, Daniel Machlitt, Yvonne Steggemann und Kathrin Wunsch bewusst. Vielen Dank an dieser Stelle für eure Anregungen, Hilfen und Tipps, aber auch für private Ablenkungen.

Natürlich gehen mit empirischen Datenerhebungen auch (teilweise) monotone und nervenaufreibende Auswertungsschritte einher. So danke ich den wissenschaftlichen und studentischen Hilfskräften Dorotheé Altmeier, Imke Gerling, Vanessa Heitbreder, Sebastian Hoffmann und Jaqueline Sievers für die Unterstützung bei der Datenaufbereitung. Ich danke auch den Kooperationspartnern des MPI für Informatik der Universität des Saarlandes in Person von Prof. Meinhard Müller, Dr. Thomas Helten & Mark Simkin.

Nicht zuletzt möchte ich **meiner Familie** einen riesen Dank für die nicht in Worte zu fassende Unterstützung über all die Jahre aussprechen. Ohne euch wäre ich niemals so weit gekommen.

Vielen Dank!