

„Pilot und Autopilot“

Unmittelbare intentionale und inzidentelle Anpassungen von Bewegungen an Veränderungen der visumotorischen Verstärkung

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades eines
Doktors der Philosophie

vorgelegt dem

Rat der Fakultät für Humanwissenschaften und Theologie der
Technischen Universität Dortmund

von

Sandra Sülzenbrück

Geboren am 07.09.1980 in Gotha

2008

1. Gutachter: Prof. Dr. H. Heuer

2. Gutachter: Prof. Dr. W. Kunde

Tag der mündlichen Prüfung: 05.05.2008

Danksagung

Leider lässt sich eine wahrhafte Dankbarkeit mit Worten nicht ausdrücken.

Johann Wolfgang von Goethe

...trotzdem möchte ich es versuchen. Die Entstehung dieser Arbeit wäre nicht möglich gewesen ohne die uneingeschränkte Unterstützung und Geduld von Herrn Prof. Dr. Herbert Heuer. Er nahm sich stets Zeit dafür, meine Fragen zu beantworten und half mir dabei, den „roten Faden“ meiner Arbeit nicht zu verlieren. Dafür möchte ich mich sehr herzlich bei Ihm bedanken.

Herrn Prof. Dr. Wilfried Kunde danke ich sehr für die Übernahme der Zweitgutachtertätigkeit und für das Interesse an der vorliegenden Arbeit.

Bei Herrn Prof. Dr. Neumann möchte ich mich dafür bedanken, dass er als interessierter Prüfer an meiner Disputation mitgewirkt hat.

Eine Vielzahl weiterer Personen hat an der Entstehung dieser Arbeit mitgewirkt. Bei Petra Wallmeyer möchte ich mich sehr herzlich für ihr Engagement beim Rekrutieren von Versuchspersonen und der Durchführungen so vieler Experimente bedanken. Rainer Flöring danke ich für die Unterstützung im Kampf mit den Computern und der Technik. Mein Dank gilt auch Marietta Widynski, die mich so vielseitig unterstützt hat und mir die Arbeit dadurch sehr erleichtert hat. Auch bei meiner studentischen Hilfskraft Eckhard Rückemann möchte ich mich herzlich für seine Hilfe bedanken.

Mein größter Dank gilt meinen Eltern Jens und Corina Sülzenbrück, die immer für mich da waren und an mich geglaubt haben. Ihre Liebe und ihr Vertrauen in mich und meine Entscheidungen hat mich zu diesem Punkt in meinem Leben gebracht. Weiterhin danke ich meinen Großeltern, meiner Familie und meinen Freunden für das Mitfühlen, Mitfiebern und Mitfreuen.

Mein Dank gilt André Franke, der mit viel Geduld mit mir die Zeit meiner Promotion überstanden hat und mich immer wieder daran erinnert hat, was wichtig im Leben ist.

*Die Neugier steht immer an erster Stelle
eines Problems, das gelöst werden will.*

Galileo Galilei

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Terminologie	3
1.1.1	Werkzeugbenutzung als die Anpassung an eine neue sensorische Transformation	3
1.1.2	Definitionen expliziten und impliziten Lernens	5
1.2	Modulation der motorischen Steuerung über eine längere Zeitspanne	7
1.2.1	Die Anpassung und Adaptation an veränderte sensorische Transformationen	7
1.2.2	Explizite und implizite Prozesse bei der Anpassung an veränderte sensorische Transformationen und dem motorischen Sequenzlernen	10
1.3	Modulation der motorischen Steuerung über eine kurze Zeitspanne	15
1.4	Theorien zum Zusammenwirken expliziter und impliziter Anpassungsprozesse	19
1.4.1	Die „control-based learning“-Theorie von Willingham	19
1.4.2	Zwei Prozesse der Anpassung bei der Prismenadaptation	22
1.5	Die Fragestellung dieser Arbeit	24
2	Experiment I	26
2.1	Fragestellung	26
2.2	Methode	27
2.2.1	Versuchspersonen	27
2.2.2	Apparatur	27
2.2.3	Aufgabe	28
2.2.4	Versuchsdurchführung	28
2.2.5	Bedingungen	31
2.2.6	Versuchsablauf	33
2.2.7	Datenanalyse	35
2.3	Ergebnisse	40
2.3.1	Ausgeschlossene Daten	40
2.3.2	Bewegungszeiten	40
2.3.3	Ergebnis der Nachbefragung	40
2.3.4	Analyse des Radius der gezeichneten Kreise	41
2.3.5	Interindividuelle Unterschiede in der Anpassung an die Verstärkungsänderung	44
2.4	Diskussion	47

3	Experiment II	49
3.1	Fragestellung	49
3.2	Methode	50
3.2.1	Versuchspersonen	50
3.2.2	Apparatur und Aufgabe	50
3.2.3	Versuchsdurchführung	51
3.2.4	Bedingungen	51
3.2.5	Versuchsablauf	53
3.2.6	Datenanalyse	55
3.3	Ergebnisse	56
3.3.1	Ausgeschlossene Daten und Bewegungszeiten	56
3.3.2	Ergebnis der Nachbefragung	57
3.3.3	Analyse des Radius der gezeichneten Kreise	57
3.3.4	Interindividuelle Unterschiede in der Anpassung an die Verstärkungsänderung	62
3.4	Diskussion	64
4	Experiment III	67
4.1	Fragestellung	67
4.2	Methode	68
4.2.1	Versuchspersonen	68
4.2.2	Apparatur und Aufgabe	68
4.2.3	Versuchsdurchführung	68
4.2.4	Bedingungen	69
4.2.5	Versuchsablauf	71
4.2.6	Datenanalyse	72
4.3	Ergebnisse	73
4.3.1	Ausgeschlossene Daten und Bewegungszeiten	73
4.3.2	Ergebnis der Nachbefragung	73
4.3.3	Analyse des Radius der gezeichneten Kreise	74
4.3.4	Interindividuelle Unterschiede in der Anpassung an die Verstärkungsänderung	79
4.4	Diskussion	81
5	Experiment IV	83
5.1	Fragestellung	83
5.2	Methode	84
5.2.1	Versuchspersonen	84
5.2.2	Apparatur und Aufgabe	84
5.2.3	Versuchsdurchführung	84
5.2.4	Bedingungen	84
5.2.5	Versuchsablauf	86
5.2.6	Datenanalyse	87
5.3	Ergebnisse	88
5.3.1	Ausgeschlossene Daten und Bewegungszeiten	88
5.3.2	Ergebnis der Nachbefragung	88
5.3.3	Analyse des Radius der gezeichneten Kreise	89

5.3.4	Interindividuelle Unterschiede in der Anpassung an die Verstärkungsänderung	94
5.4	Diskussion	97
6	Experiment V	100
6.1	Fragestellung	100
6.2	Methode	101
6.2.1	Versuchspersonen	101
6.2.2	Apparatur und Aufgabe	101
6.2.3	Versuchsdurchführung	102
6.2.4	Bedingungen	103
6.2.5	Versuchsablauf	105
6.2.6	Datenanalyse	105
6.3	Ergebnisse	108
6.3.1	Ausgeschlossene Daten und Bewegungszeiten	108
6.3.2	Ergebnis der Nachbefragung	108
6.3.3	Analyse der akuten Anpassung	108
6.3.4	Interindividuelle Unterschiede in der Anpassung an die Verstärkungsänderung	111
6.3.5	Analyse der Nacheffekte	111
6.4	Diskussion	113
7	Experiment VI	116
7.1	Fragestellung	116
7.2	Methode	118
7.2.1	Versuchspersonen	118
7.2.2	Apparatur und Aufgabe	118
7.2.3	Versuchsdurchführung	118
7.2.4	Bedingungen	119
7.2.5	Versuchsablauf	121
7.2.6	Datenanalyse	122
7.3	Ergebnisse	127
7.3.1	Ausgeschlossene Daten und Bewegungszeiten	127
7.3.2	Ergebnis der Nachbefragung	127
7.3.3	Vergleich der inzidentellen Anpassung mit und ohne explizitem Wissen	128
7.3.4	Einfluss des Farbwechsels auf die Anpassung an die Verstärkungsänderung	132
7.3.5	Die Anpassung der Radien bei instruierter Vergrößerung der gezeichneten Kreise und ihr Vergleich mit der relativen Anpassung bei instruierter Verkleinerung	135
7.3.6	Interindividuelle Unterschiede in den Radien der gezeichneten Kreise	141
7.4	Diskussion	144

8	Allgemeine Diskussion	146
8.1	Das Zusammenwirken inzidenteller und intentionaler Anpassung .	146
8.2	Eigenschaften der inzidentellen Anpassung	148
8.3	Eigenschaften der intentionalen Anpassung	149
8.4	Nachwirkungen akuter Anpassungen der Bewegung	150
8.5	Verbalisierbares Wissen über inzidentelle Anpassungsprozesse und Fehlinformationen	152
8.6	Integration der Ergebnisse	153
9	Zusammenfassung	155
	Literaturverzeichnis	158
	Tabellenverzeichnis	165
	Abbildungsverzeichnis	169
	Anhangsverzeichnis	177

1 Einleitung

Die Benutzung von Werkzeugen ist in unserem Alltag selbstverständlich. Dabei tragen die Werkzeuge zur Lösung einer Aufgabe bei oder machen diese Lösung erst möglich. Um ein Werkzeug effektiv benutzen zu können, muss die Beziehung bzw. die Transformation zwischen der eigenen das Werkzeug steuernden Bewegung und der daraus resultierenden Bewegung des Werkzeugs gelernt werden. Dies gelingt in den meisten Fällen. So können wir zum Beispiel nach einiger Übung den Cursor durch Bewegungen der Computermaus steuern. Wechseln wir allerdings unseren Arbeitsplatz und nutzen den PC und die Computermaus eines Kollegen, so fällt uns die Ansteuerung der Symbole auf dem Monitor oft zunächst etwas schwer. Das liegt daran, dass die Empfindlichkeit der PC-Maus unterschiedlich eingestellt werden kann, so dass dieselbe Bewegung der Hand zur Maussteuerung an zwei Computern zu unterschiedlich großen Bewegungen des Cursors auf dem Monitor führt. Trotz anfänglicher Schwierigkeiten mit der „neuen“ PC-Maus gelingt es uns aber relativ schnell, uns an diese neue Beziehung zwischen der eigenen Handbewegung und der Cursorbewegung anzupassen.

Dabei ist uns die Anpassung an die Benutzung solch neuer Werkzeuge oft gar nicht bewusst. Wenn wir einen Nagel mit einem Hammer in die Wand schlagen, denken wir dabei nicht darüber nach, wie wir den Hammer in der Hand halten müssen, damit der Nagel möglichst gerade in die Wand gelangt. Auch bei der Benutzung von Werkzeugen, von denen man im Alltag weniger Gebrauch macht, zum Beispiel einem Hebel, gelingt es uns oft unwillkürlich, durch die Anpassung der Bewegung der Hand den erwünschten Effekt mit dem Werkzeug zu erzielen. Es stellt sich die Frage, was mit diesen unwillkürlichen Bewegungsanpassungen passiert, wenn die agierende Person über das Auftreten und die Art der Transfor-

mation zwischen der Bewegung der eigenen Hand und dem resultierenden Effekt informiert wird. Diese Information würde dann zu einer willkürlichen, intentionalen Anpassung der Handbewegungen führen. Diese willkürliche Anpassung könnte zum Einen die ohne Information vorhandene unwillkürliche Anpassung ersetzen. Zum anderen könnten die willkürliche und unwillkürliche Anpassung auch gemeinsam auftreten, wobei die willkürliche Anpassung entweder zu einer Veränderung der unwillkürlichen Anpassung führen könnte oder beide Prozesse sich nicht gegenseitig beeinflussen.

Das Ziel dieser Arbeit ist es zu klären, ob und falls ja, wie willkürliche und unwillkürliche Anpassungsprozesse an die Veränderung einer visumotorischen Transformation zusammenwirken. Dabei wird die Anpassung an die Transformationsänderung nur in der kurzen Zeitspanne während der Bewegungsausführung betrachtet. Zunächst wird im theoretischen Teil dieser Arbeit eine Übersicht über den bisherigen Forschungsstand und Befunde, die zur Entwicklung dieser Fragestellung beigetragen haben, gegeben. Dazu soll nach der Definition relevanter Begriffe (siehe 1.1) zunächst eine Übersicht über Untersuchungen gegeben werden, die solche Anpassungsprozesse über eine relativ lange Zeitspanne betrachten, die das Erlernen der Transformation möglich machen sollte. Diese Untersuchungen betrachten die Anpassung an eine veränderte sensomotorische Transformation zunächst über eine unterschiedlich lange Trainingsphase und überprüfen dann, ob die Versuchspersonen die neue Transformation gelernt haben. Die Ergebnisse dieser Studien sollen im Abschnitt 1.2 dargestellt werden.

Auf die Rolle expliziter und impliziter Prozesse bei der Anpassung an Veränderungen der sensomotorischen Transformationen und dem motorischen Sequenzlernen über eine längere Zeitspanne soll im Abschnitt 1.2.2 eingegangen werden. Zum Verständnis dieser Befunde sollen zunächst in Abschnitt 1.1.2 verschiedene Definitionen impliziter und expliziter Lernprozesse erläutert und einander gegenübergestellt werden.

Im Gegensatz zu der Untersuchung der Anpassung an sensomotorische Transformationsänderungen über einen längeren Zeitraum gibt es wenige Studien, die die akute Anpassung an eine veränderte Transformation während der Ausfüh-

rung einer Bewegung untersucht haben. Bisher wurden akute Anpassungen der Bewegungen vor allem in Experimenten untersucht, bei denen Versuchspersonen Handbewegungen zu Zielen ausführen mussten. Dabei wurde die Zielposition während der Bewegung für die Versuchspersonen nicht wahrnehmbar verändert. Diese Untersuchungen und die Rolle expliziter und impliziter Prozesse dabei sollen im Abschnitt 1.3 beschrieben werden. Außerdem werden Studien vorgestellt, in denen die akute Anpassung an eine visumotorische Verstärkungsänderung untersucht wurde.

Im Anschluss an die Darstellung der empirischen Befunde zu längerfristigen und kurzfristigen Anpassungen an sensomotorische Transformationsänderungen soll schließlich die „control-based learning“-Theorie von Willingham (1998) vorgestellt werden (siehe Abschnitt 1.4.1), da sie sowohl Aussagen über den Einfluss expliziter und impliziter Prozesse auf das Erlernen motorischer Fertigkeiten als auch auf die akute Ausführung einer Bewegung macht. Der Theorie von Willingham gegenübergestellt werden sollen abschließend die Konzepte „recalibration“ und „realignment“, die von Redding und Wallace (2006) eingeführt wurden, um zwei unterschiedliche Prozesse bei der Prismenadaptation zu beschreiben (siehe Abschnitt 1.4.2).

Im Anschluss daran werden insgesamt sechs Experimente vorgestellt, in denen verschiedene Aspekte des Zusammenwirkens von willkürlicher und unwillkürlicher Bewegungsanpassung an eine veränderte visumotorische Transformation untersucht wurden. Abschließend sollen die Ergebnisse dieser Experimente im Bezug auf den bisherigen Forschungsstand diskutiert werden.

1.1 Terminologie

1.1.1 Werkzeugbenutzung als die Anpassung an eine neue sensomotorische Transformation

Unser alltägliches Leben besteht zu einem großen Teil daraus, zielgerichtete Bewegungen auszuführen, sei es, um die Kaffeetasse zu ergreifen oder um eine Tür zu öffnen. In einigen Situationen wird das Zielobjekt nicht direkt durch die Hand ma-

nipuliert, sondern vermittelt über die Benutzung und Steuerung eines Werkzeugs. Mit Hilfe eines geeigneten Werkzeugs gelingt es uns zum Beispiel, einen Nagel in die Wand zu schlagen. Die bereits beschriebene Beziehung zwischen der eigenen Bewegung und dem Effekt des Werkzeugs wird als sensomotorische Transformation bezeichnet. Dabei kann die Rückmeldung über den resultierenden Effekt über das haptische, akustische oder visuelle System erfolgen. Wenn die Konsequenz der Werkzeugbewegung durch das visuelle System vermittelt wird, spricht man von visumotorischer Transformation.

Nach Jordan (1994) ist die Beherrschung einer sensomotorischen Transformation ein typisches Steuerproblem. Die Werte der gewünschten Ausgangsgröße y^* sind bekannt, die der Eingangsgröße x fehlen. Es müssen die Werte der Eingangsgröße x gefunden werden, damit die Transformation $y=T(x)$ eine Ausgangsgröße y produziert, die mit der gewünschten Ausgangsgröße identisch ist ($y=y^*$) (Heuer, 2006). Zur Lösung dieses Problems muss die Transformation T invertiert werden. Dabei unterscheidet man zwei Arten dieser Invertierung der Transformation. Zum einen kann durch Regelungsprozesse die Ausgangsgröße kontinuierlich mit der gewünschten Ausgangsgröße verglichen werden. Die Abweichung von der gewünschten Ausgangsgröße führt dabei zur Korrektur der Eingangsgröße, bis die gewünschte Ausgangsgröße erhalten wird.

Die zweite Möglichkeit der Invertierung der Transformation wird als offene Steuerkette bezeichnet und basiert auf einem inneren Modell der Transformation. Mit diesem Modell kann die Eingangsgröße (die Bewegungsparameter) bestimmt werden, ohne dass kontinuierliche Rückmeldungen über die tatsächliche Ausgangsgröße gegeben werden müssen (Wolpert & Kawato, 1998). Ein inneres Modell der Transformation zeichnet sich dadurch aus, dass es vom aktuellen Zustand der motorischen Transformation abgekoppelt ist (Heuer & Jäncke, 2005). Solch ein inneres Modell kann an Veränderungen der motorischen Transformation angepasst werden. Allerdings tritt diese Anpassung dabei immer zeitlich verzögert auf. Bedingt durch zufällige und geplante Variationen der motorischen Transformation wird das innere Modell nie exakt der inversen Transformation entsprechen, sondern stets nur eine Annäherung daran darstellen.

Werden Transformationen gelernt, so spricht man von einer Adaptation. Die Adaptation an eine neue sensomotorische Transformation ist dabei mit dem Erwerb eines neuen inneren Modells bzw. der Modifikation eines bereits bestehenden inneren Modells dieser Transformation verbunden.

1.1.2 Definitionen expliziten und impliziten Lernens

Eine Vielzahl von Forschern beschäftigte sich in den letzten Jahrzehnten mit dem Phänomen „Implizites Lernen“. Dieses große Interesse an impliziten Prozessen hat zu unterschiedlichen Ansichten darüber geführt, was implizites Lernen bedeutet. Frensch (1998) listet eine Reihe von Definitionen impliziten Lernens auf. Nach Frensch gibt es grundsätzlich zwei Arten der Definition impliziten Lernens. Die eine Art ist verbunden mit der Annahme, dass Lernen ohne Bewusstsein des Lernens stattfindet, also unbewusst oder nicht wissentlich („unconscious vs. unaware“) (Berry & Broadbent, 1988; Reber, 1993; Shanks & St. John, 1994). Demgegenüber stehen Definitionen, die mit implizitem Lernen ein nicht-intentionales, automatisches Lernen („nonintentional/automatic“) beschreiben (Stadler & Frensch, 1994, Perruchet & Vinter, 1998). Frensch kommt zu dem Schluss, dass die Definition impliziten Lernens als nicht-intentional bzw. automatisch der Definition als nicht bewusst vorzuziehen ist, vor allem aufgrund der besseren Operationalisierbarkeit intentionaler bzw. nicht-intentionaler Prozesse und der kontroversen Ansichten darüber, was bewusst oder unbewusst eigentlich bedeutet und wie Bewusstsein gemessen werden kann. So definiert Frensch (1998) implizites Lernen als „...nonintentional, automatic acquisition of knowledge about structural relations between objects or events...“ (S.76), also als den nicht-intentionalen, automatischen Erwerb von Wissen über strukturelle Beziehungen zwischen Objekten und Ereignissen. Es gibt unterschiedliche Eigenschaften, durch die sich ein als nicht-intentional/automatisch definierter Prozess auszeichnet. Nach Logan (1988) zeichnen sich diese Prozesse durch Autonomie, fehlende Kontrollierbarkeit, Unbedingtheit, unbewusstes Auftreten und eine schlechte Erinnerbarkeit aus. Vorrangig zeichnen sie sich jedoch dadurch aus, dass sie unter bestimmten Bedingungen zwingend („obligatoriness“) und stets ohne besondere Aufwendungen („effortlessness“) auftreten.

Explizites Lernen wird komplementär zu den ersten beiden Arten der Definition impliziten Lernens vom ersten Ansatz mit bewusstem Lernen gleichgesetzt, während es im zweiten Ansatz als intentionales, also absichtliches, nicht automatisch ablaufendes Lernen definiert wird. Die Beschreibung intentionaler Prozesse geht dabei auf die Arbeiten von Atkison und Shiffrin (1968) zurück, die diese als Prozesse definieren, die unter der Kontrolle des Subjekts stehen und die diese kontrollierte Prozesse automatischen Prozessen gegenüberstellen.

Neben diesen beiden Arten der Definition gibt es einige weitere Klassifizierungsversuche impliziter und expliziter Lernprozesse, die größtenteils Modifikationen der beiden vorgestellten Ansätze darstellen. So wird zum Beispiel dem intentionalen, also dem absichtlichen Lernen, oft das inzidentelle Lernen, also das Lernen ohne Absicht (Jenkins, 1933) bzw. ein Lernen ohne Instruktion gegenübergestellt. Curran und Keele (1993) verwendeten das Paradigma des motorischen Sequenzlernens und untersuchten dabei unter anderem eine über die Regelmäßigkeit der Abfolge der Signale informierte Gruppe von Versuchspersonen, die sie als intentionale Gruppe bezeichneten. Eine zweite Gruppe von Versuchspersonen, die nicht über diese Regelmäßigkeit aufgeklärt wurde, nannten sie die inzidentelle Gruppe. In der vorliegenden Arbeit wird zunächst davon ausgegangen, dass die untersuchten akuten Bewegungsanpassungen keine Lernprozesse darstellen. Die Definition der expliziten und impliziten Prozesse der Bewegungsanpassung soll allerdings zum Zwecke einer inhaltlichen Einordnung von denen des expliziten und impliziten Lernens übernommen werden. Dabei orientiert sich die Bezeichnung der beiden unterschiedlichen Arten der Bewegungsanpassung an den von Frensch vorgeschlagenen Kategorien intentional/nicht-automatisch und nicht-intentional/automatisch. Die Bedeutung der intentionalen und nicht-intentionalen Bewegungsanpassung tritt dabei gegenüber der nicht-automatischen und automatischen Bewegungsanpassung in den Vordergrund. Analog zur Arbeit von Curran und Keele (1993) soll die nicht-intentionale Anpassung als inzidentelle Anpassung bezeichnet werden. Die expliziten Anpassungsprozesse zeichnen sich also durch die Intention zur Bewegungsanpassung und daraus folgend eine willkürliche Bewegungsanpassung aus, die aus der Nutzung expliziter Informationen über das Auftreten ei-

ner Transformationsänderung resultiert. Demgegenüber stehen die impliziten Anpassungsprozesse, die sich in einer nicht indentierten, unwillkürlichen Bewegungsanpassung äußern, die ohne explizite Informationen über das Auftreten dieser Transformationsänderung entsteht.

Die Rolle der Bewusstheit der Bewegungsanpassungen im Sinne der Verbalisierbarkeit soll in dieser Arbeit zusätzlich untersucht werden. So wird retrospektiv das Ausmaß verbalisierbaren Wissens über das Auftreten und die Art der Bewegungsanpassung bei den Versuchspersonen der inzidentellen Gruppe erfasst werden und ein Vergleich zwischen Personen ohne und mit verbalisierbarem Wissen durchgeführt.

1.2 Modulation der motorischen Steuerung über eine längere Zeitspanne

1.2.1 Die Anpassung und Adaptation an veränderte sensomotorische Transformationen

Die Erforschung der Anpassung an eine Veränderung sensomotorischer Beziehungen hat eine lange Geschichte. Schon seit Ende des 19. Jahrhunderts beschäftigen sich Forscher mit der Frage, ob und wie sich Personen an eine Veränderung der sensomotorischen Beziehung anpassen können. Stratton (1896) führte Selbstversuche durch, bei denen er das visuelle Feld mit Hilfe einer Umkehrbrille um 180° rotierte. Zunächst ergab sich eine massive Störung der visumotorischen Koordination und der visuelle Eindruck einer umgekehrten Welt. Nach wenigen Tagen der Benutzung der Brille hatte sich die visumotorische Koordination wieder verbessert und es gab einige Situationen, in denen das Umfeld aufrecht erschien.

Bereits 1867 hatte von Helmholtz (1867) die sensomotorische Anpassung beim Ergreifen von Objekten während des Tragens einer Prismenbrille untersucht. Bei diesen Brillen sind die Gläser durch keilförmige Prismen ersetzt, die zu einer lateralen Verschiebung des visuellen Felds relativ zur medialen sagittalen Ebene des Kopfes führen. Die daraus resultierende Verschiebung der Blickrichtung führt dazu, dass

zunächst die ausgeführten Zielbewegungen der Versuchsperson das wahrgenommene Ziel nicht erreichen, da die ursprünglich erlernte visumotorische Beziehung nicht mehr korrekt ist. Die entstehende Bewegung ist zunächst in Richtung der Verschiebung verzerrt. Die Diskrepanz zwischen der eigenen Handlung und der erwarteten sensorischen Konsequenz löst adaptive Prozesse aus, die zur Beseitigung dieser Diskrepanz dienen. So verbessert sich durch die Rückmeldung der Fehler bei ausgeführter Bewegung die visumotorischen Koordination. Nach Absetzen der Prismenbrille fand Helmholtz erneut größere Fehler in der Greifbewegung, diesmal allerdings in die der prismatischen Verschiebung entgegengesetzten Richtung. Die Korrektur der prismatischen Verschiebung war also noch aktiv, wenn sie gar nicht mehr benötigt wurde. Die ständige Verbesserung der Zielbewegungen mit der Prismenbrille und die nach dem Entfernen der Brille gefundenen negativen Nacheffekte wurden als Belege dafür gedeutet, dass sich die Versuchsperson an die neue visumotorische Beziehung adaptiert hatte, also dass die neue Beziehung zwischen visuellen und propriozeptiven Reizen bzw. den ausgeführten Bewegungen gelernt wurde.

Neben der langen Tradition der Prismenversuche wurden andere experimentelle Anordnungen entwickelt, um die Anpassung an sensomotorische Transformationen zu untersuchen. Vor allem durch die Entstehung neuer Werkzeuge wie der PC-Maus, bei denen die ausgeführte Bewegung vom resultierenden Effekt räumlich getrennt ist, war es möglich, die eigenen Bewegungen von der sensorischen Konsequenz zu entkoppeln und die sensomotorische Beziehung zu manipulieren. Dabei unterscheiden sich die Prismenversuche von diesen neuen Werkzeugtransformationen wesentlich. Während sich die visuellen und die propriozeptiv-motorischen Informationen bei der Werkzeugtransformation auf verschiedene Objekte beziehen, zum Beispiel auf den Cursor auf dem Monitor (visuell) und auf die Hand (propriozeptiv-motorisch), beziehen sich beide Informationen bei der Prismenadaptation auf dasselbe Objekt, nämlich die eigene Hand. Die Beziehung zwischen Cursor und Hand kann bei den Werkzeugtransformationen beliebig variiert werden, während die physikalische Transformation bei der Prismenadaptation gleich bleibt (Heuer & Jäncke, 2005). Obwohl sich diese beiden Ansätze zur Unter-

suchung der Anpassung an visumotorische Transformationen in der Generalisierbarkeit, dem intermanuellen Transfer und Nacheffekten unterscheiden (Bedford, 1993; Cunningham & Welch, 1994; Ghahramani & Wolpert, 1997), so scheinen diese Unterschiede nur graduell zu sein.

Bei der Untersuchung der Anpassung an Werkzeugtransformationen unterscheidet man zwischen der Veränderung der kinematischen und dynamischen Transformation. Die kinematische Transformation, definiert als der Teil der motorischen Transformation von der Drehbewegung einzelner Gelenke zu der Bewegung eines Endeffektors, wurde dabei vor allem im Sinne einer Rotation oder einer Verstärkungsänderung verändert. Bei der visumotorischen Rotation ist die Bewegung des gesteuerten Objekts gegenüber der Bewegung des Werkzeug (z.B. der PC-Maus) rotiert, so dass sich die Hand mit der PC-Maus in eine andere Richtung bewegt als das durch sie gesteuerte Objekt auf dem Monitor. Es konnte vielfach belegt werden, dass Menschen sich an solch eine Rotation anpassen können und diese auch gelernt werden kann (Pine et al., 1996; Krakauer, Ghilardi & Ghez, 1999; Krakauer et al., 2000; Tong, Wolpert & Flanagan, 2002; Wang & Sainburg, 2005). Auch die Veränderung des visumotorischen Verstärkungsfaktors, also des Verhältnisses der Länge einer visuell wahrgenommenen Bewegung zu der Länge der tatsächlich ausgeführten Bewegung, kann zu einer Adaptation der ausgeführten Bewegungen führen. Dabei gelingt die Adaptation relativ schnell und generalisiert sowohl über verschiedene Bewegungsrichtungen als auch Bewegungsweiten (Bock 1992; Bock & Burghoff 1997; Krakauer et al. 2000). Auch die Fähigkeit zur Adaptation an nicht-lineare Verstärkungsänderungen konnte gezeigt werden (Verwey & Heuer 2007).

Neben diesen kinematischen Transformationsänderungen konnte auch die menschliche Fähigkeit zur Adaptation an dynamische Transformationsänderungen gezeigt werden. Die dynamische Transformation ist definiert als der Teil der motorischen Transformation, der von den Drehmomenten der Gelenke zur Gelenkbewegung führt. Gandolfo, Mussa-Ivaldi und Bizzi (1996) zum Beispiel ließen ihre Versuchspersonen Armbewegungen zu visuell sichtbaren Zielen durchführen. Dabei wurde ein Kraftfeld aufgeschaltet, dass proportional zur Bewegungsgeschwindigkeit und

etwa orthogonal zur Bewegungsrichtung war. Die Autoren konnten zeigen, dass die Versuchspersonen zunächst Bewegungsbahnen ausführten, die deutlich gekrümmt waren. Nach einiger Übung produzierten sie allerdings so gerade Bewegungsbahnen wie vor der Aufschaltung des Kraftfeldes. Sie waren also in der Lage, sich an dieses Kraftfeld anzupassen und erreichten die Zielgenauigkeit von vor der Kraftaufschaltung wieder. Diese Anpassung während der Kraftaufschaltung und ein negativer Nacheffekt belegten die Adaptation an die veränderte dynamische Transformation. Diese Adaptation an Kraftfelder konnte von vielen Autoren gezeigt werden (Shadmehr & Mussa-Ivaldi, 1994; Brashers-Krug, Shadmehr & Bizzi, 1996; Conditt, Gandolfo & Mussa-Ivaldi, 1997; Krakauer, Ghilardi & Ghez, 1999; Tong, Wolpert & Flanagan, 2002).

1.2.2 Explizite und implizite Prozesse bei der Anpassung an veränderte sensomotorische Transformationen und dem motorischen Sequenzlernen

In diesem Abschnitt sollen explizite und implizite Prozesse bei der Anpassung an veränderte sensomotorische Transformationen und dem motorischen Sequenzlernen dargestellt werden. Zunächst soll ein Überblick über die empirischen Befunde gegeben werden, die zeigen konnten, dass Menschen sich implizit an Veränderungen der sensomotorischen Transformation anpassen sowie implizit motorische Sequenzen lernen können. Danach soll das Zusammenwirken expliziter und impliziter Prozesse bei diesen längerfristigen Anpassungen anhand empirischer Befunde beschrieben werden.

Wie in Abschnitt 1.2.1 beschrieben wurde, sind Menschen dazu in der Lage, sich an veränderte sensomotorische Transformationen anzupassen. In einer Reihe von Studien konnte gezeigt werden, dass sich Menschen an solche Transformationsänderungen anpassen und die neuen Transformationen erlernen können, ohne das Auftreten oder die Art der Transformationsänderung wahrzunehmen bzw. ihre Bewegungen wissentlich anzupassen. So zeigten Abeele und Bock (2003) und Buch, Young und Contreras-Vidal (2003), dass ihre Versuchspersonen die von ihnen aus-

geführten Bewegungen an eine visumotorische Rotation adaptierten, ohne Aussagen über die Art der Transformation machen zu können. Das implizite Lernen einer visumotorischen Rotation wurde auch von Klassen, Tong und Flanagan (2005) nachgewiesen. Die Versuchspersonen in einer Studie von Verwey und Heuer (2007) konnten sich an eine nichtlineare Verstärkungsänderung anpassen und diese auch lernen, gaben aber an, sich an eine lineare Verstärkungsänderung angepasst zu haben. Die Versuchspersonen bemerkten die Art der Transformation nicht.

Auch bei Prismenadaptationsversuchen konnte gezeigt werden, dass sich die Versuchspersonen an kleine prismatische Verschiebungen oder graduell eingeführte Verschiebungen anpassen können, ohne sich dieser Verschiebungen bewusst zu sein (Dewar, 1971; Uhlarik, 1973; Howard, Anstis & Lucia, 1974; Jacobson & Goodale, 1989).

In einer Studie von Pew (1974) mussten die Versuchspersonen die Bewegungen eines Cursors auf einem Monitor durch Bewegungen eines Joysticks nach verfolgen. Sie wussten nicht, dass ein Drittel dieses Bewegungsmusters sich immer wiederholte, während zwei Drittel zufällig waren. Nach einer 14-tägigen Trainingsphase verbesserten die Versuchspersonen ihre Bewegungen in allen Abschnitten der Bewegung, hatten aber die sich wiederholenden Anteile besser gelernt.

Mit Hilfe der sequentiellen Wahlreaktionsaufgabe (Nissen & Bullemer, 1987) wird die Fähigkeit der Versuchspersonen gemessen, eine sich wiederholende Sequenz von Signalen zu lernen. Dazu leuchtet auf einem Monitor jeweils eins von vier Lichtern auf und die Versuchsperson muss möglichst schnell die zu dieser Position korrespondierende Taste auf einem Eingabegerät drücken. Die Abfolge der erleuchteten Positionen erfolgt dabei in einer bestimmten, immer gleich bleibenden Sequenz. Das Erlernen dieser Sequenz ist mit einer Verringerung der Reaktionszeiten auf die aufleuchtenden Signale verbunden. Auch bei diesem klassischen motorischen Sequenzlernen konnte gezeigt werden, dass Versuchspersonen implizit die vorgegebene Sequenz gelernt hatten (Nissen & Bullemer, 1987).

Neben diesen Untersuchungen zu impliziten Prozessen bei der Anpassung an veränderte sensomotorische Transformationen und dem Sequenzlernen gibt es auch eine Vielzahl von Studien, die das Zusammenwirken expliziter und impliziter Pro-

zesse dabei untersuchen. Ein Paradigma, mit dem Einflüsse expliziter und impliziter Prozesse auf das motorische Lernen sehr häufig untersucht werden, ist die sequentielle Wahlreaktionsaufgabe. Für dieses Sequenzlernen konnte gezeigt werden, dass explizites Wissen über die Sequenz zu einer Verringerung der Reaktionszeiten, also einem verbesserten Lernen, führt als bei Versuchspersonen ohne explizites Wissen (Willingham, Nissen & Bullemer, 1989; Curran & Keele, 1993). In einer Reihe von Studien an Schlaganfallpatienten untersuchten Boyd und Winstein den Einfluss expliziter Prozesse auf implizites Sequenzlernen. Sie zeigten, dass die gesunden Kontrollpersonen immer vom expliziten Wissen über die Sequenz profitierten, während das explizite Wissen bei den Schlaganfallpatienten, bei denen die Basalganglien oder der sensomotorische Kortex betroffen war, das implizite Sequenzlernen verschlechterte (Boyd & Winstein, 2003; Boyd & Winstein, 2004).

Neben diesen Untersuchungen, die zeigten, dass explizite Lernprozesse implizite Prozesse verbessern oder verschlechtern können, gibt es eine Untersuchung von Willingham und Goedert-Eschmann (1999), die zeigt, dass sich implizite und explizite Lernprozesse parallel entwickeln und keinen Einfluss aufeinander ausüben können. Die Versuchspersonen mussten wiederum die sequenzielle Wahlreaktionsaufgabe ausführen. Eine Gruppe von Versuchspersonen (explizite Gruppe) wurde dabei allerdings über das Auftreten einer zwölf Signale umfassenden Sequenz informiert. Zusätzlich wurde ihnen die Position (1 bis 12) des momentan aufleuchtenden Signals in der zu lernenden Sequenz dargeboten. Die anderen Versuchspersonen (implizite Gruppe) erhielten keinerlei Informationen über die Regelmäßigkeit in der Abfolge der aufleuchtenden Signale. Nach einer Trainingsphase absolvierten beide Gruppen einen Transferblock, in dem die vorher gelernte Sequenz oder eine neue Sequenz (jeweils die Hälfte der Versuchspersonen einer Gruppe) in eine zufällige Abfolge der Signale eingebettet war. Die Versuchspersonen wurden nicht darüber informiert, dass die gelernte Sequenz in diesem Transferblock wieder auftrat. Beide Gruppen zeigten einen stärkeren Lerneffekt für die vorher gelernte als die neue Sequenz. Der wichtigste Befund dieser Untersuchung war jedoch, dass sich die explizite und implizite Gruppe im Transferblock nicht im Ausmaß des Lerneff-

fektes der in der Trainingsphase gelernten Sequenz unterschieden. Dies bedeutet, dass das Ausmaß impliziten Lernens in der vorher über die Sequenz informierten Gruppen genauso groß war wie das implizite Lernen der nicht informierten Gruppe. Willingham und Goedert-Eschmann schlussfolgerten aus diesem Ergebnis, dass in der expliziten Gruppe in der Trainingsphase parallel zu dem expliziten Lernen auch implizites Lernen stattgefunden hatte. Die Autoren konnten somit zeigen, dass implizites und explizites motorisches Sequenzlernen parallel auftreten kann.

In einer Untersuchung von Willingham, Salidis und Gabrieli (2002) wurde den Versuchspersonen gesagt, dass die Anwesenheit der Sequenz immer durch einen Farbreiz angezeigt werden würde. Die Versuchspersonen wussten nicht, dass die Sequenz auch anwesend sein konnte, ohne dass dies durch den Farbreiz angezeigt wurde („explicit-covert“-Bedingung). Des Weiteren wussten sie auch nicht, dass eine zweite Sequenz in der Abfolge der Signale vorhanden war (implizite Bedingung). In den Ergebnissen zeigte sich, dass die Reaktionszeiten der „explicit-covert“-Bedingung sich nicht von denen der impliziten Bedingung unterschieden. Außerdem konnte Willingham zeigen, dass bei explizitem Lernen die gleichen Hirnstrukturen aktiviert wurden wie beim impliziten Lernen. Song, Howard und Howard (2007) konnten ebenfalls zeigen, dass das Ausmaß impliziten Lernens bei Versuchspersonen mit und ohne explizitem Wissen beim Sequenzlernen gleich groß war.

Diese Befunde zur Möglichkeit einer parallelen Existenz expliziter und impliziter Lernprozesse beim motorischen Sequenzlernen unterstützen die Vorhersagen der COBALT-Theorie („control-based learning theory“) von Willingham (1998). Diese Theorie wird in Abschnitt 1.4.1 beschrieben, da sich aus ihr auch Vorhersagen für das Zusammenwirken expliziter und impliziter Prozesse während der Ausführung einer motorischen Handlung ableiten lassen.

Im Rahmen der Erforschung von Prismenadaptationen gibt es eine Vielzahl von Untersuchungen, die die Rolle expliziter und impliziter Prozesse bei der Anpassung an prismatische Verschiebungen untersucht haben. In Abschnitt 1.4.2 wird eine Theorie des Zusammenwirkens dieser beiden Prozesse bei der Prismenadaptation

vorgestellt. Bisher konnte gezeigt werden, dass sehr ausgeprägte strategische Korrekturen während der Anpassung an eine Prismenbrille, wie es zum Beispiel bei Umkehrbrillen der Fall ist, dazu führen, dass es kaum messbaren Nacheffekte gibt (Stratton, 1896; Richter et al., 2002). In einer Gruppe von Versuchspersonen bei Michel et al. (2007) wurde eine prismatische Verschiebung um 10° in sehr kleinen Schritten von 2° graduell eingeführt, während in einer anderen Gruppe sofort die maximale prismatische Verschiebung von 10° aufgeschaltet wurde. In der Gruppe mit dem graduellen Anstieg der optischen Abweichung war den Versuchspersonen die prismatische Verschiebung nicht bewusst, während die Versuchspersonen der anderen Gruppe diese Verschiebung bemerkt hatten. Die graduelle, unbewusste Verschiebung war verbunden mit einem größeren Nacheffekt, einem Transfer auf die Hand, mit der nicht geübt wurde und einer größeren Robustheit der Adaptation. Auch Jacobson und Goodale (1989) konnten diese größeren Nacheffekte bei nicht über die prismatische Verschiebung informierten Versuchspersonen zeigen. Bei Untersuchungen von älteren Menschen, von denen angenommen wird, dass die strategischen Prozesse im Vergleich zu Jüngeren schlechter sind, und bei Patienten mit neurologischen Störungen, die mit verringerter strategischer Kontrolle verbunden sind, zeigten sich größere und länger anhaltende Nacheffekte (Weiner, Hallett & Funkenstein, 1983; Fernández-Ruiz, Hall, Vergara & Diaz, 2000).

Erst seit kurzer Zeit wird das Zusammenwirken expliziter und impliziter Prozesse bei der Adaptation an veränderte sensomotorische Transformationen untersucht. Mazzoni und Krakauer (2006) wollten diesen Zusammenhang bei visumotorischen Rotationen erforschen. Die Aufgabe der Versuchspersonen war es, kreisförmig angeordnete Ziele mit einem Cursor auf einem Monitor durch Handbewegungen zu erreichen. Der Cursor wurde dabei um 45° entgegen dem Uhrzeigersinn gegenüber der Bewegung der steuernden Hand rotiert, was zu einer impliziten Gegenrotation der Handbewegung führen sollte. Einer Hälfte der Versuchspersonen wurde eine Strategie erläutert, mit deren Hilfe sie diese Rotation willentlich kompensieren konnten. Ihnen wurde geraten, immer auf das um 45° in Uhrzeigerichtung gelegene Ziel zu zielen, um die Rotation zu kompensieren. Mazzoni und Krakauer fanden, dass die Strategie zunächst erfolgreich war, sich aber im

Verlauf des Experiments immer größere Abweichungen vom erwünschten Ziel ergaben. Es zeigte sich, dass die über die Strategie informierten Versuchspersonen die Rotation zwar gelernt hatten, dabei aber nicht wie die uninformierte Gruppe um das tatsächliche Ziel rotierten, sondern um das Ziel, dass sie durch die explizite Strategie anstrebten. Beide Gruppen unterschieden sich nicht im Ausmaß des impliziten Rotationslernens, sondern nur im Ziel, um dass sie diese Rotation lernten. Die Daten zeigten, dass sich die Anpassung an die Rotation und die Anpassung resultierend aus der Anwendung der Strategie zur Gesamtanpassung aufaddiert hatten. Die Autoren schlossen daraus, dass visumotorische Rotation rein impliziter Natur ist und nicht von expliziten Prozessen profitieren kann bzw. von ihnen gestört werden kann. Auf die augenscheinliche Additivität impliziter und expliziter Prozesse gingen Mazzoni und Krakauer nicht ein.

Werner und Bock (2007) untersuchten den Einfluss deklarativen Wissens auf die Adaptation an eine visumotorische Rotation. Die verbalen Urteile der Versuchspersonen nach Beendigung des Experiments über das Entdecken der visumotorischen Rotation wurden zur Einschätzung des deklarativen Wissens über die visumotorische Transformationsänderung herangezogen. Es zeigte sich, dass Versuchspersonen mit deklarativem Wissen eine stärkere und länger andauernde Adaptation an die Rotation zeigten als die ohne deklaratives Wissen. Allerdings zeigte sich kein verstärkter Transfereffekt auf eine neue Bewegungsaufgabe gegenüber den Personen ohne deklaratives Wissen.

1.3 Modulation der motorischen Steuerung über eine kurze Zeitspanne

In der vorliegenden Arbeit wurden kurzfristige, unmittelbare Bewegungsanpassungen an Veränderungen der visumotorischen Transformation untersucht. Zu dieser Problematik liegen einige Studien vor, die im letzten Teil dieses Abschnitts beschrieben werden sollen. Zuvor sollen die empirischen Befunde einer anderen Forschungsfrage berichtet werden, die sich ebenfalls auf akute Bewegungsanpassungen bezieht. Es wird dabei allerdings nicht die sensomotorische Beziehung verändert,

sondern die Zielposition einer Handbewegung. In diesem so genannten „double-step“-Paradigma führen die Versuchspersonen Zielbewegungen mit dem Finger oder der Hand aus, um ein aufleuchtendes Ziel möglichst schnell zu erreichen. Was die Versuchspersonen dabei nicht wissen, ist, dass sich in einigen Durchgängen die aufleuchtende Zielposition noch einmal verändert, wenn die Bewegung zu dieser Zielposition bereits begonnen hatte. Diese Veränderung der Zielposition erfolgt während einer Sakkadenbewegung der Augen. Dadurch wird die Positionsänderung von den Versuchspersonen nicht bemerkt. Verschiedene Autoren konnten zeigen, dass die Versuchspersonen ihre Handbewegung auf das neue Ziel hin ausrichteten und dabei weder die Positionsänderung des Ziels noch die Korrektur der eigenen Bewegung bemerkt hatten (Bridgeman, Kirsch & Sperling, 1981; Goodale, Pélisson & Prablanc, 1986; Prablanc & Martin, 1992). Castiello, Paulignan und Jeannerod (1991) zeigten, dass bereits 100 ms nach Verschiebung der Zielposition eine Veränderung der Handtrajektorie zu finden war, während die bewusste Wahrnehmung der Zielversetzung erst 300 ms später signalisiert wurde.

Die Ergebnisse dieser Studien deuten darauf hin, dass während der Ausführung einer Bewegung zur Zielerreichung notwendige Korrekturen ablaufen, ohne dass die Person diese Korrekturen der geplanten Bewegung bemerkt. Es wird davon ausgegangen, dass diese unbewussten Bewegungskorrekturen durch ein automatisches, durch visuelle Reize geleitetes System entstehen, welches die Aufgabe hat, die Hand zu Zielen zu leiten.

Diese Dissoziationen von Wahrnehmung und Bewegungen wurden bereits von Ungerleider und Mishkin (1982) postuliert, die zwischen zwei kortikalen visuellen Systemen unterschieden: dem ventralen Strom („ventral stream“) und dem dorsalen Strom („dorsal stream“). Milner und Goodale (1995) entwickelten daraus die Zwei-System-Theorie visueller Wahrnehmung. Sie bezeichneten den ventralen Strom als „what path“, der zur bewussten Identifikation von Objekten dient. Den dorsalen Pfad nannten sie den „how path“, der nach ihrer Ansicht der unbewussten automatischen Kontrolle von Bewegungen dient. Die anatomische Trennung dieser beiden Pfade soll die Ursache dafür sein, dass Bewegungsabläufe geändert werden können, ohne dass diese Änderungen bewusst wahrgenommen werden. Auf

die Zwei-System-Theorie soll allerdings im Rahmen dieser Arbeit nicht vertieft eingegangen werden.

Zwei Studien untersuchten den Einfluss intentionaler Prozesse auf die automatisch ablaufende Anpassung an die Veränderung von Zielpositionen. Die Versuchspersonen von Day und Lyon (2000) sahen Ziele, die zu einem bestimmten Zeitpunkt ihre Position veränderten. Ihre Aufgabe bestand darin, entweder eine Armbe-
wegung in Richtung der Zielbewegung auszuführen oder eine der Zielbewegung entgegengesetzte Armbe-
wegung auszuführen. In der Bedingung der entgegengesetzten Armbe-
wegung ergab sich eine frühe und eine späte Reaktion auf den Reiz. Während die späte Antwort vollständig von der Intention der Versuchsperson abhängig war, also ihrer Kontrolle unterlag, zeigte sich in der frühen Komponente immer eine automatische Armbe-
wegung in Richtung der Zielbewegung.

Pisella und Kollegen (Pisella et al., 2000) stellten in ihren Versuchen einen Konflikt zwischen den automatischen Bewegungen der Hand, die sie als „Autopilot“ bezeichneten, und intentionaler motorischer Kontrolle her. Ihre Versuchspersonen hatten die Aufgabe, Zielbewegungen zu unterbrechen, wenn sich die Zielposition während der Bewegungsausführung änderte. Trotz dieser Aufforderung zu willentlichen Unterdrückung der automatischen Bewegung traten Korrekturbewegungen in Richtung des neuen Ziels auf. Diese automatischen Korrekturen traten zwischen 200 und 240 ms auf, die durch die Aufforderung zur willentlichen Kontrolle ausgelösten Bewegungskorrekturen entstanden erst nach 240 ms. Aus diesen Ergebnissen schlussfolgerten die Autoren, dass der „Autopilot“, also die automatische Bewegungsanpassung an eine veränderte Position des Zielreizes immer auftritt und sich willentlicher Kontrolle entzieht.

Die Untersuchung der unmittelbaren Anpassung an Veränderungen der visumotorischen Transformation erfolgte mit Hilfe eines methodischen Ansatzes von Nielsen (1963) oder Weiterentwicklungen dieses Ansatzes. Bei der von Nielsen entwickelten klassischen Version haben die Versuchspersonen die Aufgabe, auf einem Papier gerade Linien zu zeichnen. Die direkte Sicht auf die Bewegung ihrer Hand und die entstehende Linie ist verhindert. Über einen Spiegel sehen die Versuchspersonen eine Hand, die Linien zeichnet. Was die Versuchspersonen dabei nicht wissen ist,

dass sie nicht ihre eigene Hand im Spiegel sehen, sondern die des Versuchsleiters. Mit diesem Versuchsaufbau ist es möglich, die visumotorische Transformation zu variieren, indem der Versuchsleiter gekrümmte anstatt gerade Linien zeichnet und die Versuchspersonen die von ihnen ausgeführten Bewegungen anpassen, um die von ihnen gesehenen Abweichungen von der geraden Bahn zu korrigieren.

In Anlehnung an das von Nielsen (1963) entwickelte Paradigma ließen Fourneret und Jeannerod (1998) ihre Versuchspersonen gerade Linien auf einem Digitalisiertablett zeichnen. Die Versuchspersonen sahen dabei die entstehende Bewegung auf einem Monitor. In einigen Durchgängen wurde das Aussehen der Linie durch einen Computer verändert, so dass die eigentlich gerade gezeichnete Linie auf dem Monitor als nach rechts oder links gekrümmt erschien. Die Versuchspersonen korrigierten in diesem Fall die von ihnen ausgeführten Bewegungen in die der Verzerrung entgegengesetzte Richtung. Dabei hatten sie nur wenig oder gar kein Wissen über die von ihnen ausgeführten Bewegungen. In einer Studie von Slachewsky et al. (2001) konnte gezeigt werden, dass Patienten mit Läsionen des präfrontalen Kortex bis zu einer Abweichung von 24° zwischen der geraden Linie und der gesehenen Linie so gut wie gesunde Kontrollpersonen dazu in der Lage waren, die eingeführten Transformationsänderungen durch Korrekturen ihrer eigenen Bewegungen zu kompensieren. Während fast alle gesunden Kontrollpersonen die Transformationsänderung bemerkte, gab es nur drei von 15 Patienten, die diese Transformationsänderung bemerkt hatten.

Auch in einer Studie von Knoblich und Kircher (2004) wurden akute Bewegungsanpassungen thematisiert. Die Autoren ließen ihre Versuchspersonen auf einem Digitalisiertablett Kreise zeichnen. Die Position des Stiftes auf dem Digitalisiertablett wurde dabei durch einen Cursor auf einem Monitor dargestellt. Zu Beginn eines Durchgangs führte eine Bewegung des Stiftes auf dem Digitalisiertablett zu einer Bewegung des Cursors von gleicher Länge auf dem Monitor; das visumotorische Verhältnis war 1:1. Zu einem zufälligen Zeitpunkt wurde dieses Verhältnis zwischen gezeichneten und gesehenen Kreisen so verändert, dass die Versuchspersonen kleinere Kreise zeichnen mussten, um die Kreisgröße auf dem Monitor konstant zu halten. Die Aufgabe der Versuchspersonen war es, sofort mit dem

Zeichnen aufzuhören, wenn sie eine Veränderung des visumotorischen Verhältnisses entdeckt hatten. Die Autoren fanden, dass die Entdeckungsrate der veränderten visumotorischen Verstärkung den Verlauf einer psychometrischen Funktion aufwies. Im Kontext dieser Arbeit interessanter war die Analyse der Radien der Kreise in den Durchgängen, in denen die Versuchspersonen die Veränderung der visumotorischen Verstärkung nicht bemerkt hatten und nach Veränderung der Verstärkung weiter zeichneten. Es zeigte sich, dass die Versuchspersonen in diesen Durchgängen die Radien der gezeichneten Kreise verkleinert hatten, ohne die Verstärkungsänderung zu bemerken. Dieser Befund ist der erste Hinweis darauf, dass sich Versuchspersonen unbewusst in einer kurzen Zeitspanne an eine veränderte visumotorische Verstärkung anpassen können.

Im nächsten Abschnitt sollen nun zwei theoretische Ansätze vorgestellt werden, aus denen sich Vorhersagen für das Zusammenwirken expliziter und impliziter Prozesse bei der akuten Anpassung an Verstärkungsänderungen ableiten lassen können. Diese Theorien sind die „control-based learning“-Theorie von Willingham (1998) und das Zusammenwirken der Prozesse „recalibration“ und „realignment“ bei der Prismenadaptation (Redding & Wallace, 2006).

1.4 Theorien zum Zusammenwirken expliziter und impliziter Anpassungsprozesse

1.4.1 Die „control-based learning“-Theorie von Willingham

Willingham postuliert in seiner „control-based learning theory“ (COBALT) dass sich das Erlernen motorischer Fertigkeiten direkt aus Prozessen der motorischen Steuerung ergibt (Willingham, 1998). Er nimmt an, dass Lernprozesse einen oder mehrere von vier Prozessen betreffen, die zur Effizienz motorischer Steuerung beitragen. Diese vier Prozesse sind a) ein strategischer Prozess, der für die Zielidentifikation zuständig ist, b) ein Prozess der perzeptuell-motorischen Integration, der Bewegungsziele auswählt und so wahrgenommene Ereignisse in motorische Handlungen überträgt, c) ein Prozess der Sequenzierung von Bewegungen und d)

ein dynamischer Prozess, der zeitliche und räumliche Muster von Muskelaktivität produziert.

In dieser Theorie gibt es drei Prinzipien motorischer Steuerung, die auf das Erlernen motorischer Fertigkeiten und dementsprechend diese vier Prozesse übertragen werden könnten. Zum Einen sollten diese vier Prozesse in voneinander abgrenzbaren Hirnarealen ablaufen („neural separability principle“); zum anderen sollten sie unterschiedliche Repräsentationen verwenden (allozentrisch vs. egozentrisch, „disparate representation principle“). Das dritte von Willingham beschriebene Prinzip besagt, dass motorische Handlungen entweder in einem bewussten, mit Anstrengung verbundenen Modus ausgeführt werden können oder aber in einem unbewussten, automatischen Modus. In Abbildung 1.1 sind diese beiden Modi dargestellt.

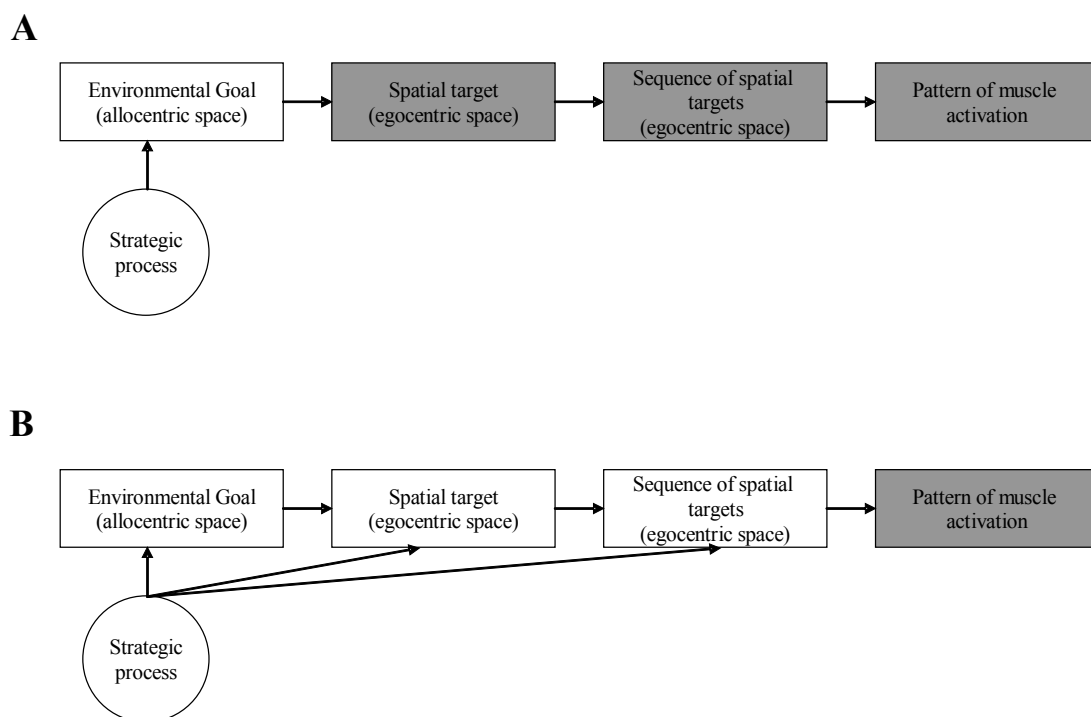


Abbildung 1.1: Der unbewusste (A) und bewusste (B) Modus, in denen motorische Handlungen ablaufen können. Die grau unterlegten Prozesse sind Prozesse, deren Inhalte der handelnden Person nicht bewusst sind (aus Willingham, 1998).

Willingham geht davon aus, dass zunächst jede Handlung durch ein bewusstes Ziel initiiert wird, also durch einen bewussten strategischen Prozess. Die nach diesem

strategischen Prozess folgenden Transformationen durch perzeptuell-motorische Integration, Sequenzierung und dynamische Prozesse laufen meist unbemerkt ab und erzeugen Bewegungen, ohne dass diese Prozesse bewusst geworden sind. Dieser Ablauf der vier Prozesse kennzeichnet den unbewussten Modus. Teil A der Abbildung 1.1 stellt diesen unbewussten Modus dar. Nur die Auswahl des Ziels („environmental goal“) wird durch den strategischen Prozess („strategic process“) bestimmt. Die Auswahl der Bewegungsziele („spatial target“) und die Sequenzierung der Bewegungsziele („sequence of spatial targets“) sowie das Muster der Muskelaktivierung erfolgen nicht bewusst. Die Auswahl der Bewegungsziele übernimmt in diesem Modus die perzeptuell-motorische Integration, die Sequenzierung der Bewegungsziele erfolgt durch den unbewussten Sequenzierungsprozess und die Muskelaktivierung durch den dynamischen Prozess.

Den bewussten Modus (Teil B der Abbildung 1.1) beschreibt Willingham wie folgt:

„...when the conscious mode [...] is engaged, the strategic process not only selects the environmental goal for the movement but also selects and sequences the spatial targets of the movements, thus replacing the sequencing and the perceptual-motor integration processes...“
(Willingham, 1998, S. 559)

Der bewusste Modus zeichnet sich demnach dadurch aus, dass der strategische Prozess neben der Zielauswahl auch für die Bewegungsauswahl und Sequenzierung verantwortlich ist und somit die perzeptuell-motorische Integration und den Prozess der Sequenzierung ersetzt.

Willingham nimmt an, dass der bewusste Modus dabei zu adäquateren Reaktionen führt, aber dafür auch mehr Aufmerksamkeit als der unbewusste Modus benötigt. Weiterhin nimmt er an, dass bewusste Prozesse zu jedem Zeitpunkt des Erwerbs motorischer Fertigkeiten eine Rolle spielen können, aber dass es auch zum Erwerb motorischer Fertigkeiten ohne Beanspruchung des bewussten Modus kommen kann. Allerdings sollte explizites Wissen immer durch den bewussten Modus genutzt werden, wenn es vorhanden und interpretierbar ist.

Willingham nimmt weiterhin an, dass motorisches Lernen sich unter anderem

durch die Feinabstimmung von perzeptuell-motorischer Integration, Sequenzierung und dem dynamischen Prozess äußert. Dabei wird diese Abstimmung immer dann verbessert, wenn die Bewegung ausgeführt wird. Es ist egal, ob der bewusste oder unbewusste Modus während der Ausführung dieser Bewegung aktiv ist.

„...the perceptual-motor integration and sequencing processes are tuned if they produce the representation for the movement - or if the strategic process does, through the conscious mode. Thus, the conscious mode 'turns off' the unconscious mode in terms of performance, but not in terms of learning...“ (Willingham, 1998, S. 565).

Das heißt also, dass die perzeptuell-motorische Integration und die Sequenzierung der Bewegungen auch dann abgestimmt bzw. gelernt werden, wenn der motorische Akt durch den strategischen Prozess, also im bewussten Modus, gesteuert wird. Unbewusstes Lernen kann demnach parallel zu bewusstem Lernen entstehen. Während der strategische Prozess im bewussten Modus während der Ausführung der Bewegung die perzeptuell-motorische Integration und Sequenzierung ersetzt, führt die Ausführung der Bewegung jedoch immer zum Lernen der perzeptuell-motorischen Integration und Sequenzierung.

Für die vorliegende Arbeit ist vor allem die These Willinghams relevant, dass im bewussten Modus der strategische Prozess dazu in der Lage ist, die perzeptuell-motorische Integration auszuschalten und an dessen Stelle während der Ausführung einer Handlung räumliche Ziele auszuwählen.

1.4.2 Zwei Prozesse der Anpassung bei der Prismenadaptation

Redding und Wallace (2006) postulierten, dass bei der Prismenadaptation zwei verschiedene Anpassungsprozesse involviert sind. Sie nehmen an, dass zunächst als unmittelbare Reaktion auf das Tragen einer Prismenbrille der von ihnen als „recalibration“ oder „adaptive coordination“ bezeichnete Prozess auftritt. Dieser Prozess, der als kognitiver Lernprozess einzuordnen ist, beschreibt strategische Korrekturen der ausgeführten Bewegungen. Das Wissen über die prismatische Ver-

schiebung wird genutzt, um die Bewegungen an diese Verschiebung anzupassen. Neben diesem Prozess der „recalibration“ wird durch das Aufsetzen der Prismenbrille aber auch ein zweiter Prozess initiiert. Dieser als perzeptuelles Lernen kategorisierte Prozess wurde von den Autoren als „realignment“ oder „alignment“ bezeichnet. Dieser Name beschreibt einen automatischen Prozess, durch den die durch die prismatische Verschiebung entstandene Diskrepanz zwischen visuellen und propriozeptiven Informationen immer mehr verkleinert und schließlich entfernt wird.

Während der Prozess des „realignment“ der visumotorischen Beziehung unbewusst und langsam verläuft, führt die Anwendung von bewussten strategischen Korrekturen zu einer sofortigen Anpassung an die Prismenverzerrung. Redding und Wallace (1993) postulieren, dass

„...Direct effects are assumed to reflect influences of both adaptive coordination and alignment, whereas aftereffects are argued to reflect the contribution of adaptive alignment...“ (Redding & Wallace, 1993, S. 76).

Sie gehen also davon aus, dass während der Anpassungsphase (direkter Effekt der prismatischen Verschiebung) an eine Prismenbrille beide Prozesse gleichzeitig aktiv sind, während das „alignment“ allein zu einer Adaptation führt und aus dem Grund auch die einzige Ursache für Nacheffekte ist. Strategische Anpassungsprozesse sollten keine Rolle mehr spielen, wenn die Prismenbrille wieder abgesetzt wurde.

Wie bereits in Abschnitt 1.2.1 beschrieben wurde, gibt es einige Unterschiede zwischen den Untersuchungen zur Prismenadaptation und der in dieser Arbeit untersuchten Veränderung einer Werkzeugtransformation. Der Prozess des „realignment“ entsteht bei diskrepanten Informationen von verschiedenen Modalitäten, die sich auf das gleiche Objekt beziehen, wie es bei der Prismenadaptation der Fall ist. Bei der Anpassung an visumotorische Transformationsänderungen hingegen beziehen sich diese diskrepanten Informationen nicht auf das gleiche Objekt. Aus diesem Grund ist das Auftreten eines „realignment“-Prozesses bei der Anpassung an visumotorische Transformationsänderung unwahrscheinlich. An die

Stelle des „realignments“ würde in diesem Fall der Erwerb eines inneren Modells der Transformation treten (siehe Abschnitt 1.1.1), welches sich während der Veränderung der visumotorischen Transformation ausbildet und Parameter der Bewegungssteuerung bestimmt, mit denen das sichtbare Ziel erreicht werden kann (Heuer & Hegele, 2008). Der Erwerb eines neuen inneren Modells der Transformation wirkt sich dabei auf die Kopplung von Bewegungen und der visuell wahrnehmbaren Konsequenz der Bewegungen aus und stellt einen inzidentellen Prozess der Anpassung dar. Dem gegenüber stehen die intentionalen Anpassungen an die veränderte Transformation, also die strategischen Korrekturen der Bewegung. Es stellt sich die Frage, ob das Modell des Zusammenwirkens von „recalibration“ und „realignement“ der Prismenadaptation auf intentionale und inzidentelle Prozesse bei der unmittelbaren Anpassung an Veränderungen der visumotorischen Verstärkung übertragen werden kann.

1.5 Die Fragestellung dieser Arbeit

Das Ziel dieser Arbeit ist es, das Zusammenwirken intentionaler und inzidenteller Bewegungsanpassung an eine veränderte visumotorische Verstärkung zu untersuchen. Zunächst soll dazu im ersten Experiment geklärt werden, welchen Effekt explizite Informationen über das Auftreten einer ansonsten mit geringer Wahrscheinlichkeit bemerkten Verstärkungsänderung auf die Bewegungsanpassung an diese Verstärkungsänderung hat. Mit der Vermittlung expliziten Wissens über das Auftreten der Verstärkungsänderung ist dabei immer eine intentionale Bewegungsanpassung bei angezeigter Verstärkungsänderung verbunden. Demgegenüber steht die inzidentelle Bewegungsanpassung, die sich bei den Versuchspersonen zeigen sollte, die nicht über das Auftreten der Verstärkungsänderung informiert wurden. Im ersten Experiment soll die Anpassung an eine Verstärkungsänderung einer Gruppe über das Auftreten der Verstärkungsänderung informierter und einer Gruppe nicht darüber informierter Versuchspersonen verglichen werden.

Das Zusammenwirken intentionaler und inzidenteller Anpassungsprozesse sowie der separate Einfluss intentionaler und inzidenteller Anpassung werden in Ex-

periment II und IV untersucht. Diese Experimente sollen überprüfen, ob die inzidentelle Anpassung tatsächlich durch die intentionale Anpassung ersetzt wird, wie Willingham dies postuliert oder ob beide Prozesse gleichzeitig wirken, wie es für die Prismenadaptation postuliert wurde. In der vorliegenden Arbeit soll das Zusammenwirken intentionaler und inzidenteller Anpassungsprozesse sowohl dann untersucht werden, wenn beide Prozesse in die gleiche Richtung wirken (Experimente I und II) als auch dann, wenn beide Prozesse entgegengesetzt wirken (Experimente III und IV).

Mit Hilfe von Experiment V soll schließlich eine Aussage darüber gemacht werden, ob die in dieser Arbeit untersuchten Bewegungsanpassung zu einem Erlernen der neuen visumotorischen Transformation führten oder nicht. Im letzten Experiment soll untersucht werden, wie verallgemeinerbar die in den vorherigen Experimenten gefundenen Erkenntnisse sind.

2 Experiment I

2.1 Fragestellung

In Experiment I sollte die Frage beantwortet werden, welchen Einfluss explizites Wissen über das Auftreten einer visumotorischen Transformationsänderung auf die Anpassung an diese Änderung hat. Das explizite Wissen führt dabei zu einer intentionalen, willkürlichen Anpassung der ausgeführten Bewegung. Die Anpassung der über die Verstärkungsänderung informierten Versuchspersonen (Gruppe „Explizites Wissen“) soll mit der Bewegungsanpassung einer nicht über die Verstärkungsänderung informierten Gruppe („Kein explizites Wissen“) verglichen werden. Um die Wahrscheinlichkeit der Entdeckung der visumotorischen Verstärkungsänderung möglichst gering zu halten und somit eine mögliche intentionale Anpassung in der nicht über die Verstärkungsänderung informierten Gruppe zu vermeiden, wurde eine Veränderung des visumotorischen Verhältnisses von 1:1 auf 1.2:1 gewählt. Nach Knoblich und Kircher (2004) liegt die Entdeckungsrate einer solchen Verstärkungsänderung unter 20 Prozent.

In diesem ersten Experiment sollen insgesamt drei Fragen geklärt werden:

1. Passen sich Versuchspersonen ohne Information über das Vorhandensein einer Verstärkungsänderung an diese an? Wenn ja, wie groß ist das Ausmaß der Anpassung?
2. Passen sich Versuchspersonen mit explizitem Wissen über das Auftreten der Verstärkungsänderung an die Verstärkungsänderung an? Wenn ja, wie groß ist das Ausmaß dieser Anpassung?

3. Unterscheiden sich die beiden Gruppen im Ausmaß der Anpassung an die Verstärkungsänderung?

2.2 Methode

2.2.1 Versuchspersonen

Insgesamt 26 rechtshändige normalsichtige oder korrigiert normalsichtige Personen (13 Frauen, 13 Männer) nahmen am Experiment teil. Von ihnen waren 24 Studenten der Universität Dortmund, während zwei Versuchspersonen Mitarbeiter des Instituts für Arbeitsphysiologie in Dortmund waren. Die Versuchspersonen waren zwischen 19 und 29 Jahre alt, bei einem Altersdurchschnitt von 23.6 Jahren und einer Standardabweichung (SD) von 2.8 Jahren. Alle Versuchspersonen nahmen vor diesem Experiment an einem weiteren Versuch im Institut für Arbeitsphysiologie teil. Für die Bearbeitung beider Versuche erhielten sie 15 Euro oder zwei Versuchspersonenstunden.

Jede Versuchsperson wurde zufällig einer der beiden Gruppen zugeordnet. Die Gruppe „Explizites Wissen“ (EW) bestand aus sieben Männern und sechs Frauen (Altersdurchschnitt 23.1 Jahre, SD 2.7 Jahre), während die Gruppe „Kein explizites Wissen“ (KEW) sich aus sechs Männern und sieben Frauen zusammensetzte (Altersdurchschnitt 24.0 Jahre, SD 2.9 Jahre). Zwischen den Gruppen gab es keine Unterschiede hinsichtlich des Alters $t(21) = -.76, p > .20$.

2.2.2 Apparatur

Alle Experimente fanden am Institut für Arbeitsphysiologie an der Universität Dortmund statt. Die Versuchspersonen saßen in 60 cm Entfernung vor einem 17-Zoll großen LCD-Monitor (EIZO FlexScan), auf dem in einer Auflösung von 1280x1024 Pixel und mit einer Bildschirmwiederholfrequenz von 60 Hz die Versuchsaufgabe dargeboten wurde. Zwischen der Versuchsperson und dem Monitor war auf einem Tisch ein Digitalisiertablett positioniert (SummaSketch III Professional), das über eine aktive Fläche von 45.72 x 30.48 cm und eine Auflösung

von 500 Linien pro Inch (196.85 Linien pro cm) verfügte. Auf diesem Digitalisier-tablett zeichneten die Versuchspersonen mit einem Stift, den sie in der rechten Hand hielten. Eine Abdeckung über dem Digitalisier-tablett verhinderte die Sicht auf das Digitalisier-tablett und die rechte Hand (siehe Abbildung 2.1).

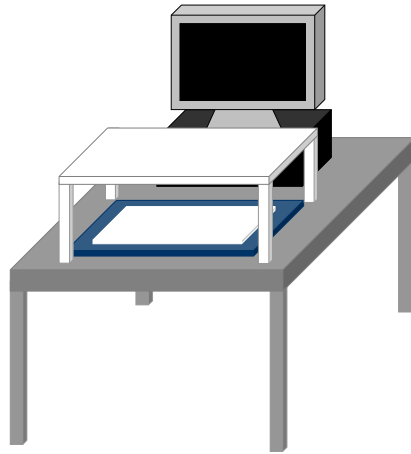


Abbildung 2.1: Versuchsaufbau von Experiment I.

2.2.3 Aufgabe

Die Aufgabe der Versuchspersonen war es, kontinuierlich und in einer möglichst konstanten Geschwindigkeit auf dem Digitalisier-tablett mit dem Stift Kreise zu zeichnen. Dabei wurde die Position des Stiftes auf dem Tablett zu jedem Zeitpunkt durch einen weißen Punkt auf dem Monitor repräsentiert, der als Cursor bezeichnet wird. Das Ziel der Aufgabe bestand darin, kontinuierlich und in einer möglichst gleich bleibenden Geschwindigkeit Kreise zu zeichnen, die auf dem Monitor eine konstante Größe hatten.

2.2.4 Versuchsdurchführung

Um den Umgang mit Digitalisier-tablett und dem Stift zu erlernen, absolvierten alle Versuchspersonen zunächst eine Übungsphase. In dieser Phase wurde ein weißer Kreis mit einem Radius von 4.72 cm (entspricht einer Exzentrizität von 4.5 Grad Schwinkel) in der Mitte des Monitors dargestellt. Die Aufgabe der Versuchs-

personen war es, mit dem durch sie gesteuerten weißen Punkt diesen statischen Kreis in kontinuierlichen Kreisbahnen zu umfahren. Dabei sollten sie in einer für sie angenehmen Geschwindigkeit Kreise konstanter Größe produzieren (siehe Abbildung 2.2). Nachdem die Versuchspersonen fünf Kreise gezeichnet hatten, verschwand der statische Kreis und die Versuchspersonen hatten nun die Aufgabe, zehn weitere Kreise in der gleichen Größe und Geschwindigkeit wie die ersten fünf Kreise zu zeichnen. Falls die Versuchspersonen zu schnell (weniger als 1.1 Sekunde pro Kreis) oder zu langsam (mehr als 2.5 Sekunden pro Kreis) zeichneten, wurde ihnen dies nach Beendigung der Übungsphase auf dem Monitor mitgeteilt. In diesem Fall wurde die Übungsphase wiederholt, bis eine angemessene Geschwindigkeit erreicht wurde. Die Zeichengeschwindigkeit in der Übungsphase wurde benutzt, um eine individuell angenehme Geschwindigkeit für die Testphase des Experiments zu ermitteln. Zu diesem Zweck wurde die mittlere Geschwindigkeit beim Zeichnen des sechsten bis 15. Kreises berechnet.

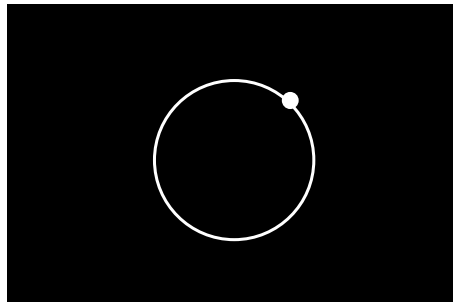


Abbildung 2.2: Darstellung der Übungsphase. Die Versuchspersonen umfahren den statischen weißen Kreis in kontinuierlichen Kreisbahnen.

Im Anschluss an die Übungsphase begann die Testphase des Experiments. Die Versuchspersonen konnten jeden Durchgang eigenständig starten, indem sie den Cursor (dargestellt durch einen weißen Pfeil) auf ein auf dem Monitor dargestelltes gelbes Rechteck bewegten. Dieses Rechteck befand sich über der Zwölf-Uhr-Position des zu zeichnenden Kreises. Nachdem die Versuchspersonen diesen Startbereich mit dem Cursor erreicht hatten, konnten sie durch ein leichtes Aufdrücken der Stiftspitze auf das Digitalisiertablett jeden Durchgang starten. Sobald der Durchgang gestartet wurde, veränderte sich der Cursor von einem Pfeil in einen weiß ausgefüllten Punkt mit einem Radius von 0.21 cm. Das gelbe Startrechteck

verschwand und an dessen Position erschien ein türkisfarbener Punkt, der ebenfalls einen Radius von 0.21 cm hatte. Dieser türkisfarbene Punkt begann sofort, sich auf einer Kreisbahn mit einem Radius von 4.72 cm zu bewegen. Dabei kreiste der Punkt mit der für jede Versuchsperson berechneten individuell angenehmen Geschwindigkeit. Die Aufgabe der Versuchspersonen war es, mit dem durch sie gesteuerten weißen Punkt dem türkisfarbenen Punkt auf der Kreisbahn zu folgen. Dadurch sollte den Versuchspersonen das Zeichnen von Kreisen konstanter Größe und Geschwindigkeit erleichtert werden. Dieser Abschnitt jedes Durchgangs wird als Synchronisationsphase bezeichnet. Abbildung 2.3 stellt einen Ausschnitt dieser Synchronisationsphase dar.

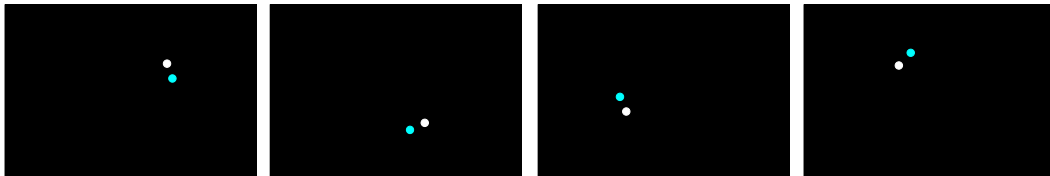


Abbildung 2.3: Vier Screenshots der Synchronisationsphase. Die Versuchspersonen folgten dem Vorgabepunkt (türkis) mit dem Cursor (weißer Punkt) auf der von ihm vorgegebenen Kreisbahn. Die Abbildung zeigt eine Kreisumdrehung (vom linken zum rechten Bild)

Nachdem die Versuchspersonen fünf Kreise lang dem Vorgabepunkt gefolgt waren, verschwand dieser beim Erreichen der Zwölf-Uhr-Position. Die Versuchspersonen hatten dann die Aufgabe, ohne Unterbrechung weiter Kreise zu zeichnen und dabei die Kreisgröße und Zeichengeschwindigkeit aus der Synchronisationsphase beizubehalten. Auf dem Monitor mit schwarzem Bildschirmhintergrund waren keinen visuellen Bezugspunkte sichtbar. Dieser Abschnitt des Durchgangs, der aus insgesamt sieben gezeichneten Standardkreisen bestand, wird als Fortsetzungsphase bezeichnet. Ein Standardkreis entsteht dann, wenn die Versuchspersonen die in der Synchronisationsphase vorgegebene Geschwindigkeit und Kreisgröße auf dem Monitor exakt beibehalten. Aufgrund interindividueller Variationen in der Zeichengeschwindigkeit unterschieden sich die Versuchspersonen in der Anzahl gezeichneter Kreise in der Fortsetzungsphase.

Nur in der Fortsetzungsphase der Durchgänge konnten Verstärkungsänderungen

auftreten. Abbildung 2.4 fasst den Ablauf eines Durchgangs zusammen. Die Unterschiede zwischen Durchgängen mit und ohne Verstärkungsänderung sind in dieser Abbildung dargestellt. Eine Erläuterung dieser Verstärkungsänderungen ist im Abschnitt 2.2.5 zu finden.

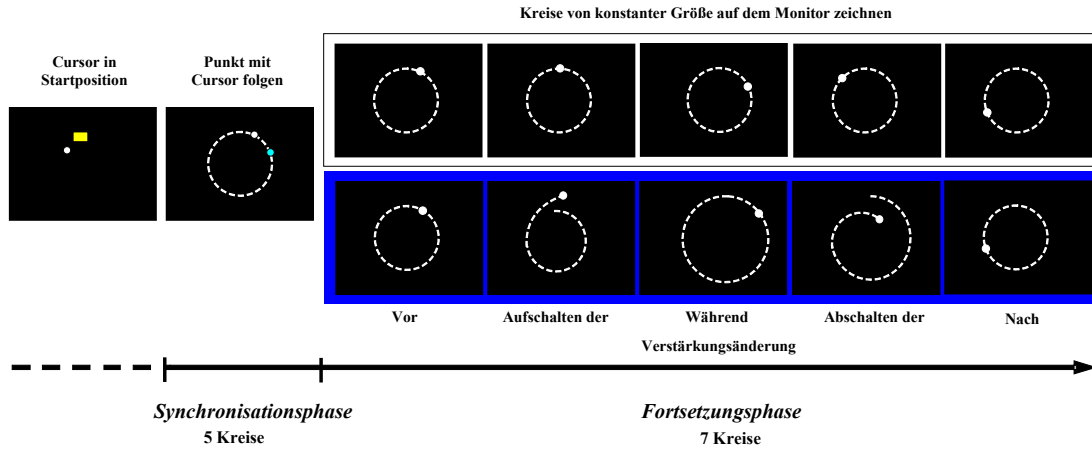


Abbildung 2.4: Ablauf eines Durchgangs. Nachdem der Durchgang durch Bewegung des Cursors in die Startposition aktiviert wurde, begann die Synchronisationsphase. Die Versuchsperson verfolgte den Vorgabepunkt fünf Kreise lang. Anschließend folgte die Fortsetzungsphase. In dieser Phase trat in Durchgängen mit Transformationsänderung (untere Reihe) eine Veränderung der visumotorischen Beziehung auf. Ein Durchgang ohne Verstärkungsänderung ist in der oberen Reihe dargestellt. Die dargestellten Kreisbahnen entsprechen den Kreisbahnen des Cursors auf dem Monitor, wenn sich die Versuchspersonen nicht an die Verstärkungsänderung anpassen.

2.2.5 Bedingungen

Die Position des weißen Punktes auf dem Monitor (P_S), die die Position des Stiftes auf dem Digitalisieretablett (P_H) repräsentiert, wurde berechnet, indem die momentane Position auf dem Digitalisieretablett mit einem Verstärkungsfaktor g zu jedem Zeitpunkt (t) der Bildschirmaktualisierung (60 Hz Aktualisierungsfrequenz) multipliziert wurde. Der Ursprung des Koordinatensystems lag in der Mitte des Bildschirms bzw. der Mitte des Digitalisieretabletts.

Dieser Verstärkungsfaktor g hatte einen Wert von 1 zu jedem Zeitpunkt in Durchgängen ohne Verstärkungsänderung (Kontrollbedingung) sowie in den Phasen vor und nach der Verstärkungsänderung in Durchgängen mit Verstärkungsänderung.

Um eine zu abrupte Veränderung der Cursorposition beim Aufschalten der Verstärkungsänderung zu vermeiden und damit ein mögliches Entdecken der Verstärkungsänderung zu provozieren, wurde eine sigmoide Funktion zur Berechnung des Verstärkungsfaktors g während der Auf- und Abschaltungsphase der Transformation verwendet, so dass in diesen Phasen g Werte annahm, die größer als 1 und kleiner als 1.2 waren. Während der maximalen Verstärkungsänderung hatte g den Wert 1.2. Abbildung 2.5 stellt die Werte des Verstärkungsfaktors g im Verlauf einer Fortsetzungsphase in Durchgängen mit Verstärkungsänderung dar. Wie auch in dieser Abbildung dargestellt ist, wurde jeder Durchgang mit Verstärkungsänderung in Abhängigkeit von der Größe des Verstärkungsfaktors g in fünf Phasen unterteilt. Diese fünf Phasen werden als vor, während und nach der Verstärkungsänderung sowie als Auf- und Abschaltungsphase der Verstärkungsänderung bezeichnet.

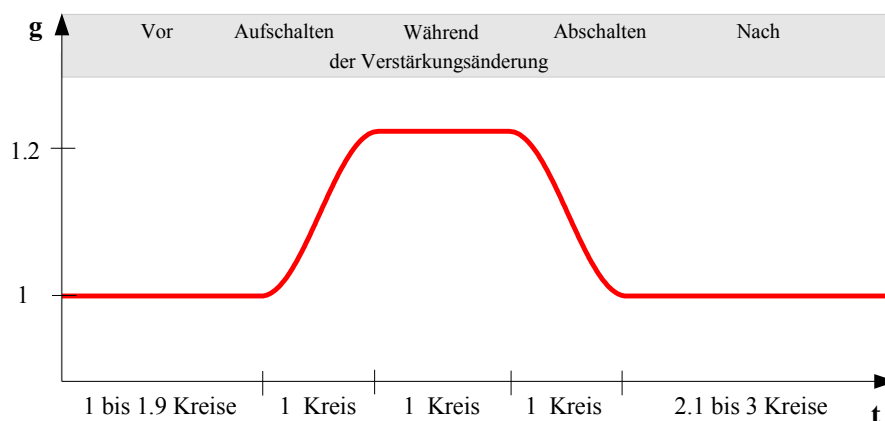


Abbildung 2.5: Werte des Verstärkungsfaktors g zu jedem Zeitpunkt der Fortsetzungsphase in Durchgängen mit Verstärkungsänderung. Alle Durchgänge wurden in die fünf Phasen vor, während und nach der Verstärkungsänderung sowie Auf- und Abschaltung der Verstärkungsänderung unterteilt. Die Dauer jeder dieser Phasen in Standardkreisen ist ebenfalls dargestellt.

Während der maximalen Verstärkungsänderung zwischen gezeichneten und auf dem Monitor dargestellten Kreisen war der Verstärkungsfaktor 1.2. Dies bedeutet, dass in dieser Zeitspanne auf dem Digitalisiertablett zurückgelegte Strecken auf dem Monitor 20% länger erschienen. Um die ihnen gestellte Aufgabe zu erfüllen, nämlich die Kreise so zu zeichnen, dass sie auf dem Monitor immer die gleiche Größe haben, mussten die Versuchspersonen während der vollständig aufgeschal-

teten Verstärkungsänderung die Radien der von ihnen gezeichneten Kreise um dem Faktor 1.2 (−16.6%) verkleinern. Sollte der Radius des gesehenen Kreises aus der Synchronisationsphase exakt beibehalten werden (4.72 cm), so würde sich eine optimale Anpassung an die veränderte Transformation durch eine Verringerung der Radien der gezeichneten Kreise um −0.79 cm auf 3.93 cm auszeichnen. Abbildung 2.5 stellt ebenfalls die Anzahl der gezeichneten Kreise in den fünf Abschnitten der Fortsetzungsphase dar. Da der Zeitpunkt des Einsetzens der Verstärkungsänderung in 0.1er Schritten zwischen der Dauer von einem und 1.9 Standardkreisen nach Beginn der Fortsetzungsphase variiert wurde, unterschieden sich die Durchgänge in der Anzahl der gezeichneten Kreise in den Phasen vor und nach der Verstärkungsänderung (Dauer von einem bis 1.9 Standardkreisen vor und 2.1 bis 3 Standardkreisen nach der Verstärkungsänderung), während das Auf- und Abschalten der Verstärkungsänderung sowie die Phase der maximalen Verstärkungsänderung jeweils einen Standardkreis dauerte.

In der Hälfte aller Durchgänge änderte sich das visumotorische Verhältnis nicht. Diese Durchgänge wurden zur Kontrollbedingung zusammengefasst. Um Durchgänge ohne und mit Verstärkungsänderungen vergleichen zu können, wurde jedem Durchgang ohne Verstärkungsänderung ein Durchgang mit Verstärkungsänderung zugeordnet. Diese Zuordnung erfolgte nach der Position eines Durchgangs im Block. So wurde dem ersten Kontrolldurchgang der erste Durchgang mit Verstärkungsänderung zugewiesen, der zweite Kontrolldurchgang dem zweiten Experimentaldurchgang und so weiter. Um die Kontrolldurchgänge analog zu den Experimentaldurchgängen in Phasen zu teilen, wurden die Werte des Verstärkungsfaktors zu jedem Zeitpunkt in den Experimentaldurchgängen extrahiert und den zugehörigen Kontrolldurchgängen zugeordnet.

2.2.6 Versuchsablauf

Zunächst füllten die Versuchspersonen einen demographischen Fragebogen, einen Lateralitätsfragebogen (Ehrenstein & Arnold-Schulze-Gahmen, 1997) und eine Einverständniserklärung zur Teilnahme am Experiment aus. Das Experiment begann mit einer Instruktionsphase, in der die Versuchspersonen beider Gruppen

über den Versuchsablauf informiert wurden. Die Gruppe „Explizites Wissen“ wurde zusätzlich über das Auftreten der Verstärkungsänderung informiert. Den Versuchspersonen dieser Gruppe wurde erklärt, dass sich im Verlauf eines Durchgangs das Verhältnis zwischen gezeichneten und auf dem Monitor dargestellten Kreisen so verändern kann, dass die auf dem Monitor dargestellten Kreise 20% größer erscheinen. Weiterhin wurde ihnen mitgeteilt, dass es sehr unwahrscheinlich ist, diese Verstärkungsänderung bewusst wahrzunehmen und dass ihnen deshalb die Veränderung der visumotorischen Beziehung immer durch den Farbwechsel des durch sie gesteuerten Cursorpunktes von weiß nach rot angezeigt werden würde. Die Verstärkungsänderungen wurden sowohl in Worten als auch mit Hilfe von Zeichnungen erläutert (siehe Abbildung 2.6). Die Versuchspersonen dieser Gruppe wurden dazu aufgefordert, ihre Zeichenbewegungen beim Auftreten der Verstärkungsänderung so anzupassen, dass die Größe der auf dem Monitor wahrgenommenen Kreise sich nicht ändert. Demzufolge mussten sie beim Auftreten der Verstärkungsänderung den Radius der gezeichneten Kreise verkleinern.

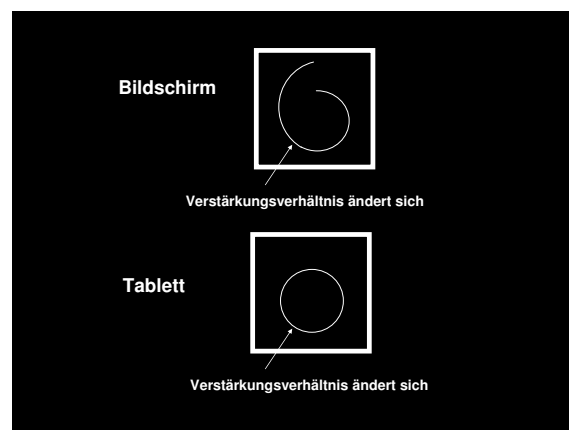


Abbildung 2.6: Abbildung aus der Instruktion der Gruppe „Explizites Wissen“, die zur Verdeutlichung der Konsequenz der Verstärkungsänderung benutzt wurde.

Die Versuchspersonen der Gruppe „Kein explizites Wissen“ erhielten keine Informationen über die Veränderung der visumotorischen Transformation. Während der Verstärkungsänderung änderte sich die Farbe des Cursors nicht. Im Anhang A ist die komplette Instruktion für beide Gruppen dargestellt. Im Anschluss an die Instruktionsphase folgten die Übungsphase und die Testphase.

Als letzter Teil des Experiments wurde die Nachbefragung durchgeführt. Die Ver-

suchspersonen beider Gruppen wurden im Anschluss an die drei Testblöcke vom Versuchsleiter befragt. Die Gruppe „Explizites Wissen“ wurde dabei hauptsächlich über den Nutzen und die Verständlichkeit der Instruktion befragt, während die Versuchspersonen der Gruppe „Kein explizites Wissen“ über die mögliche Entdeckung der Verstärkungsänderung befragt wurden. Die Befragung war hierarchisch strukturiert. Die erste Frage war sehr unspezifisch („Ist Ihnen im Versuch etwas aufgefallen?“), während die nachfolgenden Fragen sich auf verschiedene Aspekte des Bemerkens der veränderten visumotorischen Verstärkung bezogen. Die letzte Frage schließlich enthielt eine vollständige Aufklärung über die stattgefundenen Veränderungen. Im Anhang B sind die Fragen der Nachbefragung für beide Gruppen dargestellt .

Insgesamt drei Blöcke mit je 20 Durchgängen wurden von den Versuchspersonen bearbeitet. In zehn Durchgängen pro Block fand eine Verstärkungsänderung statt, in den anderen zehn Durchgängen gab es keine Veränderung der visumotorischen Verstärkung. Die Abfolge von Experimental- und Kontrolldurchgängen war für jede Versuchsperson und in jedem Block zufällig. Der Einsatz der Verstärkungsänderung wurde in 0.1-Schritten zwischen einem und 1.9 Standardkreisen nach Beginn der Fortsetzungsphase variiert, so dass insgesamt zehn Startzeiten für die Verstärkungsänderung resultierten. Auch der Einsatz der Veränderung war pro Block und Versuchsperson in jedem Durchgang zufällig. Die Versuchspersonen wurden in Einzelsitzungen untersucht.

2.2.7 Datenanalyse

Die Position des Stiftes auf dem Digitalisiertablett wurde in Form von x- und y-Koordinaten eines kartesischen Koordinatensystems mit einer Frequenz von 60 Hz gespeichert. Der Mittelpunkt des Koordinatensystems lag dabei in der Mitte des Digitalisiertabletts. Die Bewegungen des Stiftes auf dem Digitalisiertablett wurden so auf den Bildschirm dargestellt, dass der Mittelpunkt des Digitalisiertablett im Mittelpunkt des Bildschirms lag. Die vom Digitalisiertablett aufgezeichneten Rohdaten wurden zunächst mit einem Butterworth Filter vierter Ordnung mit einer Grenzfrequenz von 2.5 Hz gefiltert.

Aus diesen gefilterten Rohdaten wurden dann die Radien der auf dem Tablett gezeichneten Kreise berechnet, die in allen vorgestellten Experimenten als abhängige Variable analysiert wurden. Dazu wurde der Radius kontinuierlich für jeweils drei aufeinander folgende Punkte der Bewegungsbahn berechnet. Mit drei aufeinander folgenden Punkten $P_1(x_1, y_1)$, $P_2(x_2, y_2)$ und $P_3(x_3, y_3)$ ist es möglich, einen Kreis mit einem Mittelpunkt $P_0(x_0, y_0)$ und einem Radius r zu beschreiben. Mit Hilfe der Kreisgleichung 2.1

$$r^2 = (x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 \quad (2.1)$$

kann bei bekanntem Mittelpunkt der Radius bestimmt werden. Mit Hilfe von drei aufeinander folgenden Punkten P_1 , P_2 und P_3 konnten diese Koordinaten des Mittelpunktes und somit auch der Radius bestimmt werden. Die Koordinaten des jeweiligen Mittelpunkt der drei aufeinander folgenden Punkte wurde mit den Formel 2.2 (x-Koordinate) und 2.3 (y-Koordinate) berechnet.

$$x_0 = 0.5 \cdot \left[\frac{\frac{x_2^2 - x_3^2}{y_3 - y_2} - \frac{x_1^2 - x_2^2}{y_2 - y_1} + \frac{y_2^2 - y_3^2}{y_3 - y_2} - \frac{y_1^2 - y_2^2}{y_2 - y_1}}{\frac{x_2 - x_1}{y_2 - y_1} - \frac{x_3 - x_2}{y_3 - y_2}} \right] \quad (2.2)$$

$$y_0 = 0.5 \cdot \left[-\frac{x_2^2 - x_3^2}{y_3 - y_2} - 2 \cdot x_0 \cdot \frac{x_3 - x_2}{y_3 - y_2} - \frac{y_2^2 - y_3^2}{y_3 - y_2} \right] \quad (2.3)$$

Diese kontinuierlich bestimmten Radien der gezeichneten Kreise waren die Ausgangsdaten für die weiteren Analysen. Zur Verringerung des Einflusses zufälliger Variationen in diesen Radien wurden diese über einen bestimmten Zeitraum gemittelt. Da zu erwarten war, dass die Versuchspersonen nicht immer perfekt runde Kreise zeichnen würden, sondern auch elliptische Formen entstehen könnten, erfolgte die Zusammenfassung der ermittelten Radien nicht für einen kompletten Kreis, sondern für jeden gezeichneten Viertelkreis (siehe Abbildung 2.7). Ein Viertelkreis war dann abgeschlossen, wenn entweder in der x- oder y-Koordinate ein Maximum vorlag, bzw. die Zeichengeschwindigkeit in einer der beiden Koordinaten Null war. Im Folgenden werden diese Viertelkreise als Kreissegmente bezeichnet. Alle kontinuierlich berechneten Radien eines Kreissegments wurden

gemittelt, so dass schließlich jeder gezeichnete Kreis durch vier Mittelwerte des Radius beschrieben werden konnte.

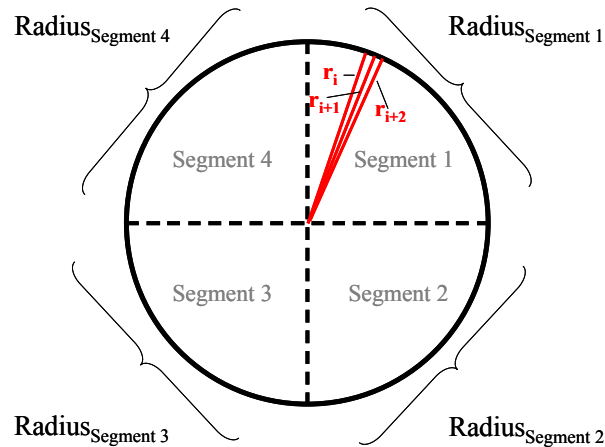


Abbildung 2.7: Zerlegung der gezeichneten Kreise in vier Kreissegmente. Für jedes der Segmente werden Mittelwert der Radien r_i bestimmt.

Um die Radien in den verschiedenen Phasen jedes Durchgangs bestimmen zu können, wurden die Radien aller zu einer Phase gehörenden Mittelwerte der Kreissegmente gemittelt. Aufgrund einer sehr hohen Wahrscheinlichkeit von Ausreißern wurden jeweils das erste und das letzte Segment jedes Durchgangs nicht in die Analyse einbezogen. Die erste ausgewertete Phase jedes Durchgangs war „Vor Verstärkungsänderung“. Sie dauerte wenigstens einen und höchstens 1.9 Standardkreise. Da das erste Segment immer von der Analyse ausgeschlossen wurde, konnte diese Phase aus wenigstens drei und höchstens sieben Kreissegmente bestehen. Die Phase „Während Verstärkungsänderung“ dauerte immer einen Standardkreis lang, so dass vier Segmente zur Berechnung des Mittelwertes in dieser Phase zur Verfügung standen. Zwischen 2.1 und drei Standardkreise lang dauerte die Phase „Nach Verstärkungsänderung“. In Abhängigkeit vom Startpunkt der Verstärkungsänderung und unter Ausschluss des letzten Segments konnten Werte aus acht bis elf Kreissegmenten zur Bildung des Mittelwerts herangezogen werden.

Die Phasen der Auf- und Abschaltung der Verstärkungsänderung dauerten jeweils einen Standardkreis und bestanden somit aus je vier Kreissegmenten. Für diese Phasen wurden keine Mittelwerte über die Kreissegmente bestimmt, da die Segmente aufgrund des an-bzw. absteigenden Verstärkungsfaktors nicht vergleichbar

waren. Aus diesem Grund wurde die Datenanalyse auf die Phasen vor, während und nach der Verstärkungsänderung beschränkt.

Eine Reihe verschiedener Kriterien wurde zur Charakterisierung der Güte der Daten herangezogen. Diese Kriterien sollen im folgenden Abschnitt auf der Ebene der Segmente, Durchgänge und Versuchspersonen beschrieben werden.

Wie bereits beschrieben, wurde jedes erste und letzte Kreissegment eines Durchgangs von der Analyse ausgeschlossen. Weiterhin wurden Segmente ausgeschlossen, wenn sie aus weniger als 15 Werten bestanden, einen mittleren Radius von mehr als 30 cm hatten oder eine mittlere tangentielle Geschwindigkeit von weniger als fünf cm pro Sekunde aufwiesen. Dadurch sollten Segmente ausgeschlossen werden, in denen die Versuchspersonen zu weite Bewegungen ausführten (Schwelle für mittleren Radius) sowie auch Segmente, bei denen die Versuchspersonen das Zeichnen unterbrochen hatten (Schwelle für mittlere tangentielle Geschwindigkeit). Ein Durchgang wurde als ungültig klassifiziert und aus der Analyse entfernt, wenn es nicht möglich war, für alle drei Phasen Mittelwerte zu bestimmen. Dies war der Fall, wenn weniger als drei gültige Segmente in den Phasen „Vor“ oder „Während“ existierten oder wenn es weniger als sieben gültige Segmente in der Phase „Nach“ gab. Wenn einer dieser Mittelwerte in einem Durchgang nicht berechenbar war, dann wurde er als ungültig klassifiziert.

Eine Versuchsperson wurde dann aus der Analyse ausgeschlossen, wenn in wenigstens einer Bedingung wenigstens eines Blocks keine gültigen Durchgänge produziert worden waren.

Für jeden Versuchsteilnehmer wurde ein Mittelwert des Radius für jede Phase in Experimental- und Kontrollbedingung jedes Blocks berechnet. Dazu wurden die Radien aller gültigen Segmente jedes Durchgangs in den Phasen vor und während der Verstärkungsänderung gemittelt. In die Analyse der Radien in der Phase nach der Verstärkungsänderung wurden jeweils nur die letzten vier Segmente dieser Phase einbezogen, um den Versuchspersonen ausreichend Zeit zu geben, um die von ihnen gezeichneten Kreise nach Abschalten der Verstärkungsänderung wieder ausreichend zu vergrößern.

Diese gemittelten Radien für jede Phase eines Durchgangs wurden dann für jede

Bedingung in jedem Block durch Mittelwertberechnung für jede Versuchsperson zusammengefasst. Um diese Werte der beiden Experimentalgruppen zu analysieren, wurde eine $2 \times 3 \times 2 \times 3$ -Varianzanalyse mit Messwiederholung (siehe Abbildung 2.8) für die abhängige Variable „Radius der gezeichneten Kreise in cm“, den Zwischenfaktor Gruppe (explizites Wissen, kein explizites Wissen) sowie die Innerhalbfaktoren Block (1 bis 3), Verstärkungsänderung (mit, ohne) und Phase (vor, während und nach der Verstärkungsänderung) berechnet. In allen beschriebenen Experimenten dieser Arbeit wurde der Faktor Block in allen Analysen berücksichtigt. Da sich aber keine inhaltlich relevanten Effekte für diesen Faktor ergaben, soll in der Darstellung der Ergebnisse grundsätzlich auf die Effekte dieses Faktors verzichtet werden.

Unterschiede zwischen den Gruppen in der Anpassung an die Verstärkungsänderung würden sich in der Datenanalyse durch eine signifikante Dreifachinteraktion von Gruppe, Verstärkungsänderung und Phase ausdrücken. Mit Hilfe von Kontrastanalysen soll zusätzlich geklärt werden, in welchen Phasen sich die Gruppen wie stark in den Radien der gezeichneten Kreise unterscheiden.

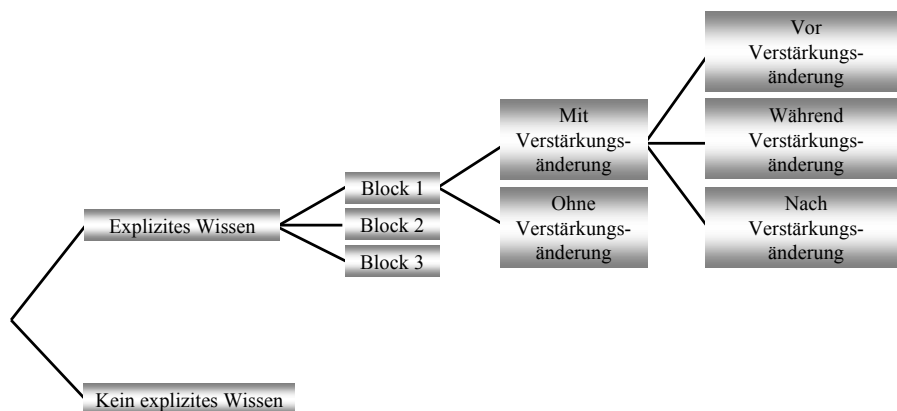


Abbildung 2.8: Design der Varianzanalyse mit Messwiederholung von Experiment I.

2.3 Ergebnisse

2.3.1 Ausgeschlossene Daten

Daten von insgesamt drei weiblichen Versuchsteilnehmern mussten von der Analyse ausgeschlossen werden, da diese zu viele ungültige Durchgänge produziert hatten (siehe Abschnitt 2.2.7). Dabei handelte es sich um zwei Versuchspersonen aus der Gruppe „Explizites Wissen“ und eine Teilnehmerin der Gruppe „Kein explizites Wissen“. Die verbleibenden Versuchspersonen hatten 212 ungültige von insgesamt 1380 Durchgängen produziert. Dies entspricht einer Quote von 15.4%.

2.3.2 Bewegungszeiten

Die Versuchspersonen benötigten zwischen 1.38 und 2.28 s, um einen Kreis in der Übungsphase zu zeichnen (Mittelwert 1.81 s, SD .26 s). Zwischen den Gruppen gab es keine Unterschiede in der Zeichengeschwindigkeit in der Übungsphase ($t(21) = -.66, p > .10$).

2.3.3 Ergebnis der Nachbefragung

Um zu erfahren, ob den Versuchspersonen der Gruppe „Kein explizites Wissen“ die Verstärkungsänderung bewusst geworden war, wurde die in Abschnitt 2.2.6 beschriebene Nachbefragung eingesetzt. Es zeigte sich, dass keine der Versuchspersonen spontan verbalisieren konnte, dass ihnen während des Versuchs etwas aufgefallen war.

Insgesamt sechs Versuchspersonen gaben an, die Verstärkungsänderung bemerkt zu haben und ihre Bewegungen an diese Verstärkungsänderung angepasst zu haben, nachdem ihnen im letzten Teil der Befragung das Auftreten der Verstärkungsänderung genau beschrieben wurde. Fünf dieser Versuchspersonen gaben zusätzlich an, nicht die ganze Zeit über gleich große Kreise gezeichnet zu haben. Im folgenden Abschnitt 2.3.4 werden zwei Analysen des Radius der gezeichneten Kreise beschrieben. Die erste Analyse fasst alle Versuchspersonen zusammen ($n=23$), während in die zweite Analyse nur die Versuchspersonen der Gruppe „Kein

explizites Wissen“ untersucht werden, denen die Verstärkungsänderung nach eigenen Angaben nicht bewusst geworden war (n=17).

2.3.4 Analyse des Radius der gezeichneten Kreise

Abbildung 2.9 zeigt die Mittelwerte der Radien beider Gruppen vor (v), während (w) und nach (n) der Verstärkungsänderung. In der Gruppe „Explizites Wissen“ waren die Radien der gezeichneten Kreise vor der Verstärkungsänderung in Experimental- und Kontrollbedingung sehr ähnlich (Experimentalbedingung: $r = 4.68$ cm, Kontrollbedingung: $r = 4.71$ cm). Während der Verstärkungsänderung verkleinerten die Versuchspersonen mit explizitem Wissen die von ihnen gezeichneten Kreise gegenüber den Kreisen vor der Verstärkungsänderung in der Kontrollbedingung um $\Delta r_{vw} = -.03$ cm auf $r = 4.68$ cm und in der Experimentalbedingung um $\Delta r_{vw} = -.79$ cm auf $r = 3.89$ cm. Nach Abschalten der Verstärkungsänderung waren die Radien der gezeichneten Kreise in der Kontrollbedingung gegenüber der Radien während der Verstärkungsänderung um weitere $\Delta r_{wn} = -.04$ cm verkleinert worden ($r = 4.64$ cm), während die Radien in der Experimentalbedingung gegenüber den Radien während der Verstärkungsänderung um $\Delta r_{wn} = .59$ cm auf $r = 4.48$ cm vergrößert wurden.

Auch in der Gruppe „Kein explizites Wissen“ erfolgte während der Verstärkungsänderung eine Verkleinerung der Radien der gezeichneten Kreise von $r = 4.84$ cm vor der Verstärkungsänderung auf $r = 4.47$ cm, also eine Verkleinerung von $\Delta r_{vw} = -.37$ cm. Nach der Verstärkungsänderung zeichnen auch die Versuchspersonen ohne explizites Wissen wieder größere Kreise als während der Verstärkungsänderung ($r = 4.76$ cm). Dies entsprach einer Vergrößerung der Radien gegenüber denen während der Verstärkungsänderung von $\Delta r_{wn} = .29$ cm. Die Radien der Kontrollbedingung unterschieden sich in dieser Gruppe kaum (vor: $r = 4.81$ cm, während: $r = 4.82$ cm, nach: $r = 4.81$ cm). In Tabelle 2.1 sind die Mittelwerte und Standardabweichungen der Radien in allen drei Phasen für beide Gruppen dargestellt.

Vor der Durchführung der Varianzanalyse wurden zunächst deren Voraussetzungen geprüft. Die Voraussetzungen der Varianzanalyse sind die Normalverteilung

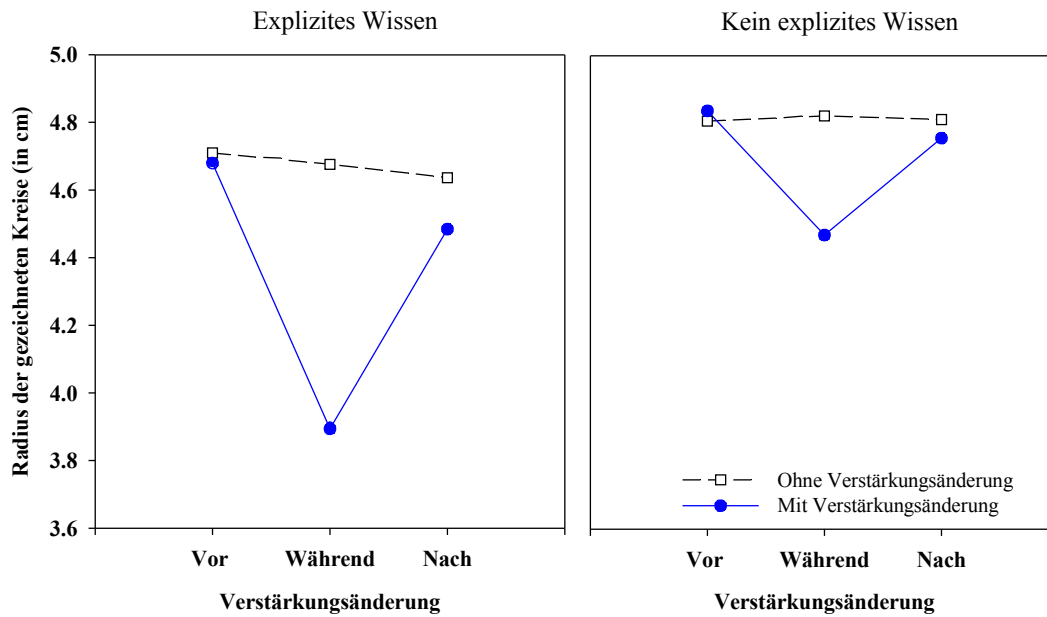


Abbildung 2.9: Ergebnisse von Experiment I. Die mittleren Radien der gezeichneten Kreise in cm vor, während und nach der Verstärkungsänderung sind dargestellt für die Gruppe „Explizites Wissen“ (linke Seite) und „Kein explizites Wissen“ (rechte Seite) für die Experimentalbedingung („Mit Verstärkungsänderung“) und die Kontrollbedingung („Ohne Verstärkungsänderung“). Die Abbildung zeigt die Daten der Gesamtstichprobe.

der Residuen, Varianzhomogenität sowie speziell für Messwiederholungsdesigns die Sphärizität. Bei Verletzung der Normalverteiltheitsannahme verhält sich der F-Test auch bei kleinen Gruppengrößen robust (Stevens, 1996). Bezüglich der Verletzung der Annahmen homogener Varianzen ist der F-Test dann robust, wenn die Gruppengrößen annähernd gleich sind. Die Voraussetzungen der Varianzanalyse wurden in allen dargestellten Experimenten überprüft. In den Fällen, in denen die Sphärizitätsannahme verletzt war, wurde in allen beschriebenen Experimenten eine Korrektur der Freiheitsgrade nach Greenhouse-Geisser vorgenommen und mit dem Greenhouse-Geisser-Korrekturwert für die Freiheitsgrade (ϵ) gekennzeichnet. Die angegebenen Signifikanzwerte beziehen sich dann auf die korrigierten Freiheitsgrade.

Die Varianzanalyse mit Messwiederholung ergab einen signifikanten Interaktionseffekt Gruppe x Verstärkungsänderung x Phase, $F(2, 42) = 7.33$, $p < .01$. Zur genaueren Analyse dieses Interaktionseffektes wurden Kontrastanalysen durchgeführt. Zum Vergleich der Anpassung der gezeichneten Kreise wurde die Verände-

rung des Radius von vor zu während der Verstärkungsänderung mit der entsprechenden Veränderung in der Kontrollbedingung der jeweiligen Gruppe verglichen. Zur Veranschaulichung der Veränderung des Radius wird Δr_{EK} angegeben. Dieser Wert beschreibt die Differenz zwischen den Radien der Experimentalbedingung und der Kontrollbedingung während der Verstärkungsänderung. Dabei wurden die Radien der Kontrollbedingung von denen der Experimentalbedingung in der jeweiligen Phase abgezogen. Zusätzlich wird dieses Δr_{EK} in % der Kreisgröße vor der Verstärkungsänderung der Experimentalbedingung angegeben.

Die Radien der gezeichneten Kreise in der Kontrollbedingung beider Gruppen über die drei Phasen unterschieden sich sowohl innerhalb der beiden Gruppen als auch zwischen den Gruppen nicht signifikant voneinander. In den Durchgängen mit Verstärkungsänderung zeigte sich von vor zu während der Verstärkungsänderung eine signifikant stärkere Verkleinerung der gezeichneten Kreise in beiden Gruppen gegenüber der Verkleinerung der Radien in der jeweiligen Kontrollbedingung („Explizites Wissen“: $F(1, 21) = 95.11, p < .0001$; „Kein explizites Wissen“: $F(1, 21) = 26.81, p < .0001$).

In der Gruppe „Explizites Wissen“ waren die gezeichneten Kreise während der Verstärkungsänderung $\Delta r_{EK} = -.79$ cm kleiner als die Radien der Kontrollbedingung, was einer prozentualen Verkleinerung der Radien von -16.9% bezogen auf die Kreise vor der Verstärkungsänderung entsprach. Die Gruppe „Kein explizites Wissen“ verkleinerte die Radien um $\Delta r_{EK} = -.35$ cm (-7.5%).

Obwohl beide Gruppen von vor zu während der Verstärkungsänderung die Radien signifikant verkleinerten, unterschieden sich die Gruppen im Ausmaß dieser Anpassung ($F(1, 21) = 12.00, p < .01$). Die Gruppe „Explizites Wissen“ passte sich signifikant stärker an als die Teilnehmer der Gruppe „Kein explizites Wissen“.

Auch der Vergleich der Radien von Experimental- und Kontrollbedingungen in den Phasen vor und nach der Verstärkungsänderung soll kurz dargestellt werden. In der Gruppe „Explizites Wissen“ unterschieden sich Kontroll- und Experimentalbedingung vor der Verstärkungsänderung nicht, während die Radien der Kreise nach der Verstärkungsänderung in der Experimentalbedingung signifikant kleiner waren als die der Kontrollbedingung zu diesem Zeitpunkt ($F(1, 21) = 6.72$,

$p < .05$). In der Gruppe „Kein explizites Wissen“ ergaben sich keine Unterschiede vor und nach der Verstärkungsänderung zwischen Experimental- und Kontrollbedingung.

Im Vergleich der Gruppen zeigte sich, dass die Unterschiede zwischen Kontroll- und Experimentalbedingung vor bzw. nach der Verstärkungsänderung zwischen den beiden Gruppen nicht signifikant verschieden waren. Hingegen war die Vergrößerung der Radien von während zu nach der Verstärkungsänderung zwischen den Gruppen signifikant verschieden ($F(1, 21) = 8.39, p < .01$).

Weitere signifikante Effekte der Varianzanalyse waren Haupteffekte der Faktoren Verstärkungsänderung ($F(1, 21) = 79.04, p < .0001$), Phase ($F(2, 42) = 37.46, p < .0001$) sowie die Interaktionen Gruppe x Verstärkungsänderung ($F(1, 21) = 15.22, p < .001$), Phase x Gruppe ($F(2, 42) = 5.71, p < .01$) und Verstärkungsänderung x Phase ($F(2, 42) = 64.46, p < .0001$).

Um zu untersuchen, ob das Bemerkens der Verstärkungsänderung in der Gruppe „Kein explizites Wissen“ einen Einfluss auf die Ergebnisse hatte, wurde eine zweite Varianzanalyse mit Messwiederholung analog zu der oben beschriebenen durchgeführt, von der die sechs Versuchspersonen der Gruppe „Kein explizites Wissen“ ausgeschlossen wurden, die sich der Verstärkungsänderung zumindest teilweise bewusst geworden waren. Wie Tabelle 2.1 zeigt, wichen die deskriptiven Werte der eingeschränkten Stichprobe der Gruppe „Kein explizites Wissen“ nur gering von den Werten der Gesamtstichprobe ab. Auch die statistische Analyse ergab die für die Gesamtstichprobe gefundenen signifikanten Effekte. Diese sind im Anhang C dargestellt.

2.3.5 Interindividuelle Unterschiede in der Anpassung an die Verstärkungsänderung

Wie Tabelle 2.1 zeigt, war die Standardabweichung der Radien der Gruppe „Kein explizites Wissen“ über alle drei Phasen der Experimentalbedingung nahezu konstant, während die Standardabweichungen der Gruppe „Explizites Wissen“ während und nach der Verstärkungsänderung deutlich größer war als vor dem Einsetzen der Verstärkungsänderung. In der Kontrollbedingung waren die Verände-

Tabelle 2.1: Mittelwerte und Standardabweichungen (in Klammern) der Radien für die Gruppen „Explizites Wissen“ (EW), „Kein explizites Wissen, gesamt“ (KEWg) sowie „Kein explizites Wissen, ohne Bemerken der Verstärkungsänderung“ (KEWo) in den Phasen vor, während und nach der Verstärkungsänderung für Experimental- und Kontrollbedingung.

Bedingung	Gruppe	Vor	Während	Nach
Experimentalbedingung	EW	4.68 (.44)	3.89 (.57)	4.48 (.67)
	KEWg	4.84 (.86)	4.47 (.88)	4.76 (.93)
	KEWo	4.80 (.74)	4.47 (.86)	4.76 (.91)
Kontrollbedingung	EW	4.71 (.47)	4.68 (.56)	4.64 (.64)
	KEWg	4.81 (.88)	4.82 (1.00)	4.81 (1.03)
	KEWo	4.80 (.83)	4.82 (1.06)	4.83 (1.11)

rungen der Standardabweichungen über die drei Phasen hingegen in beiden Gruppen ähnlich. Die Unterschiede in der Experimentalbedingung legen die Vermutung nahe, dass auch die individuelle Anpassung der beiden Gruppen unterschiedlich stark variierte. Neben der Beschreibung der Mittelwerte der Radien soll aus diesem Grund auch eine Übersicht über das Ausmaß der individuellen Anpassung der Versuchspersonen gegeben werden. Dazu wurde für jede Person die Anpassung während der Verstärkungsänderung bezogen auf die Radien der Kreise vor der Verstärkungsänderung berechnet. In Abbildung 2.10 sind diese individuellen Werte der Anpassung des Radius während der Verstärkungsänderung für jede Versuchsperson der beiden Gruppen dargestellt. Für diese Abbildung wurden die Veränderungen in der Kontrollbedingung jeder Versuchsperson von der Anpassung in der Experimentalbedingung abgezogen. Während die mittlere individuelle Anpassung in der Gruppe „Explizites Wissen“ bei -20.4% lag (SD 9.6%), ergab sich für die Versuchspersonen ohne explizites Wissen eine mittlere individuelle Anpassung von -8.4% (SD 3.5%). Die deutlich größere Standardabweichung der individuellen Anpassung der Gruppe „Explizites Wissen“ deutet darauf hin, dass die individuelle Anpassung in dieser Gruppe heterogener war als bei den Versuchspersonen ohne explizites Wissen. Diese wiederum zeichnen sich durch eine relativ homogenes Ausmaß der individuellen Anpassung an die Verstärkungsänderung aus.

Die in Abschnitt 2.3.4 angegebenen mittleren Anpassungen in den Experimentalbedingungen von -16.9% in der Gruppe „Explizites Wissen“ und -7.5% in der Gruppe „Kein explizites Wissen“ unterscheiden sich von den Werten der individuellen Anpassungen. Dieser Unterschied resultiert daraus, dass bei der Bestimmung der mittleren Anpassung zunächst Mittelwerte über alle Versuchspersonen gebildet wurden und dann die Differenz dieser gemittelten Werte von während und vor der Verstärkungsänderung bestimmt wurde. Diese Differenz wurde dann als Prozentwert der gemittelten Radien vor der Verstärkungsänderung angegeben. Bei der Analyse der individuellen Anpassungsfähigkeit wurde für jede Versuchsperson zunächst die Differenz zwischen den Radien während und vor der Verstärkungsänderung bestimmt und diese als Prozentwert der individuellen Radiusgröße vor der Verstärkungsänderung beschrieben. Diese wurde dann über alle Versuchspersonen gemittelt.

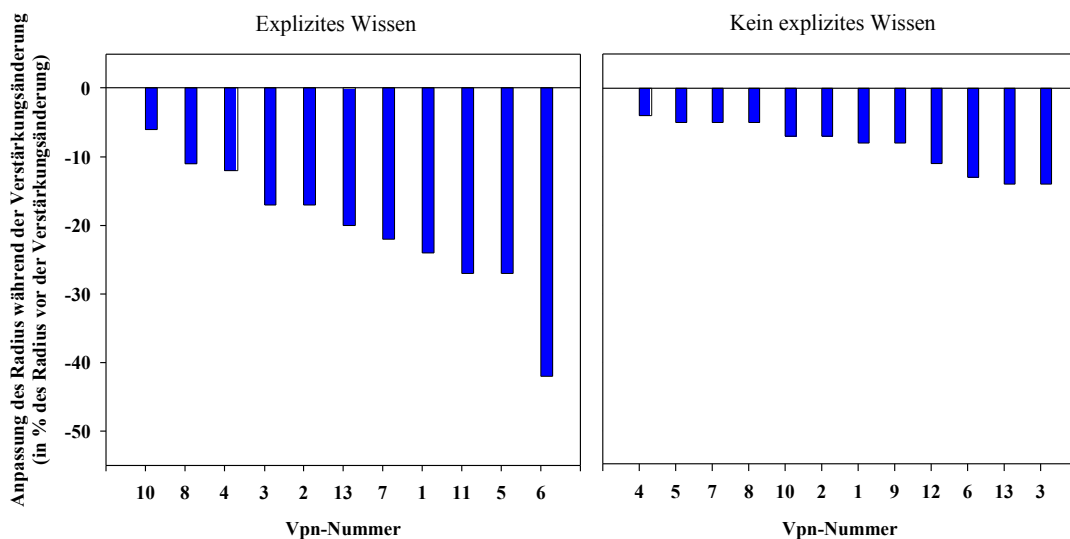


Abbildung 2.10: Individuelle Anpassung des Radius während der Verstärkungsänderung aller Versuchspersonen (Vpn-Nummer) der Gruppen „Explizites Wissen“ (links) und „Kein explizites Wissen“ (rechts) in % (bezogen auf die Radien vor der Verstärkungsänderung).

2.4 Diskussion

Im ersten Experiment sollte der Einfluss expliziten Wissens auf die Anpassung an eine sonst mit geringer Wahrscheinlichkeit bemerkten Verstärkungsänderung untersucht werden. Das explizite Wissen der über die Verstärkungsänderung informierten Versuchspersonen sollte dabei zu einer intentionalen Bewegungsanpassung führen, während die Anpassung in der nicht informierten Gruppe inzidentell sein sollte.

In diesem Experiment konnte zum Einen gezeigt werden, dass sich Versuchspersonen auch ohne explizite Information über das Auftreten einer Verstärkungsänderung an diese anpassen können. Dabei realisiert diese Gruppe im Mittel die Hälfte der zur vollständigen Kompensierung der Verstärkungsänderung benötigten Bewegungsanpassung.

Zum Anderen konnte gezeigt werden, dass sich auch Versuchspersonen mit explizitem Wissen über das Auftreten dieser Verstärkungsänderung an diese anpassten. Dabei erreichten die Teilnehmer dieser Gruppe im Gegensatz zu den Versuchspersonen ohne Information über das Auftreten der Verstärkungsänderung im Mittel eine optimale Anpassung an die veränderte visumotorische Verstärkung.

Ein weiterer Unterschied zwischen den beiden Gruppen wurde beim Vergleich der Radien nach Abschalten der Verstärkungsänderung sichtbar. Während die Versuchspersonen ohne explizites Wissen nach der Verstärkungsänderung die Radien der gezeichneten Kreise wieder auf das Niveau der Radien der Kontrollbedingung vergrößerten, erreichten die Teilnehmer der Gruppe „Explizites Wissen“ dieses Niveau nach der Verstärkungsänderung nicht. Dieser Unterschied könnte zum Einen dadurch zustande gekommen sein, dass die Gruppe „Explizites Wissen“ aufgrund der stärkeren Verkleinerung der gezeichneten Kreise während der Verstärkungsänderung eine längere Zeitspanne benötigt, um das Ausgangsniveau bzw. das Niveau der Kontrollbedingung wieder herzustellen. Zum Anderen wäre es auch möglich, dass durch die aus der Verstärkungsaufschaltung resultierende Verkleinerung der gezeichneten Kreise die Repräsentation der Kreisgröße zu Beginn des Durchgangs verloren ging bzw. verzerrt erinnert wurde.

Des Weiteren konnte gezeigt werden, dass die Entdeckungsrate der veränderten

visuomotorischen Beziehung generell niedrig war und dass selbst das teilweise Bemerken der Verstärkungsänderung sich nicht in einer veränderten Bewegungsanpassung ausdrückte.

Schließlich zeigte sich in diesem Experiment auch, dass die interindividuelle Bewegungsanpassung der Versuchspersonen ohne explizites Wissen deutlich homogener war als die der über das Auftreten der Verstärkungsänderung informierten Versuchspersonen.

Explizites Wissen über das Auftreten einer Verstärkungsänderung scheint die Anpassung an die Verstärkungsänderung zu verbessern. Für das Auftreten einer Bewegungsanpassung ist das explizite Wissen allerdings nicht notwendig.

3 Experiment II

3.1 Fragestellung

In Experiment I konnte gezeigt werden, dass explizites Wissen über das Auftreten einer visumotorischen Verstärkungsänderung die Anpassung daran verbessern kann. Es stellt sich die Frage, in welchem Ausmaß die intentionalen und inzidentellen Anpassungsprozesse zu dieser verbesserten Anpassung führen. Während in der nicht über das Auftreten der Verstärkungsänderung informierten Gruppe die ausgeführten Anpassungsprozesse nur inzidentell waren, kann die verstärkte Anpassung der über das Auftreten informierten Versuchspersonen auf zwei Arten entstanden sein. Zum Einen könnte die intentionale Anpassung den inzidentellen Anpassungsprozess ersetzen, wie es von Willingham (1998) in der COBALT-Theorie postuliert wurde. Zum Anderen könnte die verstärkte Anpassung der informierten Versuchspersonen dadurch entstanden sein, dass sowohl der intentionale als auch der inzidentelle Anpassungsprozess auftritt und die Gesamtanpassung aus dem gleichzeitigen Wirken beider Prozesse entstand, wie es Redding und Wallace (1993) für die Prismenadaptation postuliert haben.

In Experiment II soll untersucht werden, welchen separaten Einfluss der intentionale und inzidentelle Prozess auf die resultierende Bewegungsanpassung haben. Die Größe der Anpassung, die nur durch intentionale oder inzidentelle Anpassung entsteht, soll dann verglichen werden mit dem Ausmaß der Anpassung, wenn beide Prozesse gleichzeitig wirken. Sollte der intentionale Prozess die inzidentelle Anpassung ersetzen, dann müsste die Anpassung in der Bedingung, in der nur die intentionale Anpassung wirksam ist, genauso groß sein wie in der Bedingung, in der beide Prozesse auftreten. Wirken intentionale und inzidentelle Prozesse jedoch

zusammen, so müsste die Anpassung dann in der Bedingung, in der beide Prozesse auftreten, größer sein, als die intentionale oder inzidentelle Anpassung allein.

In Experiment II wurden vier Untersuchungsbedingungen konstruiert, die durch die Kombination der jeweils zweistufigen Faktoren Verstärkungsänderung (mit, ohne) und Farbwechsel (mit, ohne) entstanden, um den Einfluss intentionaler und inzidenteller Anpassungsprozesse zu untersuchen. In diesem Experiment sollen vier Fragen beantwortet werden:

1. Können die Ergebnisse aus Experiment I für die Gruppe „Explizites Wissen“ repliziert werden?
2. Wie groß ist der separate Einfluss von intentionaler und inzidenteller Verstärkungsänderung?
3. Wie setzt sich die Anpassung in der Bedingung, in der sowohl intentionale als auch inzidentelle Anpassungsprozesse eine Rolle spielen, aus intentionaler und inzidenteller Anpassung zusammen?
4. Wie groß sind die interindividuellen Unterschiede?

3.2 Methode

3.2.1 Versuchspersonen

24 normalsichtige oder korrigiert normalsichtige Rechtshänder (12 Männer, 12 Frauen) nahmen an dem Experiment teil. Die Mehrheit der Teilnehmer (n=21) studierte an der Universität Dortmund, zwei Versuchspersonen leisteten Zivildienst und eine Versuchsperson arbeitete als PR-Berater. Die Versuchspersonen waren durchschnittlich 24 Jahre alt (SD 3.34 Jahre, R 19-31 Jahre). Sie erhielten 15 Euro oder zwei Versuchspersonenstunden als Teilnahmeentschädigung.

3.2.2 Apparatur und Aufgabe

Es ergaben sich einige geringfügige Veränderungen gegenüber der Versuchsapparatur des ersten Experiments. Anstelle eines LCD-Monitors wurde ein 17-Zoll-

Röhrenmonitor (Iiyama) mit einer Bildschirmwiederholfrequenz von 60 Hz bei einer Auflösung von 1280 x 1024 Pixel verwendet. Die Versuchspersonen arbeiteten mit einem 45.72 x 30.48 cm großen Digitalisiertablett (WACOM Intuos), das über eine Auflösung von 2540 Linien pro Inch (1000 Linien pro cm) verfügte. Der Aufbau des Experiments entsprach sonst dem des ersten Experiments (siehe Kapitel 2.2.2).

Die Aufgabe der Versuchspersonen war identisch mit der Aufgabe des ersten Experiments (siehe Abschnitt 2.2.3).

3.2.3 Versuchsdurchführung

Die Durchführung von Experiment II ähnelte dem ersten Experiment. Nach einer Instruktionsphase absolvierten alle Versuchspersonen die bereits im Abschnitt 2.2.4 für das erste Experiment beschriebene Übungsphase. Auch die Durchführung der Testphase wurde vom ersten Experiment übernommen mit dem Unterschied, dass als Hintergrundfarbe ein grauer Ton gewählt wurde und die Cursorfarbe blau anstatt weiß war. Während die Synchronisationsphase wiederum aus fünf Kreisen bestand, wurden in der Fortsetzungsphase acht bis neun Standardkreise gezeichnet. Die ersten fünf Versuchsteilnehmer zeichneten dabei nur acht Kreise, während nachfolgende Versuchspersonen neun Kreise zeichneten, um die Berechnung der Mittelwerte robuster zu gestalten. Auch im zweiten Experiment unterschieden sich die Durchgänge nur in der Fortsetzungsphase. In diesem Experiment wurden vier Typen von Durchgängen untersucht. Abbildung 3.1 fasst diese vier Typen zusammen und gibt einen Überblick über den Ablauf eines Durchgangs. Im Abschnitt 3.2.4 werden diese vier Bedingungen beschrieben.

3.2.4 Bedingungen

Um den Einfluss von Verstärkungsänderung und Farbwechsel des Cursors als Hinweis auf diese Verstärkungsänderung getrennt voneinander untersuchen zu können, wurden insgesamt vier Typen von Durchgängen in Experiment II bearbeitet. Diese vier Typen entstanden durch die Kombination der jeweils zweistufigen Faktoren Verstärkungsänderung (mit, ohne) und Farbwechsel (mit, ohne).

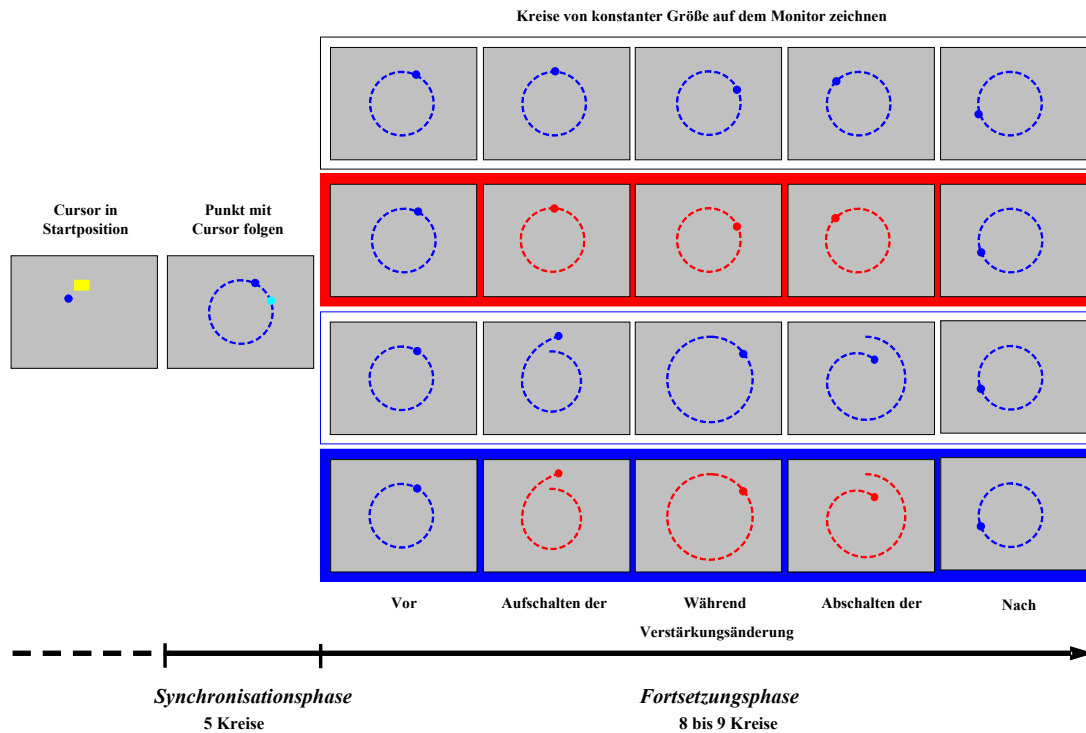


Abbildung 3.1: Ablauf eines Durchgangs in Experiment II. Nachdem der Durchgang durch Bewegung des Cursors in die Startposition gestartet wurde, begann die Synchronisationsphase. Die Versuchsperson verfolgte den Vorgabepunkt fünf Kreise lang. Anschließend folgte die Fortsetzungsphase. In dieser Phase trat in Durchgängen mit Verstärkungsänderung und Farbwechsel (untere Reihe) sowie in Durchgängen mit Verstärkungsänderung und ohne Farbwechsel (zweite Reihe von unten) eine Veränderung der visumotorischen Beziehung auf. Durchgänge, in denen ein Farbwechsel ohne Verstärkungsänderung auftrat, sind in der zweiten Reihe von oben dargestellt. In der obersten Reihe wird ein Durchgang in der Kontrollbedingung beschrieben.

Die Bedingung „Verstärkungsänderung mit Farbwechsel“ entsprach der Bedingung „Mit Verstärkungsänderung“ für die Gruppe „Explizites Wissen“ aus Experiment I. Die visumotorische Verstärkung wurde von 1:1 auf 1.2:1 verändert (siehe Abschnitt 2.2.5) und die Versuchspersonen wurden über das Auftreten dieser Verstärkungsänderung immer durch den Farbwechsel des Cursors von blau nach rot informiert. Diese Bedingung wird als „VÄ mit FW“ bezeichnet.

In der zweiten Bedingung mit Verstärkungsänderung wurde diese Veränderung nicht durch den Farbwechsel des Cursors angezeigt. Die Größe der Anpassung unter dieser Bedingung stellte ein Maß für die inzidentelle, unwillkürliche Anpassung an die Verstärkungsänderung dar. Diese Bedingung wird „VÄ ohne FW“ genannt. In der dritten Bedingung trat zu einem zufällig ausgewählten Zeitpunkt ein Farb-

wechsel des Cursors von blau nach rot auf. Das Verstärkungsverhältnis änderte sich allerdings trotz Farbwechsel nicht. Somit konnte die Anpassung des Radius in dieser Bedingung als Ausmaß der intentionalen, willkürlichen Anpassung, also der Nutzung des expliziten Wissens, angesehen werden. Diese Bedingung wird als „FW ohne VÄ“ bezeichnet.

In der Kontrollbedingung trat weder eine Verstärkungsänderung noch ein Farbwechsel des Cursors auf. Die Kontrollbedingung entsprach den in Experiment I beschriebenen Durchgängen ohne Verstärkungsänderung (siehe Abschnitt 2.2.5). Alle Durchgänge wurden mit einem Onsetwert markiert, sodass eine Zuordnung der Durchgänge mit Verstärkungsänderung zu den entsprechenden Durchgängen, in denen keine Verstärkungsänderung auftrat („Farbwechsel ohne Verstärkungsänderung“ und „Kontrollbedingung“) und deren benötigte Aufteilung in die drei für die Auswertung relevanten Phasen möglich war. Die Aufteilung der Kontrollbedingung in Phasen wurde wie in Experiment I beschrieben durchgeführt.

Abbildung 3.2 zeigt die Werte des Verstärkungsfaktors g und die jeweilige Dauer der fünf Abschnitte der Fortsetzungsphase in Standardkreisen für Durchgänge mit Verstärkungsänderung. Während die Phase vor der Verstärkungsänderung 2 bis 2.8 Standardkreise lang war, dauerten die Anstiegs- und Abstiegsphasen jeweils einen Standardkreis lang an. Die maximale Verstärkungsänderung war zwei Standardkreise lang aufgeschaltet. Die Phase nach der Verstärkungsänderung dauerte je nach Onset der Verstärkungsänderung und Dauer der Fortsetzungsphase zwischen 1.2 und 3 Standardkreisen. In Durchgängen ohne Verstärkungsänderung war der Verstärkungsfaktor immer 1. Die Dauer der Phasen entsprach denen der Durchgänge mit Verstärkungsänderung.

3.2.5 Versuchsablauf

Experiment II verlief analog zum ersten Experiment. Die einzigen Unterschiede zum Experiment I waren, dass vor Testbeginn zusätzlich ein Test zum Ausschluss einer möglichen Farbenblindheit durchgeführt wurde (Ishihara, 1999) und alle Versuchspersonen in der Instruktionsphase über das Auftreten der Verstärkungsänderung informiert wurden. Allen Versuchspersonen wurde mitgeteilt, dass die

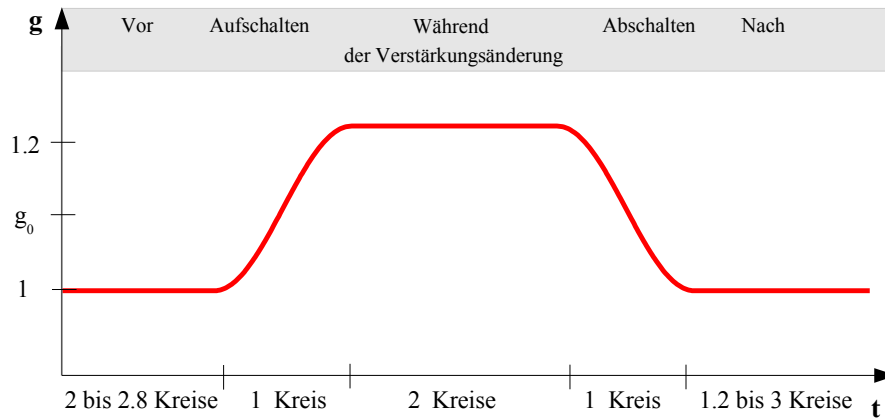


Abbildung 3.2: Werte des Verstärkungsfaktors g und Dauer der fünf Abschnitte der Fortsetzungsphase (in Standardkreisen) für die Bedingungen mit Verstärkungsänderung in Experiment II.

Verstärkungsänderung immer durch den Farbwechsel des Cursors von blau nach rot gekennzeichnet werden würde. Im Anschluss daran folgte die Übungsphase und die Testphase.

Im Anschluss an die Testphase wurden alle Versuchspersonen vom Versuchsleiter hinsichtlich eines möglichen Entdeckens der von der Instruktion abweichenden Bedingungen befragt. Wie in Experiment I wurde dabei zunächst eine sehr allgemeine Frage gestellt. Im weiteren Verlauf der Befragung wurden den Versuchspersonen immer detailliertere Fragen zu den verschiedenen Bedingungen gestellt. So wurden sie zum Beispiel gefragt, ob die Verstärkungsänderung für sie wahrnehmbar war und ob sie die Veränderung auch bemerkt hätten, wenn diese nicht durch den Farbwechsel angezeigt worden wäre. Weiterhin wurden die Versuchspersonen gefragt, ob der Farbwechsel ihnen beim Anpassen an die Verstärkungsänderung geholfen hat und in welchem Ausmaß sie sich auf den Farbwechsel als Indikator für die Verstärkungsänderung verlassen hatten. Schließlich wurden die Versuchspersonen über die zwei Bedingungen informiert, die nicht konsistent mit der Instruktion waren und wurden dann gefragt, ob sie diese Bedingungen bemerkt hatten. Im Anhang B ist die Nachbefragung dargestellt.

Insgesamt fünf Blöcke mit je 20 Durchgängen wurden von den Versuchspersonen bearbeitet, dabei pro Block jeweils fünf Durchgänge einer Bedingung. Die Abfolge der Bedingungen war für jede Vp und in jedem Block zufällig. Der Einsatz der

Verstärkungsänderung erfolgte nach der Dauer von 2 bis 2.8 Standardkreisen nach Beginn der Fortsetzungsphase. Dabei wurde der Einsatz in 0.2-Schritten der Dauer zwischen 2 und 2.8 Standardkreisen variiert, so dass insgesamt fünf verschiedene Onset-Zeiten entstanden. Die Onsets waren ebenfalls für jede Versuchsperson und in jedem Block zufällig. Die Versuchspersonen wurden in Einzelsitzungen untersucht.

3.2.6 Datenanalyse

Die Rohdaten wurden wie in Experiment I gefiltert und danach verwendet, um den Radius der gezeichneten Kreise zu bestimmen (siehe Abschnitt 2.2.7). Es wurden wiederum nur die Werte vor, während und nach der Verstärkungsänderung betrachtet.

Die Kriterien zum Ausschluss von Durchgängen ähnelten den Kriterien aus Experiment I (siehe Abschnitt 2.2.7). Jedes erste und letzte Segment des Durchgangs wurde entfernt sowie zu kurze Segmente (weniger als 15 Werte), Segmente mit einem mittleren Radius größer als 30 cm oder einer tangentialen Geschwindigkeit von weniger als 5 cm pro Sekunde. Ein Durchgang wurde dann als ungültig klassifiziert, wenn vor der Verstärkungsänderung in den ersten zwei gezeichneten Kreisen nicht für jedes der vier Kreissegmente ein gültiger Radius vorlag oder wenn während oder nach der Verstärkungsänderung innerhalb der jeweils letzten zwei Kreise dieser Phasen nicht jedes der vier Kreissegmente mindestens durch einen gültigen Mittelwert repräsentiert war. Eine Versuchsperson wurde wiederum aus der Analyse ausgeschlossen, wenn es in einer Bedingung eines Blocks (ausgenommen Block 1) keine gültigen Durchgänge gegeben hatte.

Die Berechnung der Mittelwerte erfolgte analog zu der in Experiment I beschriebenen Vorgehensweise (siehe Abschnitt 2.2.7). Die Daten aus dem ersten Block wurden dabei nicht in die Auswertung einbezogen, um eventuelle Eingewöhnungseffekte aus der Analyse auszuschließen. Eine 4x2x2x3-Varianzanalyse mit Messwiederholung mit dem Radius der gezeichneten Kreise als abhängiger Variable und mit den Innerhalb-Faktoren Block (2 bis 5), Verstärkungsänderung (mit, ohne), Farbwechsel (mit, ohne) und Phase (vor, während, nach der Verstärkungsände-

ung) wurde durchgeführt. Abbildung 3.3 stellt das Design von Experiment II dar.

Das Fehlen einer signifikanter Interaktion von Verstärkungsänderung, Farbwechsel und Phase würde darauf hindeuten, dass die intentionalen und inzidentellen Anpassungsprozesse beim gleichzeitigen Auftreten zusammenwirken. Falls diese Interaktion signifikant sein sollte, würde dies bedeuten, dass bei gleichzeitigem Auftreten nicht beide Prozesse in ihren vollen Ausmaß zur Bewegungsanpassung beitragen.

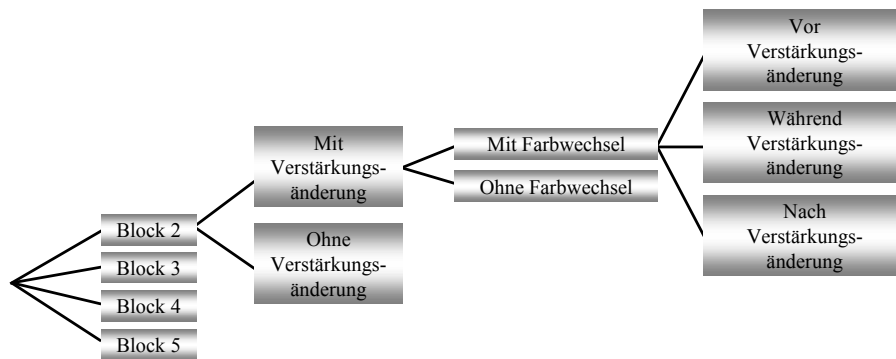


Abbildung 3.3: Design der Varianzanalyse mit Messwiederholung zur Analyse des Radius der gezeichneten Kreise in Experiment II.

3.3 Ergebnisse

3.3.1 Ausgeschlossene Daten und Bewegungszeiten

Eine weibliche Versuchsperson mussten aus der Analyse ausgeschlossen werden (siehe Abschnitt 3.2.6). Insgesamt elf Frauen und zwölf Männer waren in der Lage, die Aufgabe den Gütekriterien entsprechend zu bearbeiten. Sie produzierten 59 ungültige Durchgänge (von 1840 Durchgängen insgesamt, 3.2%).

Durchschnittlich benötigten die Versuchspersonen 1.62 s (SD .26 s, R 1.19-2.30 s), um einen Kreis in der Übungsphase zu zeichnen.

3.3.2 Ergebnis der Nachbefragung

Tabelle 3.1 gibt eine Übersicht darüber, zu welchem Zeitpunkt der Nachbefragung wie viele Versuchspersonen angaben, die nicht mit der Instruktion übereinstimmenden Durchgänge bemerkt zu haben. Insgesamt acht Personen gaben schon vor der Aufklärung an, diese Bedingungen bemerkt zu haben. Nach der Aufklärung über die Existenz dieser Bedingungen gaben weitere 12 Personen an, diese bemerkt zu haben. Nur drei Personen hatten weder den Farbwechsel ohne zugrunde liegende Verstärkungsänderung noch die Verstärkungsänderung ohne Farbwechsel bemerkt. In die Datenanalyse sollen deshalb zunächst alle Versuchspersonen einbezogen werden. In einem weiteren Schritt sollen dann nur die Daten der drei Versuchspersonen dargestellt werden, die auch nach Aufklärung über die mit der Instruktion nicht übereinstimmenden Bedingungen angaben, diese nicht bemerkt zu haben.

Tabelle 3.1: Anzahl der Versuchspersonen, die vor und nach der Aufklärung über die nicht mit der Instruktion übereinstimmenden Bedingungen angaben, diese bemerkt bzw. nicht bemerkt zu haben.

Zeitpunkt	Anzahl Versuchspersonen
Vor Aufklärung bemerkt, insgesamt	8
Nur Farbwechsel ohne Verstärkungsänderung	5
Nur Verstärkungsänderung ohne Farbwechsel	3
Nach Aufklärung bemerkt, insgesamt	12
Nur Farbwechsel ohne Verstärkungsänderung	5
Nur Verstärkungsänderung ohne Farbwechsel	2
Beide Bedingungen	5
Nach Aufklärung nicht bemerkt	3

3.3.3 Analyse des Radius der gezeichneten Kreise

In Abbildung 3.4 sind die Mittelwerte der Radien der gezeichneten Kreise vor, während und nach der Verstärkungsänderung in allen vier Bedingungen dargestellt. Während sich die Radien der gezeichneten Kreise vor der Verstärkungsänderung

in allen vier Bedingungen deskriptiv kaum unterschieden (Verstärkungsänderung mit Farbwechsel: $r = 4.86$ cm, Verstärkungsänderung ohne Farbwechsel: $r = 4.87$ cm, Farbwechsel ohne Verstärkungsänderung: $r = 4.90$ cm, Kontrollbedingung: $r = 4.86$ cm), zeigte sich während der Verstärkungsänderung eine unterschiedlich starke Verkleinerung der gezeichneten Kreise in den Versuchsbedingungen. Während diese in der Kontrollbedingung mit $\Delta r_{vw} = -.14$ cm auf $r = 4.72$ cm am kleinsten ausfiel, wurden die Kreise in der Bedingung „Verstärkungsänderung mit Farbwechsel“ am stärksten verkleinert. Die Verkleinerung betrug $\Delta r_{vw} = -.95$ cm; der Radius während der Verstärkungsänderung war $r = 3.91$ cm groß. In den Bedingungen, in denen jeweils nur die Verstärkungsänderung oder der Farbwechsel auftraten, war die Verkleinerung der gezeichneten Kreise ungefähr gleich stark. In der Bedingung „Verstärkungsänderung ohne Farbwechsel“ wurden die Radien um $\Delta r_{vw} = -.57$ cm auf $r = 4.37$ cm verkleinert, während in der Bedingung „Farbwechsel ohne Verstärkungsänderung“ eine Reduktion der gezeichneten Kreise um $\Delta r_{vw} = -.53$ cm auf $r = 4.37$ cm erfolgte.

Nach der Verstärkungsänderung veränderte sich der Radius in der Kontrollbedingung kaum ($r = 4.73$ cm), während er in den drei Experimentalbedingungen wieder vergrößert wurde. In der Bedingung „Verstärkungsänderung mit Farbwechsel“ wurden die Radien gegenüber denen während der Verstärkungsänderung um $\Delta r_{wn} = .62$ cm auf $r = 4.53$ cm vergrößert. In „Verstärkungsänderung ohne Farbwechsel“ betrug der Radius nach der Verstärkungsänderung $r = 4.64$ cm (Vergrößerung um $\Delta r_{wn} = .34$ cm); in der Bedingung „Farbwechsel ohne Verstärkungsänderung“ wurde der Radius um $\Delta r_{wn} = .28$ cm auf $r = 4.65$ cm vergrößert. Die statistische Analyse zeigte keinen signifikanten Interaktionseffekt zwischen Verstärkungsänderung, Farbwechsel und Phase, $F(2, 44) = .38$, $p > .20$, was auf die Additivität der intentionalen und inzidentellen Anpassungsprozesse schließen lässt.

Um signifikante Unterschiede zwischen den Experimentalbedingungen im Verlauf der Durchgänge zu untersuchen, wurden Kontrastanalysen für diese nicht signifikante Dreifachinteraktion berechnet. Wie schon in Experiment I (siehe Abschnitt 2.3.4) beschreibt Δr_{EK} die Differenz zwischen den Radien der Experimental- und

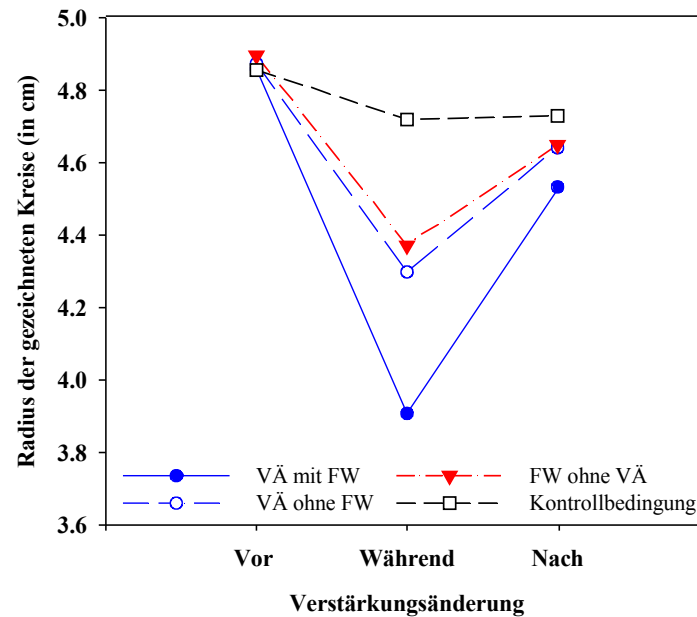


Abbildung 3.4: Ergebnisse von Experiment II. Die mittleren Radien der gezeichneten Kreise in cm vor, während und nach der Verstärkungsänderung sind dargestellt für die Bedingungen „Verstärkungsänderung mit Farbwechsel“ (VÄ mit FW), „Verstärkungsänderung ohne Farbwechsel“ (VÄ ohne FW), „Farbwechsel ohne Verstärkungsänderung“ (FW ohne VÄ) und die Kontrollbedingung. Die Abbildung zeigt die Daten der Gesamtstichprobe.

Kontrollbedingung während der Verstärkungsänderung. Diese wird zusätzlich in Prozent der Radiusgröße vor der Verstärkungsänderung in der Experimentalbedingung angegeben.

In der Kontrollbedingung ergab sich ein signifikanter linearer Kontrasteffekt über den Verlauf der Phasen ($F(1, 22) = 14.97$, $p < .001$). Die Kontrastanalysen der Experimentalbedingungen zeigten, dass in allen drei Experimentalbedingungen eine signifikant stärkere Verkleinerung der Radien der gezeichneten Kreise von der Phase „vor“ zur Phase „während der Verstärkungsänderung“ als in der Kontrollbedingung auftrat.

In der Bedingung „Verstärkungsänderung mit Farbwechsel“ war diese Verkleinerung der Radien am ausgeprägtesten ($F(1, 22) = 128.50$, $p < .0001$). Die Radien während der Verstärkungsänderung waren um $\Delta r_{EK} = -.81$ cm kleiner als die der Kontrollbedingung (-16.7% der Radien vor der Verstärkungsänderung). Während sich die Radien von Kontrollbedingung und „Verstärkungsänderung mit Farbwech-

sel“ vor der Verstärkungsänderung nicht signifikant voneinander unterschieden, waren die Radien in dieser Experimentalbedingung nach der Verstärkungsänderung signifikant kleiner als die Werte der Kontrollbedingung ($F(1, 22) = 13.19$, $p < .01$).

In der Bedingung „Verstärkungsänderung ohne Farbwechsel“ war die Verkleinerung der Radien der gezeichneten Kreise von vor zu während der Verstärkungsänderung ebenfalls signifikant stärker als die der Kontrollbedingung ($F(1, 22) = 309.96$, $p < .0001$). Die Radien waren $\Delta r_{EK} = -.42$ cm (-8.6% der Radien vor der Verstärkungsänderung) kleiner als die der Kontrollbedingung während der Verstärkungsänderung. Während sich die Werte der Kontrollbedingung und der Bedingung „Verstärkungsänderung ohne Farbwechsel“ vor der Verstärkungsänderung nicht unterschieden, waren die Radien nach der Verstärkungsänderung in der Experimentalbedingung signifikant kleiner als in der Kontrollbedingung ($F(1, 22) = 10.76$, $p < .01$).

Auch in der Bedingung „Farbwechsel ohne Verstärkungsänderung“ wurden die Radien der Kreise von der ersten zur zweiten Phase gegenüber den Radien der Kontrollbedingung signifikant stärker verkleinert ($F(1, 22) = 26.12$, $p < .0001$). Die Radien dieser Experimentalbedingung waren $\Delta r_{EK} = -.35$ cm kleiner als die der Kontrollbedingung (-7.1% der Radien vor der Verstärkungsänderung). Die Radien in dieser Experimentalbedingung unterschieden sich nicht signifikant von den Radien der Kontrollbedingung in den Phasen vor bzw. nach der Verstärkungsänderung.

Die Verkleinerung der Radien in der Bedingung „Verstärkungsänderung mit Farbwechsel“ war signifikant verschieden von der Verkleinerung der Radien der gezeichneten Kreise in den Bedingungen „Verstärkungsänderung ohne Farbwechsel“ ($F(1, 22) = 22.14$, $p < .001$) und „Farbwechsel ohne Verstärkungsänderung“ ($F(1, 22) = 131.83$, $p < .0001$). Die Verkleinerung der Radien von der ersten zur zweiten Phase in den Bedingungen „Verstärkungsänderung ohne Farbwechsel“ und „Farbwechsel ohne Verstärkungsänderung“ unterschied sich nicht signifikant voneinander ($F(1, 22) = .33$, $p > .20$).

Die Vergrößerung der Kreise von der zweiten zur dritten Phase in der Bedin-

gung „Verstärkungsänderung mit Farbwechsel“ war signifikant verschieden von der Vergrößerung in der Bedingung „Verstärkungsänderung ohne Farbwechsel“ ($F(1,22) = 10.88, p < .01$) und „Farbwechsel ohne Verstärkungsänderung“ ($F(1,22) = 114.41, p < .0001$). Die Vergrößerung in „Verstärkungsänderung ohne Farbwechsel“ war nicht signifikant verschieden von der Vergrößerung in „Farbwechsel ohne Verstärkungsänderung“ ($F(1,22) = .54, p < .472$).

Weitere signifikante Effekte der Varianzanalyse waren Haupteffekte der Faktoren Verstärkungsänderung, $F(1,22) = 110.87, p < .0001$, Farbwechsel, $F(1,22) = 21.14, p < .001$ und Phase, $F(2,44) = 85.60, p < .0001$, sowie die signifikanten Interaktionseffekte Verstärkungsänderung x Phase ($F(2,44) = 167.35, p < .0001$) und Farbwechsel x Phase ($F(2,44) = 15.85, p < .0001, \epsilon = .76$).

In Tabelle 3.2 sind die Mittelwerte und Standardabweichungen der Radien in den Versuchsbedingungen zusammengefasst. Neben den Werten der Gesamtstichprobe (G) sind dort auch die Werte der drei Versuchspersonen separat dargestellt, die in der Nachbefragung keine der mit der Instruktion nicht übereinstimmenden Versuchsbedingung bemerkt hatten (O). Aufgrund der kleinen Stichprobengröße ($n=3$) wurde auf die Durchführung einer Varianzanalyse für diese eingeschränkte Stichprobe verzichtet. Die eingeschränkte Stichprobe zeichnete sich durch eine stärkere Verkleinerung der Radien der gezeichneten Kreise in den Bedingungen mit Farbwechsel, also mit intentionaler Anpassung aus. Die Anpassung der Radien in der Bedingung „Verstärkungsänderung ohne Farbwechsel“ unterschied sich nicht von der Anpassung der Gesamtstichprobe in dieser Bedingung. In der Bedingung „Verstärkungsänderung mit Farbwechsel“ verkleinerten die Versuchspersonen die von ihnen gezeichneten Kreise gegenüber den Radien der Kontrollbedingung um durchschnittlich $\Delta r = -1.20$ cm (-22.7% der Radien vor der Verstärkungsänderung), während die Radien in der Bedingung „Verstärkungsänderung ohne Farbwechsel“ um $\Delta r = -.45$ cm (-8.6% der Radien vor der Verstärkungsänderung) verkleinert wurden. In der Bedingung „Farbwechsel ohne Verstärkungsänderung“ waren die gezeichneten Kreise während der Verstärkungsänderung $\Delta r = -.70$ cm (-13.1% der Radien vor der Verstärkungsänderung) kleiner als die Radien der Kontrollbedingung.

Tabelle 3.2: Mittelwerte und Standardabweichungen (in Klammern) der Radien für die Gruppen „Gesamtstichprobe“ (G) und „Versuchspersonen ohne Wissen über die mit der Instruktion nicht übereinstimmenden Bedingungen“ (O) in den Phasen vor, während und nach der Verstärkungsänderung für alle vier Bedingungen.

Bedingung	Gruppe	Vor	Während	Nach
Verstärkungsänderung mit Farbwechsel	G	4.86 (1.01)	3.91 (1.06)	4.53 (1.29)
	O	5.27 (.73)	4.03 (1.04)	5.11 (1.11)
Verstärkungsänderung ohne Farbwechsel	G	4.87 (.96)	4.30 (1.01)	4.64(1.06)
	O	5.22 (.73)	4.77 (.94)	5.09 (.78)
Farbwechsel ohne Verstärkungsänderung	G	4.90 (.96)	4.37 (1.25)	4.65 (1.15)
	O	5.31 (.66)	4.53 (1.18)	5.18 (.92)
Kontrollbedingung	G	4.86 (1.01)	4.72 (1.15)	4.73 (1.15)
	O	5.33 (.76)	5.22 (.83)	5.24 (.88)

3.3.4 Interindividuelle Unterschiede in der Anpassung an die Verstärkungsänderung

Die interindividuellen Unterschiede in der Bewegungsanpassung in den drei Experimentalbedingungen von Experiment II sind in Abbildung 3.5 dargestellt. Die individuelle Veränderung in der Kontrollbedingung wurde von den Werten der Experimentalbedingungen abgezogen. In der Bedingung „Verstärkungsänderung mit Farbwechsel“ lag die mittlere individuelle Anpassung bei -16.6% (SD 6.5%). Sie betrug -9.0% (SD 2.0%) in der Bedingung „Verstärkungsänderung ohne Farbwechsel“ und -7.9% (SD 7.2%) in „Farbwechsel ohne Verstärkungsänderung“. Es fällt auf, dass die Standardabweichungen in den beiden Bedingungen mit Farbwechsel deutlich größer waren als die in der Bedingung „Verstärkungsänderung ohne Farbwechsel“.

Wie bereits im ersten Experiment unterschieden sich die in Abschnitt 3.3.3 angegebenen Prozentwerte der mittleren Anpassungen in den Experimentalbedingungen (Verstärkungsänderung mit Farbwechsel: -16.7% , Verstärkungsänderung ohne Farbwechsel: -8.6% , Farbwechsel ohne Verstärkungsänderung: -7.1%) von den Mittelwerten der prozentualen individuellen Anpassungen. Wie in Abschnitt

2.3.5 beschrieben, resultierte dies daraus, dass bei der Bestimmung der mittleren Anpassung zunächst Mittelwerte über alle Versuchspersonen berechnet wurden und dann die Differenz dieser gemittelten Werte zwischen vor und während der Verstärkungsänderung in Prozentwerten der gemittelten Radien vor der Verstärkungsänderung ausgedrückt wurden, während bei der Analyse der individuellen Anpassungen zunächst für jede Versuchsperson die Differenz zwischen den Radien während und vor der Verstärkungsänderung bestimmt wurde und diese dann für jede Versuchsperson als prozentualer Anteil der individuellen Radien vor der Verstärkungsänderung ausgedrückt wurden.

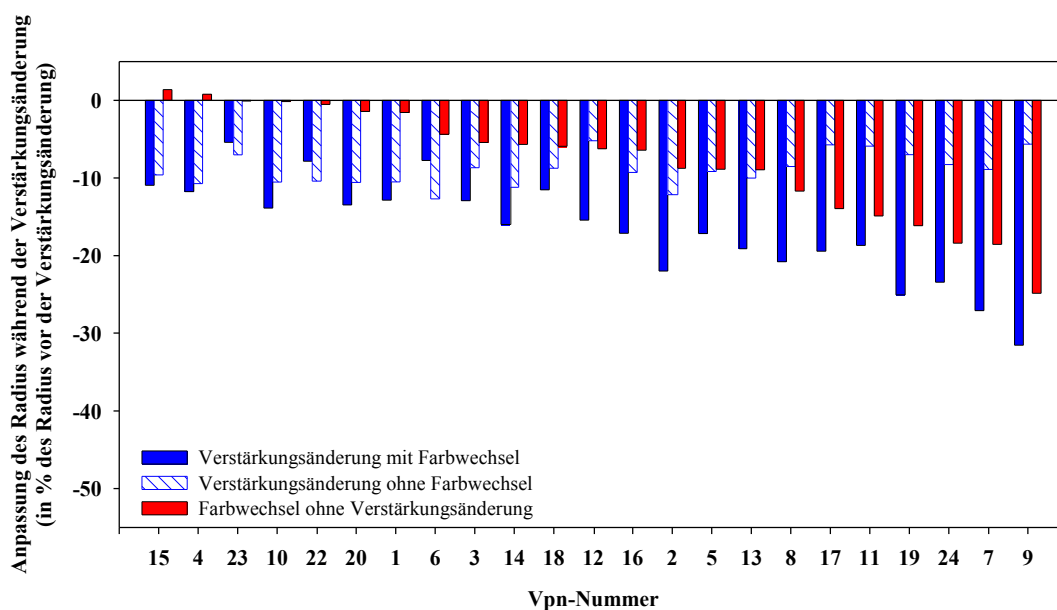


Abbildung 3.5: Individuelle Anpassung des Radius während der Verstärkungsänderung der Versuchspersonen in Prozent (bezogen auf die Radien vor der Verstärkungsänderung) in den drei Experimentalbedingungen „Verstärkungsänderung mit Farbwechsel“, „Verstärkungsänderung ohne Farbwechsel“ und „Farbwechsel ohne Verstärkungsänderung“. Von der individuellen Anpassung in allen Experimentalbedingungen wurde die Veränderung in der Kontrollbedingung abgezogen.

In Abbildung 3.5 wird das Zusammenwirken der intentionalen und inzidentellen Anpassung auf individueller Ebene deutlich. Sogar in der individuellen Anpassung wirkten diese beiden Komponenten additiv zusammen. Die Größe der individuellen Anpassung in der Bedingung „Verstärkungsänderung mit Farbwechsel“ ergab sich aus der Summe der individuellen Anpassung in den Bedingungen „Verstärkungsänderung ohne Farbwechsel“ und „Farbwechsel ohne Verstärkungsänderung“.

Die Partialkorrelation zwischen der Summe der individuellen Anpassung in den Bedingungen mit nur intentionaler bzw. nur inzidenteller Anpassung und der Anpassung in der Bedingung, in der die intentionale und inzidentelle Anpassung gleichzeitig auftrat (unter Kontrolle der Veränderung in der Kontrollbedingung), betrug $r = .91$, $p < .0001$.

Ebenfalls zeigt Abbildung 3.5, dass mit einer größeren Anpassung an den Farbwechsel ohne Verstärkungsänderung eine Verkleinerung der Anpassung an die Verstärkungsänderung ohne Farbwechsel einhergeht. Dies spiegelt sich auch in einer signifikanten negativen Partialkorrelation zwischen der individuellen Anpassung in diesen beiden Bedingungen wider ($r = -.54$, $p < .01$), unter Kontrolle der Veränderung in der Kontrollbedingung. Die Berechnung der Partialkorrelation erfolgte dabei zwischen den nicht von der Veränderung in der Kontrollbedingung bereinigten Anpassungen.

3.4 Diskussion

Experiment II sollte klären, welchen eigenständigen Anteil die intentionalen und inzidentellen Komponenten der Anpassung an veränderte visumotorische Beziehungen mit explizitem Wissen erzeugen und ob die intentionale Anpassung die inzidentelle Anpassung ersetzt, wenn beide Prozesse gleichzeitig wirken.

Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass intentionale und inzidentelle Prozesse additiv die Bewegungsanpassung produzieren, wenn beide gleichzeitig wirken. Allein erzeugen beide Prozess jeweils nur einen Teil der Anpassung, die auftritt, wenn beide Prozesse wirksam sind. Sind beide Prozesse wirksam, so bewirken sie im Mittel eine optimale Anpassung an die veränderte Verstärkung. Die These von Willingham (1998), dass der strategische Prozess, also hier die intentionale Anpassung, den Prozess der perzeptuell-motorischen Integration, also die inzidentelle Anpassung, ersetzt, kann durch die Ergebnisse des zweiten Experiments nicht unterstützt werden. Die Ergebnisse entsprechen eher der von Redding und Wallace (1993) aufgestellten These des gleichzeitigen Auftretens der von ihnen als „realignment“ und „recalibration“ bezeichneten Prozesse. Da „realignment“ nur

bei diskrepanten räumlichen Informationen aus verschiedenen sensorischen Modalitäten auftritt, wie es bei der Prismenadaptation der Fall ist, wird im Zusammenhang mit der Anpassung an visumotorische Transformationsänderungen eher vom Erwerb eines inneren Modells der Transformation gesprochen (Heuer & Hegele, 2008). Auch bei der Anpassung an veränderte visumotorische Verstärkungen scheinen intentionale und inzidentelle Prozesse gleichzeitig aufzutreten.

Weiterhin wurde unter Berücksichtigung der interindividuellen Unterschiede deutlich, dass die inzidentelle Komponente der Anpassung an die visumotorische Verstärkungsänderung dabei eine über die Versuchspersonen hinweg relativ stabile Größe aufwies, während die Größe der intentionalen Anpassung, also der Interpretation und Nutzung des expliziten Wissens, zu sehr unterschiedlich großer individueller Anpassung führte. Diese intentionale Komponente scheint dafür verantwortlich zu sein, dass auch in der Bedingung, in der beide Komponenten vorhanden waren, eine starke Variation in der Größe der Bewegungsanpassung resultierte.

Obwohl die Streuung der inzidentellen individuellen Anpassung gering war, so zeigte sich doch eine Verringerung der inzidentellen Anpassung an die Verstärkungsänderung bei größerer intentionaler Anpassung. Diese hat jedoch keinen Einfluss auf die Additivität der intentionalen und inzidentellen Anpassungsprozesse. Dieser negative Zusammenhang könnte dadurch zustande kommen, dass die Personen, die sich intentional sehr stark anpassen, über eine geringere visumotorische Sensitivität verfügen als diejenigen, die sich nur gering intentional an eine nicht vorhandene Verstärkungsänderung anpassen. Der Begriff der visumotorischen Sensitivität beschreibt dabei das Ausmaß der Wahrnehmung von Veränderungen in der Umwelt und besonders der Wahrnehmung von Veränderung der visumotorischen Kopplung. Werden Veränderungen der visumotorischen Beziehung schlechter wahrgenommen, so bedarf es größerer motorischer Anpassungen, um einen Effekt der eigenen Bewegungsänderungen wahrzunehmen.

Des weiteren konnte in diesem Experiment ein Teil der Ergebnisse aus Experiment I repliziert werden. So passten die Versuchspersonen, die alle über das Auftreten der Verstärkungsänderung informiert worden waren, in der Bedingung, in der sowohl die intentionale als auch die inzidentelle Anpassung eine Rolle spielte, ihre

Bewegungen wiederum nahezu perfekt an die Verstärkungsänderung an (analog zur Gruppe „Explizites Wissen“ aus Experiment I). Die Anpassung während der Verstärkungsänderung ohne Farbwechsel wies dabei die Größe der Anpassung in der Gruppe ohne Information über das Auftreten der Verstärkungsänderung in Experiment I auf. Nur drei der insgesamt 23 Versuchspersonen bemerkten die nicht mit der Instruktion übereinstimmenden Bedingungen nicht. Auch in der Analyse der Daten dieser drei Personen zeigte sich die Additivität intentionaler und inzidenteller Anpassungsprozesse, wobei die intentionale Anpassung deutlich stärker ausgeprägt war als in der Analyse der Gesamtstichprobe.

Nach Abschalten der Verstärkungsänderung waren die Radien der gezeichneten Kreise in allen drei Experimentalbedingungen kleiner als vor der Verstärkungsänderung. In der Bedingung, in der Farbwechsel und Verstärkungsänderung gleichzeitig auftraten, waren die Radien dabei kleiner als in den Bedingungen, in denen jeweils nur eine der beiden Komponenten vorhanden war. Es stellt sich die Frage, ob diese Unterschiede die Konsequenz der unterschiedlich starken Verkleinerung der Kreise während der Verstärkungsänderung waren, oder ob sie aus der fehlenden bzw. verzerrten Repräsentation der Ausgangskreisgröße resultiert. Betrachtet man die Bedingungen, in denen jeweils nur die intentionale oder inzidentelle Anpassung auftraten, so sieht man, dass die Radien nach der Verstärkungsänderung gleich groß waren, obwohl sie während der Verstärkungsänderung auf deskriptivem Niveau, allerdings nicht signifikant, stärker verkleinert wurden. Dies könnte darauf hindeuten, dass die intentionale Anpassung tatsächlich zu einem Verlust bzw. einer Verzerrung der Erinnerung der Ausgangskreisgröße führt.

Intentionale und inzidentelle Anpassungsprozesse wirken additiv zusammen, wenn eine visumotorische Verstärkungsänderung angezeigt wird.

4 Experiment III

4.1 Fragestellung

Um den Einfluss expliziten Wissens auf die Anpassung an Verstärkungsänderungen genauer zu untersuchen, sollte als nächster Schritt die Frage geklärt werden, wie die Bewegungen angepasst werden, wenn die explizite Information das Auftreten einer Verstärkungsänderung beschreibt, die zur tatsächlich stattfindenden Verstärkungsänderung entgegengesetzt gerichtet ist. Im dritten Experiment wurden wiederum zwei Gruppen von Versuchspersonen untersucht. Dabei wurde analog zu Experiment I eine Gruppe über die auftretende Verstärkungsänderung informiert, wobei diese Information nur in der Hälfte aller Experimentaldurchgänge richtig war. Die andere Gruppe erhielt keine Information über das Auftreten der Verstärkungsänderung. In Experiment III sollen insgesamt vier Fragen beantwortet werden:

1. Wird die Bewegung angepasst, wenn intentionale und inzidentelle Anpassung in entgegengesetzte Richtungen wirken? Wenn ja, in welche Richtung wird die Bewegung angepasst?
2. Passen sich über das Auftreten der Verstärkungsänderung nicht informierte Versuchspersonen auch an, wenn eine Vergrößerung der gezeichneten Kreise notwendig ist?
3. Unterscheiden sich beide Gruppen in der Anpassung an die Verstärkungsänderung?

4. Sind die interindividuellen Unterschiede in der Gruppe mit Information über das Auftreten der Verstärkungsänderung größer als in der nicht informierten Gruppe?

4.2 Methode

4.2.1 Versuchspersonen

An diesem Experiment nahmen insgesamt 41 rechtshändige, normalsichtige oder korrigiert normalsichtige Personen (21 Männer, 20 Frauen) teil. Der Altersdurchschnitt lag bei 23.4 Jahren (SD 2.8 Jahre, R: 18-29 Jahre). Insgesamt 40 Teilnehmer waren Studenten, eine Versuchsperson war zum Zeitpunkt der Untersuchung Abiturient. Alle Versuchspersonen erhielten 15 Euro oder 2 Versuchspersonenstunden als Aufwandsentschädigung.

Jede Versuchsperson wurde vor Beginn des Experiments zufällig einer von zwei Gruppen zugeordnet. Analog zum Experiment I gab es die Gruppen „Explizites Wissen“, die aus $n=21$ Versuchspersonen (11 Männer, 10 Frauen) bestand, und die Gruppe „Kein explizites Wissen“ mit insgesamt $n=20$ Personen (10 Männer, 10 Frauen). Zwischen den Gruppen gab es keine signifikanten Unterschiede bezüglich des Alters ($t(39) = -.02, p > .10$).

4.2.2 Apparatur und Aufgabe

Das experimentelle Setting war identisch mit dem in Abschnitt 3.2.2 beschriebene Aufbau von Experiment II.

Wie in den ersten beschriebenen Experimenten bestand die Aufgabe der Versuchspersonen darin, in einer möglichst konstanten Geschwindigkeit Kreise zu zeichnen, die auf dem Monitor immer die gleiche Größe haben.

4.2.3 Versuchsdurchführung

Die Versuchsdurchführung war ebenfalls identisch mit der in Abschnitt 3.2.3 beschriebenen Durchführung von Experiment II. Der einzige Unterschied in Expe-

riment III war, dass alle Versuchspersonen neun Standardkreise in der Fortsetzungsphase zeichneten. In diesem Experiment wurden drei Bedingungen betrachtet. Abbildung 4.1 stellt den Ablauf eines Durchgangs in diesen drei Bedingungen dar. Im Abschnitt 4.2.4 werden die Bedingungen erläutert.

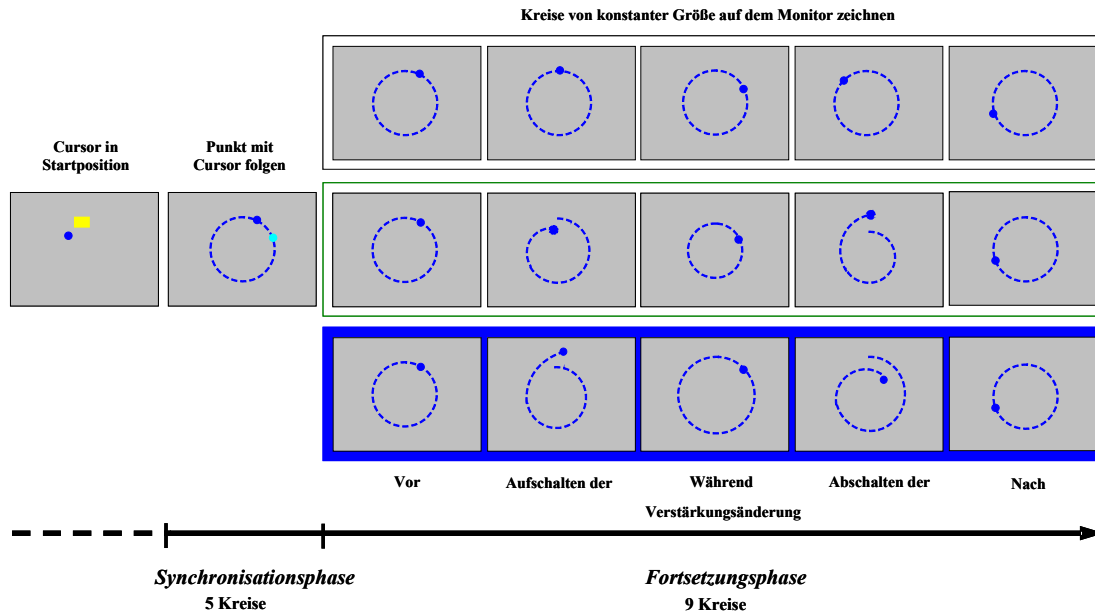


Abbildung 4.1: Ablauf eines Durchgangs in Experiment III. Nachdem der Durchgang durch Bewegung des Cursors in die Startposition aktiviert wurde, begann die Synchronisationsphase. Die Versuchspersonen verfolgten den Vorgabepunkt fünf Kreise lang. Anschließend folgte die Fortsetzungsphase. In diesen Durchgängen trat in Durchgängen mit Verstärkungsänderung auf 1.1 (untere Reihe) sowie in Durchgängen mit Verstärkungsänderung auf 0.9 (mittlere Reihe) eine Veränderung der visumotorischen Beziehung auf. Kontrolldurchgänge sind in der oberen Reihe dargestellt.

4.2.4 Bedingungen

In Experiment III gab es neben der Kontrollbedingung, die identisch zu der Kontrollbedingung von Experiment I bzw. Experiment II war, insgesamt zwei Experimentalbedingungen, in denen jeweils eine Verstärkungsänderung auftrat. In allen drei Bedingungen bestand die Phase vor der Verstärkungsänderung aus 2 bis 2.8 Standardkreisen. Die Auf- und Abschaltung der Verstärkungsänderung dauerte jeweils einen Standardkreis. Während die maximale Verstärkungsänderung für zwei Standardkreise aufgeschaltet war, bestand die Phase nach Abschalten der Verstärkungsänderung aus 2.2 bis 3 Standardkreisen. Analog zum Experiment II wurde

der Einsatz der Verstärkungsänderung zwischen 2 und 2.8 Standardkreisen in der Fortsetzungsphase in 0.2er-Schritten variiert.

Die erste der beiden Experimentalbedingungen entsprach der Experimentalbedingung aus Experiment I mit einem veränderten Verstärkungsfaktor. Das bedeutet, dass in diesen Durchgängen zu einem zufälligen Zeitpunkt der Fortsetzungsphase eine Verstärkungsänderung einsetzte, die bewirkte, dass sich das Verhältnis von auf dem Monitor wahrgenommenen und von den Versuchspersonen gezeichneten Kreisen von 1:1 auf 1.1:1 veränderte, so dass die Kreise auf dem Monitor zehn Prozent größer erschienen, als sie auf dem Digitalisiertablett gezeichnet wurden. Um die Aufgabe korrekt zu erfüllen, musste in diesen Durchgängen die Größe der gezeichneten Kreise von den Versuchspersonen verkleinert werden.

Die Position des Cursors auf dem Monitor wurde wie schon für die ersten beiden Experimente (siehe Abschnitt 2.2.5) durch die Multiplikation der kartesischen Koordinaten des Stiftes auf dem Digitalisiertablett mit dem Verstärkungsfaktor g berechnet. Der Unterschied gegenüber den ersten beiden Experimenten lag in der Größe des maximalen Verstärkungsfaktors. In Experiment III lag dieser maximale Verstärkungsfaktor bei 1.1 anstatt 1.2.

Während der maximalen Verstärkungsänderung von 1.1:1 waren die auf dem Monitor wahrgenommenen Kreise 10% größer als die von den Versuchspersonen gezeichneten Kreise. Für eine optimalen Anpassung der auf dem Monitor wahrgenommenen Kreise und damit zur korrekten Erfüllung der Aufgabe mussten die Versuchspersonen die Größe der von ihnen gezeichneten Kreise um den Faktor $g = 1.1$ verkleinern. Dies entsprach einer Verkleinerung der gezeichneten Kreise um -9.1% .

Auch in den Durchgängen, in denen die Verstärkungsänderung von 1:1 auf 0.9:1 verändert wurde, entstand die Position des Cursors durch Multiplikation der kartesischen Koordinaten des Stiftes auf dem Digitalisiertablett mit dem Verstärkungsfaktor. In diesen Durchgängen wurde die Verstärkungsberechnung mit einem minimalen Verstärkungsfaktor von $g = 0.9$ durchgeführt.

Die Verstärkungsänderung auf 0.9:1 führte dazu, dass die auf dem Monitor wahrgenommenen Kreise 10% kleiner dargestellt wurden als die auf dem Tablett gezeich-

neten Kreise. Um diese Verstärkungsänderung zu kompensieren und die Aufgabe zu erfüllen, mußten die Versuchspersonen den Radius der von ihnen gezeichneten Kreise um den Faktor 0.9 vergrößern (11.1%).

4.2.5 Versuchsablauf

Der Versuchsablauf von Experiment III war identisch mit dem Ablauf des ersten beiden Experimente. Nach dem Ausfüllen der Fragebogen erhielten beide Gruppe eine Instruktion über den Ablauf des Experiments. Die Versuchspersonen der Gruppe „Explizites Wissen“ wurden analog zu Experiment I (siehe Abschnitt 2.2.6) über das Auftreten der Verstärkungsänderung informiert. Ihnen wurde erklärt, dass sich das visumotorische Verhältnis in einigen Durchgängen auf 1.1:1 verändert und dass sie in diesem Fall die von ihnen gezeichneten Kreise verkleinern müssen. Ihnen wurde ebenfalls mitgeteilt, dass das Auftreten dieser Verstärkungsänderung immer durch den Farbwechsel des Cursors gekennzeichnet werden würde. Die Versuchspersonen erhielten keinerlei Informationen über Durchgänge, in denen das Verstärkungsverhältnis auf 0.9:1 verändert wurde. In Durchgängen mit Verstärkungsänderung wurde ihnen diese immer durch den Farbwechsel des Cursors angezeigt, egal ob die Verstärkung dabei auf 1.1:1 oder 0.9:1 verändert wurde. Die Gruppe „Kein explizites Wissen“ erhielt keinerlei Information über das Auftreten einer Verstärkungsänderung. Es trat kein Farbwechsel des Cursors auf. Im Anschluss an die Instruktionsphase folgte wieder die Übungsphase und die Testphase. Im Anschluss an die Testphase wurden alle Versuchspersonen vom Versuchsleiter befragt. Die Befragung erfolgte in beiden Gruppen wiederum gestuft von sehr allgemeinen Fragen bis hin zur vollständigen Aufklärung des Experiments. Teilnehmer der Gruppe „Explizites Wissen“ wurden hinsichtlich der Nützlichkeit der Kennzeichnung des Farbwechsels befragt. Weiterhin wurden sie gefragt, ob sie beim Auftreten der Verstärkungsänderung immer wie in der Instruktion beschrieben die gezeichneten Kreise verkleinert hatten und ob sie bemerkt hatten, dass sie in einigen Durchgängen auch größere Kreise zeichnen mussten, um auf dem Monitor konstant große Kreise zu sehen.

Die Versuchspersonen der Gruppe „Kein explizites Wissen“ wurden zunächst ge-

fragt, ob ihnen während des Versuchs etwas aufgefallen war. Weiterhin fragte der Versuchsleiter, ob den Versuchspersonen etwas an den von ihnen gezeichneten bzw. gesehenen Kreisen aufgefallen war. Des Weiteren wurden sie gefragt, ob sie immer gleich große Kreise gesehen bzw. gezeichnet haben und falls es Unterschiede gab, ob diese durch sie selbst verursacht wurden. Schließlich wurde ihnen das Auftreten der Verstärkungsänderung erklärt und sie wurden gebeten, anzugeben, ob sie diese Verstärkungsänderung bemerkt hatten. Die Nachbefragung zum dritten Experiment ist in Anhang B dargestellt.

Die Versuchspersonen bearbeiteten in fünf Blöcken jeweils 20 Durchgänge. In jedem Block wurden dabei zehn Kontrolldurchgänge und 10 Experimentaldurchgänge in zufälliger Reihenfolge dargeboten. Die zehn Experimentaldurchgänge waren jeweils fünf Durchgänge mit Verstärkungsänderung auf 1.1:1 sowie fünf Durchgänge mit der Verstärkungsänderung auf 0.9:1. Auch hinsichtlich des Zeitpunktes des Einsatzes der Verstärkungsänderung wurden die Durchgänge zufällig dargeboten. Die Versuchspersonen wurden wiederum in Einzelsitzungen untersucht.

4.2.6 Datenanalyse

Die Rohdaten wurden wie in Experiment I (siehe Abschnitt 2.2.7) beschrieben gefiltert und der Radius der gezeichneten Kreise bestimmt. Die Kriterien zu Ausschluss eines Segments entsprachen denen für Experiment II (siehe Abschnitt 3.2.6).

Für jede Versuchsperson wurden die Mittelwerte der Radien der gezeichneten Kreise vor, während und nach der Verstärkungsänderung in der Kontrollbedingung und beiden Experimentalbedingungen berechnet (siehe Abschnitt 2.2.7). Eine $2 \times 4 \times 3 \times 3$ -Varianzanalyse mit Messwiederholung mit dem Zwischenfaktor Gruppe (explizites Wissen, kein explizites Wissen) sowie den Innerhalbfaktoren Block (2 bis 5), Verstärkungsänderung (Verstärkungsänderung auf 1.1:1, Verstärkungsänderung auf 0.9:1, ohne Verstärkungsänderung) und Phase (vor, während und nach Verstärkungsänderung) wurde berechnet. In Abbildung 4.2 ist das Auswertungsdesign des dritten Experiments dargestellt.

Auch in diesem Experiment würde die signifikante Dreifachinteraktion Gruppe x

Verstärkungsänderung x Phase darauf hindeuten, dass sich die Gruppen in der Anpassung unterschieden. Wiederum sollte mit Hilfe von Kontrastanalysen geklärt werden, in welchen Bedingungen und wann sich die Gruppen in der Größe und der Anpassung der von ihnen gezeichneten Radien unterschieden.

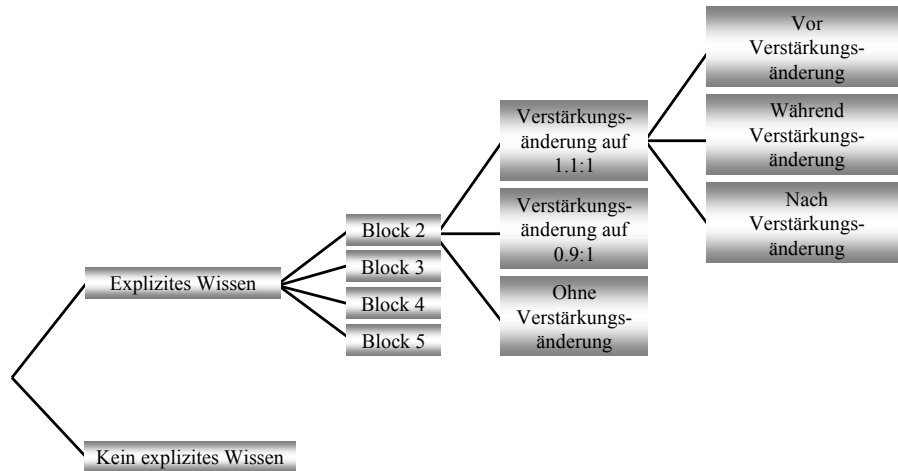


Abbildung 4.2: Design der Varianzanalyse mit Messwiederholung zur Analyse des Radius der gezeichneten Kreise in Experiment III.

4.3 Ergebnisse

4.3.1 Ausgeschlossene Daten und Bewegungszeiten

Insgesamt zwei männliche Versuchspersonen aus der Gruppe „Explizites Wissen“ mussten aus der weiteren Analyse ausgeschlossen werden. Die in die Analysen einbezogenen Versuchspersonen ($n=39$) erzeugten 48 ungültige Durchgänge (von insgesamt 3120 Durchgängen, 1.5%).

Für das Zeichnen eines Kreises in der Übungsphase benötigten die Versuchspersonen durchschnittlich 1.94 s (SD .34 s, R 1.33-2.47 s). Die beiden Gruppen unterschieden sich nicht in der Dauer eines Kreises ($t(37) = -.73, p > .10$).

4.3.2 Ergebnis der Nachbefragung

Insgesamt zehn der 19 in der Gruppe „Explizites Wissen“ verbliebenen Versuchspersonen gaben an, die mit der Instruktion inkonsistenten Durchgänge bemerkt

zu haben. In der Gruppe „Kein explizites Wissen“ gaben insgesamt drei Versuchspersonen an, das Auftreten der Verstärkungsänderung bemerkt zu haben. Tabelle 4.1 stellt dar, zu welchem Zeitpunkt der Befragung die Versuchspersonen beider Gruppen angaben, die mit der Instruktion inkonsistenten Durchgänge bzw. das Auftreten der Verstärkungsänderung bemerkt zu haben. Wie bereits in den vorherigen Experimenten soll im folgenden Abschnitt zunächst die Gesamtstichprobe analysiert werden. Im zweiten Teil der Ergebnisdarstellung sollen dann die Ergebnisse der Analyse dargestellt werden, die mit den eingeschränkten Stichproben beider Gruppen durchgeführt wurde („Explizites Wissen“: $n = 9$, „Kein explizites Wissen“: $n = 17$).

Tabelle 4.1: Anzahl der Versuchspersonen, die vor und nach der Aufklärung über die nicht mit der Instruktion übereinstimmenden Bedingungen (Gruppe „Explizites Wissen“) bzw. das Auftreten der Verstärkungsänderung (Gruppe „Kein explizites Wissen“) angaben, diese bemerkt bzw. nicht bemerkt zu haben.

Zeitpunkt	Explizites Wissen	Kein explizites Wissen
Vor Aufklärung bemerkt	2	0
Nach Aufklärung bemerkt	8	3
Nach Aufklärung nicht bemerkt	9	17

4.3.3 Analyse des Radius der gezeichneten Kreise

Abbildung 4.3 stellt die Mittelwerte der Radien der gezeichneten Kreise vor, während und nach der Verstärkungsänderung in beiden Gruppen dar. Die Radien der Kontrollbedingungen in beiden Gruppen unterschieden sich innerhalb der Gruppen vor, während und nach der Verstärkungsänderung wenig (Explizites Wissen: 4.63 cm, 4.44 cm und 4.44 cm; Kein explizites Wissen: 4.86 cm, 4.79 cm und 4.80 cm).

In der Bedingung „Verstärkungsänderung auf 1.1:1“ wurden in der Gruppe „Explizites Wissen“ die Radien während der Verstärkungsänderung von vorher $r = 4.61$ cm um $\Delta r_{vw} = -.77$ cm auf $r = 3.84$ cm verkleinert. Nach der Verstärkungs-

änderung wurden die Radien gegenüber den während der Verstärkungsänderung gezeichneten Radien um $\Delta r_{wn} = .26$ cm auf $r = 4.10$ cm vergrößert. Auch in der Gruppe „Kein explizites Wissen“ wurden in dieser Bedingung die Radien der gezeichneten Kreise während der Verstärkungsänderung verkleinert. Allerdings betrug die Verkleinerung nur $\Delta r_{vw} = -.34$ cm (vor Verstärkungsänderung: $r = 4.85$ cm, während Verstärkungsänderung: $r = 4.54$ cm). Auch in dieser Gruppe wurden die Radien nach der Verstärkungsänderung wieder vergrößert, und zwar um $\Delta r_{wn} = .18$ cm auf $r = 4.72$ cm.

Während sich die Veränderungen der Radien in den ersten beiden beschriebenen Bedingungen zwischen den Gruppen ähnelten, ergaben sich in der Bedingung „Verstärkungsänderung auf 0.9:1“ sehr unterschiedliche Veränderungen der Radiusgröße während der Aufschaltung der Verstärkungsänderung. Während die Versuchspersonen mit explizitem Wissen die Radien während der Verstärkungsänderung um $\Delta r_{vw} = -.34$ cm verkleinerten (vor Verstärkungsänderung: $r = 4.59$ cm, während Verstärkungsänderung: $r = 4.25$ cm), vergrößerten die Versuchspersonen ohne explizites Wissen den Radius der gezeichneten Kreise um $\Delta r_{vw} = .22$ cm (vor Verstärkungsänderung: $r = 4.85$ cm, während Verstärkungsänderung: $r = 5.07$ cm). Nach der Verstärkungsänderung verkleinerten beide Gruppen die Radien. („Explizites Wissen“: $\Delta r_{wn} = -.07$ cm, „Kein explizites Wissen“: $\Delta r_{wn} = -.25$ cm)

Die Varianzanalyse mit Messwiederholung ergab einen signifikanten Interaktionseffekt Gruppe x Verstärkungsänderung x Phase, $F(4, 148) = 6.98, p < .001, \epsilon = .61$. Für diese signifikante Dreifachinteraktion wurden Kontrastanalysen berechnet. In den Kontrollbedingungen beider Gruppen zeigte sich eine lineare Verkleinerung der Radien der gezeichneten Kreise über den Verlauf eines Durchgangs. Während sich diese Verkleinerung in der Gruppe „Explizites Wissen“ in einem signifikanten linearen Kontrast über alle drei Phasen äußerte ($F(1, 37) = 10.33, p < .01$), war dieser lineare Trend in der Gruppe „Kein explizites Wissen“ nicht statistisch signifikant. Im Zwischengruppenvergleich ergab sich kein signifikanter Unterschied im linearen Verlauf der Kontrollbedingungen.

In der Bedingung „Verstärkungsänderung auf 1.1:1“ war die Verkleinerung der

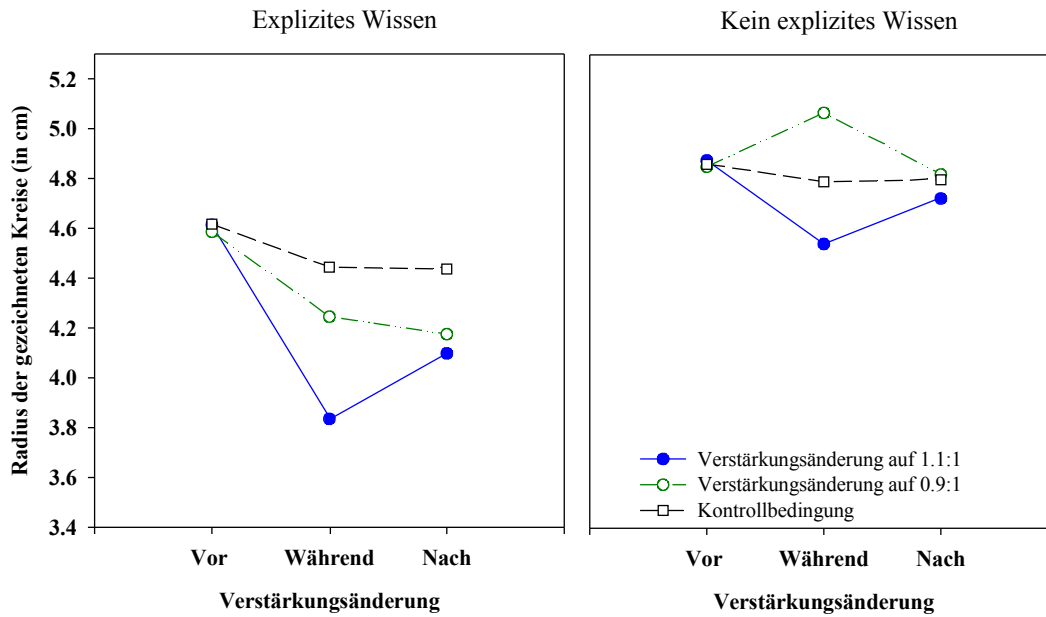


Abbildung 4.3: Ergebnisse von Experiment III. Die mittleren Radien der gezeichneten Kreise in cm vor, während und nach der Verstärkungsänderung sind dargestellt für die Bedingungen „Verstärkungsänderung auf 1.1:1“, „Verstärkungsänderung auf 0.9:1“ und die Kontrollbedingung. Die Abbildung zeigt die Daten der Gesamtstichprobe.

Radien der gezeichneten Kreise von der ersten zur zweiten Phase beider Gruppen signifikant verschieden von der Verkleinerung in der Kontrollbedingung („Explizites Wissen“: $F(1, 37) = 69.17, p < .0001$; „Kein explizites Wissen“: $F(1, 37) = 13.86, p < .001$). In der Gruppe „Explizites Wissen“ betrug die Differenz der Radien von Experimental- und Kontrollbedingung während der Verstärkungsänderung $\Delta r_{EK} = -.60$ cm (-13.0%), während die Gruppe „Kein explizites Wissen“ die Radien um $\Delta r_{EK} = -.25$ cm (-5.1%) gegenüber der Kontrollbedingung verkleinerte. Während sich die Radien der Kontrollbedingung und der Bedingung „Verstärkungsänderung auf 1.1:1“ in den Phasen vor bzw. nach der Verstärkungsänderung in der Gruppe „Kein explizites Wissen“ nicht signifikant unterschieden, ergab sich ein signifikanter Kontrasteffekt der Radien nach der Verstärkungsänderung in der Gruppe „Explizites Wissen“ ($F(1, 37) = 17.75, p < .001$). Die Radien der Kontroll- und Experimentalbedingung vor der Verstärkungsänderung waren nicht signifikant verschieden.

Beim Vergleich der Verkleinerung der Radien von der ersten zur zweiten Pha-

se der Verstärkungsänderung auf 1.1:1 zwischen den beiden Experimentalgruppen ergab sich ein signifikanter Kontrasteffekt ($F(1, 37) = 11.27, p < .01$). Die Gruppe „Explizites Wissen“ passte ihre Bewegungen signifikant stärker an als die Gruppe „Kein explizites Wissen“. Beide Gruppen unterschieden sich vor der Verstärkungsänderung nicht signifikant in der Differenz der Radien in der Kontrollbedingung und „Verstärkungsänderung auf 1.1:1“. Nach der Verstärkungsänderung gab es einen signifikanten Unterschied der Radien zwischen beiden Gruppen, $F(1, 37) = 5.51, p < .05$. Die Vergrößerung der Radien von der zweiten zur dritten Phase bezogen auf die Veränderung der Kontrollbedingung war zwischen den Gruppen allerdings nicht signifikant verschieden.

In der zweiten Experimentalbedingung „Verstärkungsänderung auf 0.9:1“ war die Veränderung der Radien der gezeichneten Kreise von der ersten zur zweiten Phase in beiden Gruppen stärker als die entsprechende Veränderung der Radien der Kontrollbedingung. In der Gruppe „Explizites Wissen“ ergab sich in dieser Analyse ein signifikanter Trend, $F(1, 37) = 3.81, p < .06$; der Effekt in der Gruppe „Kein explizites Wissen“ lag bei $F(1, 37) = 11.75, p < .01$. In der Gruppe „Explizites Wissen“ ergab sich eine Verkleinerung der Radien der gezeichneten Kreise gegenüber der Kontrollbedingung von $\Delta r_{EK} = -.19 \text{ cm} (-4.1\%)$. Hingegen wurden in der Gruppe „Kein explizites Wissen“ die Radien der gezeichneten Kreise während der Verstärkungsänderung auf 0.9:1 gegenüber den Radien der Kontrollbedingung um den Wert $\Delta r_{EK} = .28 \text{ cm} (5.8\%)$ vergrößert. Während sich die Radien der Gruppe „Explizites Wissen“ in Kontroll- und Experimentalbedingung vor der Verstärkungsänderung nicht unterschieden und nach der Verstärkungsänderung signifikant verschieden waren ($F(1, 37) = 11.86, p < .01$), ergaben sich in der Gruppe „Kein explizites Wissen“ für die Radien der Kontroll- und Experimentalgruppe keine signifikanten Unterschiede sowohl vor als auch nach der Verstärkungsänderung.

Der Unterschied in der Anpassung beider Gruppen führte im Zwischengruppenvergleich zu einem signifikanten Kontrasteffekt für die Veränderung der Radien von der ersten zur zweiten Phase bezogen auf die Veränderung der Radien der Kontrollbedingung, $F(1, 37) = 14.37, p < .001$. Die Gruppen unterschieden sich

vor der Verstärkungsänderung nicht in der Differenz der Radien der Kontroll- und Experimentalbedingung. Allerdings zeigte sich ein signifikanter Kontrasteffekt für diese Differenz nach der Verstärkungsänderung, $F(1, 37) = 7.13$, $p < .05$ sowie für die Veränderung der Radien von der zweiten zur dritten Phase ($F(1, 37) = 5.38$, $p < .05$).

Weiterhin ergab die Varianzanalyse signifikante Haupteffekte des Zwischenfaktors Gruppe, $F(1, 37) = 7.37$, $p < .05$ sowie der beiden Innerhalbfaktoren Verstärkungsänderung, $F(2, 74) = 30.91$, $p < .0001$, $\epsilon = .72$, und Phase, $F(2, 74) = 18.14$, $p < .0001$, $\epsilon = .72$ und die signifikanten Interaktionseffekte Gruppe x Verstärkungsänderung ($F(2, 74) = 11.72$, $p < .001$, $\epsilon = .67$), Gruppe x Phase ($F(2, 74) = 9.07$, $p < .01$, $\epsilon = .72$) sowie Verstärkungsänderung x Phase ($F(4, 148) = 38.92$, $p < .0001$, $\epsilon = .61$).

Analog zu der bereits beschriebenen Analyse der Daten der Gesamtstichprobe wurden die Versuchspersonen der Gruppe „Explizites Wissen“, die die mit der Instruktion inkonsistente Bedingung nicht bemerkt hatten (EWo), sowie die Versuchspersonen der Gruppe „Kein explizites Wissen“, die das Auftreten der Verstärkungsänderung nicht bemerkt hatten (KEWo), in einer zweiten Analyse untersucht. Die Mittelwerte und Standardabweichungen der Radien in allen drei Phasen sowohl für die Analyse der Gesamtstichprobe als auch der eingeschränkten Stichprobe sind in Tabelle 4.2 zusammengefasst.

Während sich die eingeschränkte Stichprobe der Gruppe „Kein explizites Wissen“ in den Mittelwerten des Radius kaum von denen der Gesamtstichprobe unterschieden, wurden in beiden Experimentalbedingungen der eingeschränkten Stichprobe mit explizitem Wissen die Radien während der Verstärkungsänderung stärker verkleinert als in der Gesamtstichprobe. Dies wurde auch in den Differenzen zwischen den Radien der Experimental- und Kontrollbedingung deutlich. In der eingeschränkten Stichprobe der Gruppe „Kein explizites Wissen“ wurden die Radien von der ersten zur zweiten Phase gegenüber den Radien der Kontrollbedingung in der Bedingung „Verstärkungsänderung auf 1.1:1“ um $\Delta r_{EK} = -.24$ cm (-5.0%) verkleinert, während sie in der Bedingung „Verstärkungsänderung auf 0.9:1“ um $\Delta r_{EK} = .26$ cm (5.4%) vergrößert wurden. Die eingeschränkte

Stichprobe der Gruppe „Explizites Wissen“ verkleinerte die Radien der von ihnen gezeichneten Kreise in „Verstärkungsänderung auf 1.1:1“ um $\Delta r_{EK} = -0.74$ cm (-16.7%), während die Radien in der Bedingung „Verstärkungsänderung auf 0.9:1“ um $\Delta r_{EK} = -0.48$ cm (-10.9%) verkleinert wurden.

Die Varianzanalyse der Daten der Versuchspersonen der eingeschränkten Stichprobe zeigte die gleichen signifikanten Effekte wie die Analyse der Gesamtstichprobe. Im Anhang C sind diese Effekte zusammengefasst.

Tabelle 4.2: Mittelwerte und Standardabweichungen (in Klammern) der Radien für die Gruppen „Explizites Wissen, gesamt“ (EWg), „Explizites Wissen, ohne Wissen über über mit der Instruktion inkonsistente Bedingung“ (EWo), „Kein explizites Wissen, gesamt“ (KEWg) sowie „Kein explizites Wissen, ohne Bemerkung der Verstärkungsänderung“ (KEWo) in den Phasen vor, während und nach der Verstärkungsänderung für die drei Bedingungen von Experiment III.

Bedingung	Gruppe	Vor	Während	Nach
Verstärkungsänderung auf 1.1:1	EWg	4.61 (.96)	3.84 (1.61)	4.10 (1.74)
	EWo	4.42 (.48)	3.48 (1.41)	3.76 (1.68)
	KEWg	4.88 (.93)	4.54 (.89)	4.72 (.89)
	KEWo	4.83 (.95)	4.51 (.87)	4.67 (.87)
Verstärkungsänderung auf 0.9:1	EWg	4.59 (.96)	4.25 (1.83)	4.17 (.96)
	EWo	4.39 (.54)	3.74 (1.56)	3.83 (1.71)
	KEWg	4.85 (.93)	5.07 (.98)	4.82 (.93)
	KEWo	4.80 (.99)	5.01 (.95)	4.76 (.91)
Kontrollbedingung	EWg	4.62 (.96)	4.44 (1.13)	4.44 (1.22)
	EWo	4.43 (.54)	4.22 (.81)	4.23 (.87)
	KEWg	4.86 (.89)	4.79 (.85)	4.80 (.93)
	KEWo	4.82 (.95)	4.75 (.82)	4.75 (.87)

4.3.4 Interindividuelle Unterschiede in der Anpassung an die Verstärkungsänderung

Um Informationen über die interindividuellen Unterschiede in der Anpassung während der Verstärkungsänderung zu erhalten, wurden erneut die individuellen Anpassungswerte jeder Versuchsperson berechnet. Abbildung 4.4 stellt diese individuellen Anpassungen der einzelnen Versuchspersonen in den beiden Experimen-

talbedingungen für beide Gruppe dar. Dabei wurde wiederum die Veränderung in der Kontrollbedingung von den Werten der Experimentalbedingung abgezogen. Während sich in der Bedingung „Verstärkungsänderung auf 1.1:1“ für die Versuchspersonen mit explizitem Wissen eine mittlere individuelle Anpassung von -13.4% (SD 10.1%) ergab, lag die mittlere individuelle Anpassung der Gruppe „Kein explizites Wissen“ bei -5.3% (SD 2.7%). In der Bedingung „Verstärkungsänderung auf 0.9:1“ war die individuelle Anpassung in der Gruppe „Explizites Wissen“ durchschnittlich -4.1% (SD 12.1%) groß. In der Gruppe „Kein explizites Wissen“ lag sie bei 5.9% (SD 2.3%).

Die gemittelten prozentualen individuellen Anpassungswerte waren wie auch in den anderen Experimenten gering verschieden von den Prozentwerten der mittleren Anpassungen in den Experimentalbedingungen (siehe Abschnitt 4.3.3).

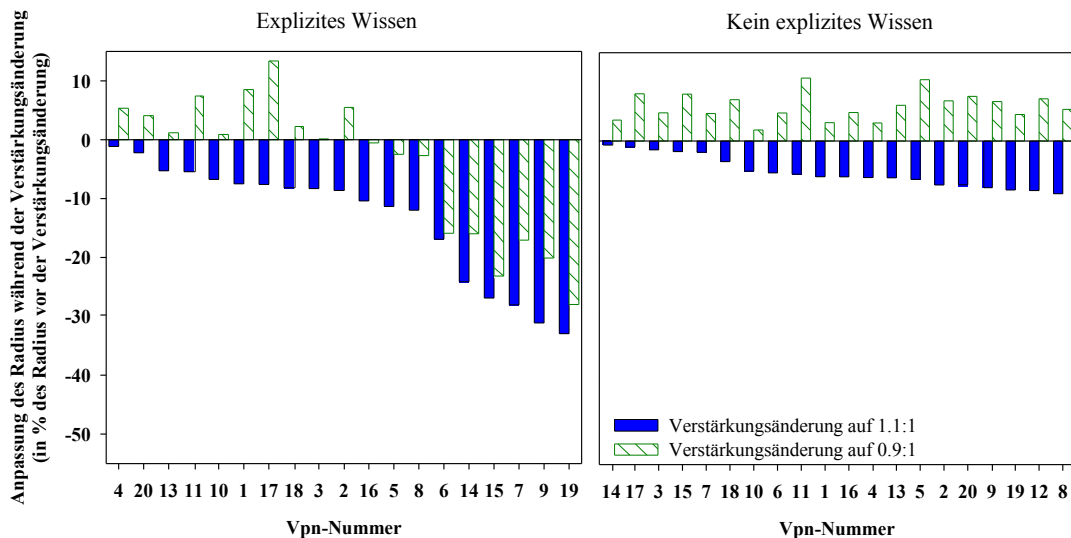


Abbildung 4.4: Individuelle Anpassung des Radius während der Verstärkungsänderung der Versuchspersonen in Prozent (bezogen auf die Radien vor der Verstärkungsänderung) der Gruppen „Explizites Wissen“ und „Kein explizites Wissen“ in den beiden Experimentalbedingungen „Verstärkungsänderung auf 1.1:1“ und „Verstärkungsänderung auf 0.9:1“. Von der individuellen Anpassung in allen Experimentalbedingungen wurde die Veränderung in der Kontrollbedingung abgezogen.

Erneut wurde deutlich, dass die Anpassungsleistung der Versuchspersonen ohne explizites Wissen deutlich homogener war als die Anpassung in der Gruppe „Explizites Wissen“. Weiterhin kann man aus der Verteilung der individuellen Anpassungen schließen, dass es auch innerhalb der Gruppe „Explizites Wissen“

Versuchspersonen gab, die in der mit der Instruktion inkonsistenten Bedingung den Radius der Kreise vergrößert hatten. Am anderen Ende der Verteilung fanden sich allerdings die Versuchspersonen, die sowohl bei der Verstärkungsänderung auf 1.1:1 als auch bei der Verstärkungsänderung auf 0.9:1 die von ihnen gezeichneten Kreise deutlich über den Mittelwert der Gruppe hinaus verkleinerten. Trotzdem ist die Anpassung des Radius dieser Versuchspersonen in der Bedingung „Verstärkungsänderung auf 0.9:1“ noch kleiner als ihre Anpassung in der Bedingung „Verstärkungsänderung auf 1.1:1“. Dieser Unterschied könnte darauf hin deuten, dass in der Bedingung „Verstärkungsänderung auf 0.9:1“ trotz der starken Ausprägung der intentionalen Anpassung auch die nicht-intentionale Anpassung auftrat.

4.4 Diskussion

Aus den Ergebnissen des dritten Experiments kann zum Einen geschlussfolgert werden, dass auch dann eine Bewegungsanpassung stattfindet, wenn das explizite Wissen über die Art der Verstärkungsänderung und die tatsächliche Verstärkungsänderung entgegengesetzt sind. Dabei scheint die intentionale Komponente im Durchschnitt zu überwiegen. Dies führt zwar zu einer Bewegungsanpassung, die konform mit der Instruktion ist, aber nicht zur erfolgreichen Erfüllung der Aufgabenstellung.

Zum Anderen konnte mit diesem Experiment gezeigt werden, dass sich Versuchspersonen ohne Information über das Auftreten einer solchen Verstärkungsänderung inzidentell anpassen können, die eine Vergrößerung der Radien notwendig macht.

Im Vergleich der beiden Gruppen zeigte sich deutlich, dass die Versuchspersonen der Gruppe „Kein explizites Wissen“ in der Lage waren, die Hälfte der benötigten Bewegungsanpassung zu realisieren, während das falsche explizite Wissen in der informierten Gruppe dazu führte, dass die Versuchspersonen die Bewegung in die für die Erfüllung der Aufgabe falsche Richtung anpassten. Die Verkleinerung der Radien war in dieser Bedingung nicht so stark wie in der Bedingung, in der die Verstärkungsänderung der instruierten Verstärkungsänderung entsprach.

Dieser Unterschied in den beiden Experimentalbedingungen der Gruppe mit explizitem Wissen könnte einerseits darauf hin deuten, dass auch in der nicht mit der Instruktion übereinstimmenden Bedingung die inzidentelle Anpassung wirksam war. Andererseits könnte dieser Unterschied auch durch das Fehlen der Verstärkungsänderung in Richtung einer Verkleinerung der gezeichneten Kreise in dieser Bedingung entstanden sein, so dass die resultierende Anpassung nur die intentionale Anpassung widerspiegelt und die inzidentelle Anpassung nicht auftritt. In Experiment IV soll aus diesem Grund überprüft werden, ob die in Experiment II gezeigte Additivität intentionaler und inzidenteller Anpassung bestehen bleibt, wenn diese Prozesse entgegengesetzt gerichtet sind.

Weiterhin zeigten die Ergebnisse dieses Experiments erneut, dass die interindividuellen Unterschiede in der Anpassung an die Verstärkungsänderungen in der nicht informierten Gruppe deutlich homogener waren als dies in der Gruppe mit explizitem Wissen der Fall war.

Nach der Abschaltung der Verstärkungsänderung zeigten sich deutliche Unterschiede zwischen den Gruppen in der Zurückführung der Radien in die ursprüngliche Größe. Während die Versuchspersonen ohne explizites Wissen in beiden Experimentalbedingungen den Radius auf das Niveau der Kontrollbedingung vergrößerten bzw. verkleinerten, vergrößerten die Versuchspersonen der Gruppe „Explizites Wissen“ die Radien der von ihnen gezeichneten Kreise kaum. Die Ursache dieses Unterschieds konnten die Daten des dritten Experiments nicht klären.

Versuchspersonen ohne Informationen über das Auftreten einer Transformationsänderung können sich an unterschiedliche Transformationsänderungen anpassen. Falsches explizites Wissen führt im Mittel zu einer Bewegungsanpassung in Richtung der instruierten Bewegungsanpassung.

5 Experiment IV

5.1 Fragestellung

Die Ergebnisse von Experiment III lassen keine eindeutigen Schlüsse darüber zu, ob die Additivität der intentionalen und inzidentellen Anpassungsprozesse in der Gruppe „Explizites Wissen“ auch dann erhalten bleibt, wenn beide Prozesse entgegengesetzt gerichtet sind oder ob die Anpassung in der nicht mit der Instruktion übereinstimmenden Bedingung nur die intentionale Anpassung widerspiegelt. Aus diesem Grund wurde in Experiment IV analog zu Experiment II der separate Einfluss der Faktoren Farbwechsel und Verstärkungsänderung untersucht, wobei die intentionale und inzidentelle Komponente der Anpassung in einer Bedingung entgegengesetzt gerichtet waren.

Neben dieser Frage nach der Additivität soll in diesem Experiment auch geklärt werden, welchen separaten Einfluss der Farbwechsel und die Verstärkungsänderung haben, wenn intentionale und inzidentelle Anpassung entgegengesetzt gerichtet sind. Des Weiteren soll überprüft werden, ob die in den vorherigen Experimenten gefundenen relativ kleinen interindividuellen Unterschiede in der inzidentellen und die große Streuung der intentionalen Anpassung erneut gefunden werden können. Zusammengefasst sollen mit Experiment IV die drei folgenden Fragen beantwortet werden:

1. Bleibt die Additivität intentionaler und inzidenteller Anpassungsprozesse auch dann bestehen, wenn diese Prozesse entgegengesetzt gerichtet sind?
2. Welchen separaten Einfluss haben der Farbwechsel und die Verstärkungsänderung auf die Anpassung der Bewegung ?

3. Sind die interindividuellen Unterschiede der inzidentellen Anpassung kleiner als die der intentionalen Anpassung?

5.2 Methode

5.2.1 Versuchspersonen

24 rechtshändige, normalsichtige oder korrigiert normalsichtige Personen nahmen an Experiment IV teil. Sie waren durchschnittlich 23.1 Jahre alt (SD 3.05 Jahre, R 19-29 Jahre). Drei von ihnen waren Zivildienstleistende am Institut für Arbeitsphysiologie, eine Versuchsperson war Versicherungskaufmann und 21 waren Studenten. Für die Teilnahme erhielten sie eine Aufwandsentschädigung von 15 Euro bzw. zwei Versuchspersonenstunden.

5.2.2 Apparatur und Aufgabe

Das experimentelle Setting war identisch mit dem der vorherigen Experimente II bzw. III (siehe 3.2.2).

Die Aufgabe der Versuchspersonen entsprach der in Experiment I bis III beschriebenen Aufgabe (siehe 2.2.3).

5.2.3 Versuchsdurchführung

Die Versuchsdurchführung war ebenfalls identisch mit der in Abschnitt 4.2.3 beschriebenen Durchführung von Experiment III. Durch die Kombination des dreistufigen Faktors Verstärkungsänderung und des zweifach gestuften Faktors Farbwechsel ergaben sich insgesamt fünf Experimentalbedingung sowie die Kontrollbedingung. Abbildung 5.1 stellt den Ablauf eines Durchgangs in diesen sechs Bedingungen dar. In Abschnitt 5.2.4 werden diese Bedingungen erläutert.

5.2.4 Bedingungen

An dieser Stelle soll ein kurzer Überblick über die Versuchsbedingungen gegeben werden, die durch die Kombination der beiden Faktoren Verstärkungsände-

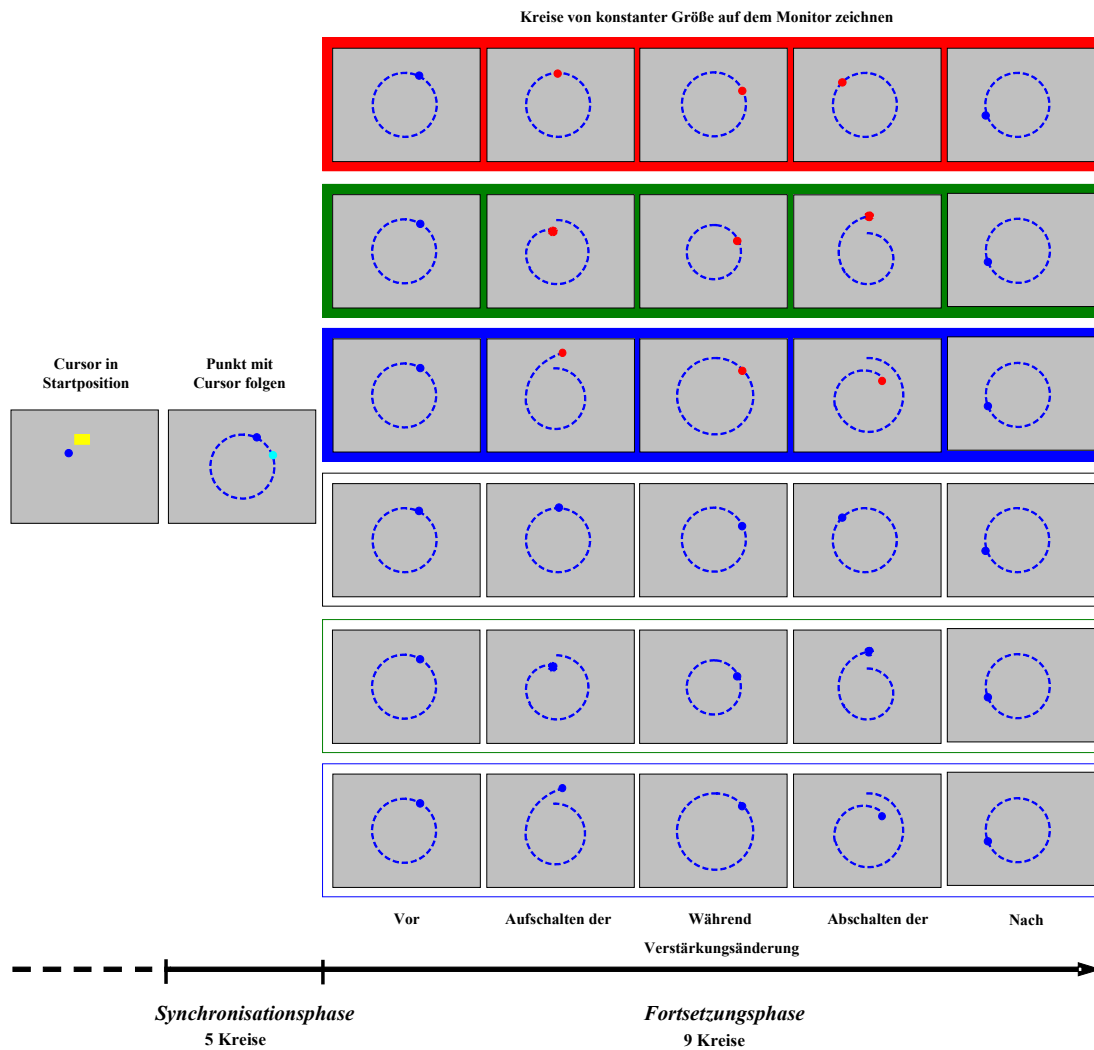


Abbildung 5.1: Ablauf eines Durchgangs in den sechs Bedingungen von Experiment IV. Die oberste Reihe stellt die Bedingung „Farbwechsel ohne Verstärkungsänderung“ dar, Reihe 2 repräsentiert die Bedingung „Verstärkungsänderung auf 0.9:1 mit Farbwechsel“. In der dritten Reihe von oben ist die Bedingung „Verstärkungsänderung auf 1.1:1 mit Farbwechsel“ dargestellt. Die unteren drei Reihen repräsentieren die Bedingungen ohne Farbwechsel des Cursors. Reihe 4 zeigt die Kontrollbedingung, während Reihe 5 die Bedingung „Verstärkungsänderung auf 0.9 ohne Farbwechsel“ zusammenfasst. In der untersten Reihe ist die Bedingung „Verstärkungsänderung auf 1.1:1 ohne Farbwechsel“ dargestellt.

rung und Farbwechsel entstanden. Der Faktor Verstärkungsänderung bestand aus den drei Faktorstufen „Verstärkungsänderung auf 1.1:1“, „Verstärkungsänderung auf 0.9:1“ und „Keine Verstärkungsänderung“, der zweistufige Faktor Farbwechsel aus den Stufen „Mit Farbwechsel“ und „Ohne Farbwechsel“. Aus dieser Struktur resultierten insgesamt sechs Versuchsbedingungen, davon fünf Experimentalbedingun-

gen und eine Kontrollbedingung. Die Kontrollbedingung entsprach der Kontrollbedingung in den bereits beschriebenen Experimenten. Die Versuchsbedingungen dieses Experiments setzten sich zusammen aus den vier Experimentalbedingungen und der Kontrollbedingung aus Experiment III (siehe 4.2.4) sowie der Bedingung „Farbwechsel ohne Verstärkungsänderung“, die der in Abschnitt 3.2.4 beschriebenen Experimentalbedingung von Experiment II, bei der zu einem zufälligen Zeitpunkt die Farbe des Cursors von blau nach rot wechselte. Diesem Farbwechsel lag keine Verstärkungsänderung zugrunde. Die beiden Bedingungen, in denen nur die inzidentelle Anpassung eine Rolle spielte („Verstärkungsänderung auf 1.1:1 ohne Farbwechsel“, „Verstärkungsänderung auf 0.9:1 ohne Farbwechsel“) unterschieden sich zwischen Experiment III und IV in dem Sinne, dass diese Bedingungen in Experiment III von Versuchspersonen bearbeitet wurden, die keine Informationen über das Auftreten der Verstärkungsänderung erhielten (Gruppe „Kein explizites Wissen“). In Experiment IV hingegen waren alle Versuchspersonen über die prinzipielle Möglichkeit des Auftretens einer Verstärkungsänderung informiert.

5.2.5 Versuchsablauf

Analog zu Experiment II wurden wiederum alle Versuchspersonen über das Auftreten einer Verstärkungsänderung informiert. Ihnen wurde mitgeteilt, dass sich das visumotorische Verhältnis in einigen Durchgängen auf 1.1:1 verändert und dass sie in diesem Fall die von ihnen gezeichneten Kreise verkleinern müssen. Ebenso wurde ihnen gesagt, dass diese Verstärkungsänderung immer durch den Farbwechsel des Cursors angezeigt werden würde. Im weiteren Ablauf folgten die Übung und die Testphase.

Im Anschluss an die Testphase wurden alle Versuchspersonen vom Versuchsleiter über das mögliche Entdecken von mit der Instruktion nicht übereinstimmenden Bedingungen befragt. Wie schon für die vorherigen Experimente beschrieben, wurde bei der Fragestellung erneut gestuft vorgegangen. So wurden die Versuchspersonen über die Wahrnehmbarkeit der Verstärkungsänderung und die Nützlichkeit des Farbwechsels bei der Anpassung an die Verstärkungsänderung befragt. Weiterhin wurden sie spezifischer über das eventuelle Bemerkens einer nicht durch den

Farbwechsel angezeigten Verstärkungsänderung oder eines Farbwechsels ohne zugrunde liegende Verstärkungsänderung befragt. Schließlich wurden sie gefragt, ob ihnen aufgefallen war, dass sie in einigen Durchgängen größere Kreise zeichnen mussten, um die Kreisgröße auf dem Monitor konstant zu halten. In Anhang B ist die Nachbefragung dargestellt.

In insgesamt sechs Blöcke bearbeiteten die Versuchspersonen jeweils 24 Durchgänge. Dabei wurden pro Block vier Durchgänge einer Bedingung zufällig dargeboten. Der Einsatz der Verstärkungsänderung erfolgte nach der Dauer von 2 bis 2.9 Standardkreisen (in 0.3er-Schritten variiert). Alle Durchgänge wurden wiederum hinsichtlich des Einsatzes der Verstärkungsänderung zufällig dargeboten.

5.2.6 Datenanalyse

Die Rohdaten des vierten Experiments wurden wie in den vorhergehenden Experimente gefiltert und aus den gefilterten Daten die Radien der gezeichneten Kreise bestimmt (siehe Abschnitt 2.2.7). Die Kriterien zum Ausschluss eines Segments oder Durchgangs entsprachen denen von Experiment II (siehe Abschnitt 3.2.6).

Wie schon für die vorherigen Experimente beschrieben, wurden für jede Versuchsperson die Mittelwerte der Radien der gezeichneten Kreise vor, während und nach der Verstärkungsänderung in der Kontrollbedingung und den fünf Experimentalbedingungen berechnet. Eine 5x3x2x3-Varianzanalyse mit den Innerhalb-faktoren Block (2 bis 6), Verstärkungsänderung (Verstärkungsänderung auf 1.1:1, Verstärkungsänderung auf 0.9:1, keine Verstärkungsänderung), Farbwechsel (mit Farbwechsel, ohne Farbwechsel) und Phase (vor, während und nach der Verstärkungsänderung) wurde berechnet. Das Auswertungsdesign ist in Abbildung 5.2 dargestellt.

Sollte die Additivität intentionaler und inzidenteller Anpassung auch bestehen, wenn beide Prozesse entgegengesetzt gerichtet sind, so müsste sich dies in der Varianzanalyse durch einen nicht signifikanten Interaktionseffekt zwischen Verstärkungsänderung, Farbwechsel und Phase ausdrücken.

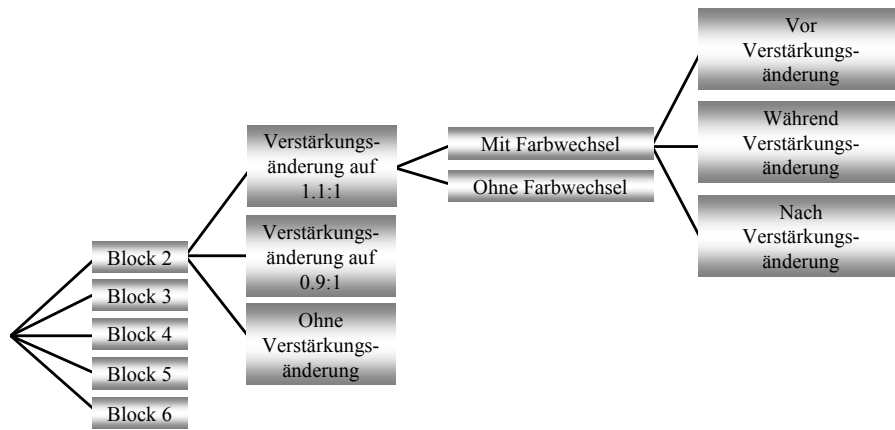


Abbildung 5.2: Design der Varianzanalyse mit Messwiederholung zur Analyse des Radius der gezeichneten Kreise in Experiment IV.

5.3 Ergebnisse

5.3.1 Ausgeschlossene Daten und Bewegungszeiten

Die Daten einer männlichen Versuchsperson mussten aus der weiteren Analyse ausgeschlossen werden, so dass Daten von 23 Personen ausgewertet werden konnten. Diese 23 Versuchspersonen produzierten insgesamt 14 ungültige Durchgänge von insgesamt 2760 Durchgängen (0.5%).

Für das Zeichnen eines Kreises in der Übungsphase benötigten die Versuchspersonen durchschnittlich 1.94 Sekunden (SD 0.33 s, R 1.35-2.44 s).

5.3.2 Ergebnis der Nachbefragung

Vier Versuchspersonen gaben bei der ersten Frage an, dass sie eine der mit der Instruktion nicht übereinstimmenden Bedingungen bemerkt hatten. Weitere 13 Versuchspersonen gaben im weiteren Verlauf der Nachbefragung an, diese bemerkt zu haben. Nur sechs Versuchspersonen hatten keine der mit der Instruktion nicht übereinstimmenden Bedingungen bemerkt. Tabelle 5.1 gibt einen Überblick darüber, welche Bedingungen die Versuchspersonen im Verlauf der Nachbefragung angaben, bemerkt zu haben. Wie bereits in der Ergebnisdarstellung der Experimente I bis III soll im Anschluss an die Datenanalyse mit der Gesamtstichprobe eine zweite Datenanalyse mit den sechs Versuchspersonen dargestellt werden, die

die mit der Instruktion nicht übereinstimmenden Bedingungen nicht bemerkt hatten.

Tabelle 5.1: Anzahl der Versuchspersonen, die vor und nach der Aufklärung über die nicht mit der Instruktion übereinstimmenden Bedingungen angaben, diese bemerkt bzw. nicht bemerkt zu haben.

Zeitpunkt	Anzahl Versuchspersonen
Vor Aufklärung bemerkt, insgesamt	4
Nur größere Kreise zeichnen	1
Nur Verstärkungsänderung ohne Farbwechsel	1
Nur Farbwechsel ohne Verstärkungsänderung	2
Nach Aufklärung bemerkt, insgesamt	13
Nur größere Kreise zeichnen	1
Nur Verstärkungsänderung ohne Farbwechsel	2
Nur Farbwechsel ohne Verstärkungsänderung	1
Zwei Bedingungen	7
Alle drei Bedingungen	2
Nach Aufklärung nicht bemerkt	6

5.3.3 Analyse des Radius der gezeichneten Kreise

Abbildung 5.3 stellt die Mittelwerte der Radien in allen sechs Bedingungen vor, während und nach der Verstärkungsänderung dar. In der Kontrollbedingung sowie in vier der fünf Experimentalbedingungen wurde der Radius der gezeichneten Kreise während der Verstärkungsänderung gegenüber den Radien vor der Verstärkungsänderung in unterschiedlichem Ausmaß verkleinert. Während in der Kontrollbedingung die Differenz der Radien vor und während der Verstärkungsänderung mit $\Delta r_{vw} = -0.16$ cm am geringsten war, wurden die Radien in der Bedingung „Verstärkungsänderung auf 1.1:1 mit Farbwechsel“ am stärksten verkleinert ($\Delta r_{vw} = -0.90$ cm) (Mittelwerte und Standardabweichungen der Radien sind in Tabelle 5.2 dargestellt). Die zweitstärkste Verkleinerung der Radien während der Verstärkungsänderung mit $\Delta r_{vw} = -0.66$ cm erfolgte in der Bedingung „Farbwechsel ohne Verstärkungsänderung“. Die Verringerung der Radien der gezeichneten Kreise ähnelte sich in den Bedingungen „Verstärkungsänderung auf 0.9:1 mit

Farbwechsel“ ($\Delta r_{vw} = -.42$ cm) und „Verstärkungsänderung auf 1.1:1 ohne Farbwechsel“ ($\Delta r_{vw} = -.40$ cm). Nur in der Bedingung „Verstärkungsänderung auf 0.9:1 ohne Farbwechsel“ wurden die Radien während der Verstärkungsänderung gegenüber denen vor der Verstärkungsänderung vergrößert. Die Vergrößerung betrug $\Delta r = .12$ cm.

Nach der Verstärkungsänderung wurden die Radien in vier der Experimentalbedingungen gegenüber den Radien während der Verstärkungsänderung vergrößert („Verstärkungsänderung auf 1.1:1 mit Farbwechsel“: $\Delta r_{wn} = .48$ cm, „Farbwechsel ohne Verstärkungsänderung“: $\Delta r_{wn} = .29$ cm, „Verstärkungsänderung auf 0.9:1 mit Farbwechsel“: $\Delta r_{wn} = .10$ cm, „Verstärkungsänderung auf 1.1:1 ohne Farbwechsel“: $\Delta r_{wn} = .16$ cm). In der Kontrollbedingung waren die Radien der Kreise um $\Delta r_{wn} = -.04$ cm kleiner als die Radien während der Verstärkungsänderung. Auch in der Bedingung „Verstärkungsänderung auf 0.9:1 ohne Farbwechsel“ wurden die Radien nach der Verstärkungsänderung wieder verkleinert ($\Delta r_{wn} = -.29$ cm). Es zeigte sich, dass in den Bedingungen ohne Farbwechsel, also den inzidentellen Bedingungen, die Radien nach der Verstärkungsänderung wieder auf das Niveau der Radien der Kontrollbedingung vergrößert bzw. verkleinert wurden, während das Auftreten eines Farbwechsels in beiden Bedingungen dazu führte, dass die Radien der gezeichneten Kreise deutlich kleiner waren als die der Kontrollbedingung.

In den Ergebnissen der Varianzanalyse ergab sich kein signifikanter Interaktionseffekt von Verstärkungsänderung, Farbwechsel und Phase ($F(4, 88) = .90$, $p > .20$), was auf die Additivität der Faktoren „Verstärkungsänderung“ und „Farbwechsel“ schließen lässt.

Mit Hilfe von Kontrastanalysen wurden zusätzlich Unterschiede in der Änderung der Radien über die drei Phasen in den Bedingungen untersucht. Wiederum wurde die Differenz der Radien von Kontroll- und Experimentalbedingung während der Verstärkungsänderung mit Δr_{EK} bezeichnet und zusätzlich in Prozent der Radien der Experimentalbedingung vor der Verstärkungsänderung angegeben.

Die Radien der Kontrollbedingung wurden im Verlauf eines Durchgangs kleiner. Dies wurde reflektiert durch den signifikanten linearen Kontrasteffekt über die drei Phasen ($F(1, 22) = 14.28$, $p < .01$).

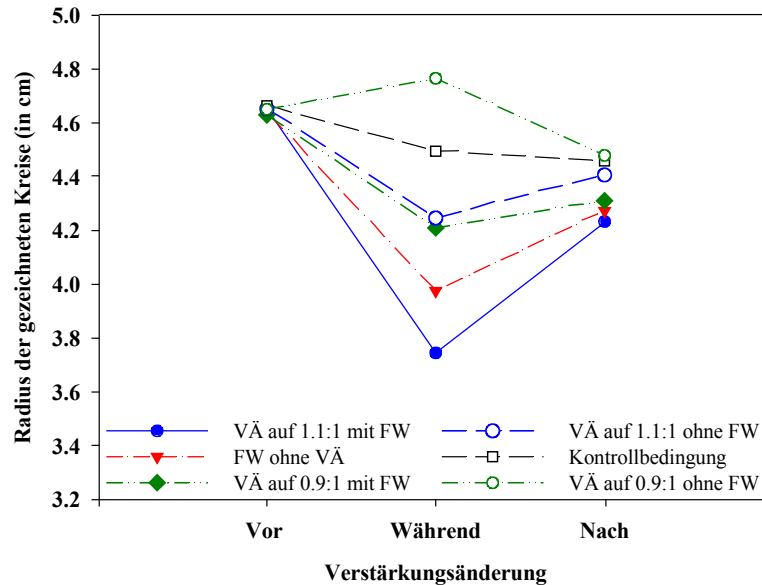


Abbildung 5.3: Die mittleren Radien der gezeichneten Kreise in cm vor, während und nach der Verstärkungsänderung sind dargestellt für die fünf Experimentalbedingungen und die Kontrollbedingung in Experiment IV für die Datenanalyse der Gesamtstichprobe.

In vier der fünf Experimentalbedingungen wurden die Radien der gezeichneten Kreise von der ersten zur zweiten Phase gegenüber den entsprechenden Werten in der Kontrollbedingung signifikant stärker verkleinert. Die stärkste Verkleinerung der Kreise fand dabei in der Bedingung „Verstärkungsänderung auf 1.1:1 mit Farbwechsel“ statt ($F(1, 22) = 61.08, p < .0001$). Gegenüber den Radien in der Kontrollbedingung waren die Radien während der Verstärkungsänderung durchschnittlich $\Delta r_{EK} = -.75$ cm (-16.1%) kleiner. Während sich die Radien vor der Verstärkungsänderung in Kontrollbedingung und „Verstärkungsänderung auf 1.1:1 mit Farbwechsel“ nicht signifikant voneinander unterschieden, ergab sich ein signifikanter Kontrasteffekt im Vergleich der Radien nach der Verstärkungsänderung ($F(1, 22) = 15.69, p < .001$).

Die zweitstärkste Verkleinerung der Radien erfolgte mit $\Delta r_{EK} = -.52$ cm (-11.2%), $F(1, 22) = 28.04, p < .0001$, in der Bedingung „Farbwechsel ohne Verstärkungsänderung“. Auch in dieser Bedingung unterschieden sich die Radien der gezeichneten Kreise vor der Verstärkungsänderung nicht signifikant von den Radien der Kontrollbedingung; nach der Verstärkungsänderung ergab sich wiederum ein si-

gnifikanter Kontrasteffekt ($F(1, 22) = 12.18, p < .01$).

Auch in der Bedingung „Verstärkungsänderung auf 0.9:1 mit Farbwechsel“ verkleinerten die Versuchspersonen die Radien von der ersten zur zweiten Phase signifikant stärker als in der Kontrollbedingung ($F(1, 22) = 5.03, p < .05$) um $\Delta r_{EK} = -.29$ cm (-6.2%). Vor der Verstärkungsänderung gab es keine signifikanten Unterschiede in den Werten von Kontroll- und Experimentalbedingung; nach der Verstärkungsänderung ergab sich ein signifikanter Kontrasteffekt ($F(1, 22) = 7.72, p < .05$).

Die vierte Experimentalbedingung, in der die Verkleinerung der Radien der gezeichneten Kreise signifikant stärker war als die Verkleinerung in der Kontrollbedingung, war die Bedingung „Verstärkungsänderung auf 1.1:1 ohne Farbwechsel“. Dieser Unterschied war statistisch signifikant ($F(1, 22) = 61.30, p < .0001$) und betrug $\Delta r_{EK} = -.25$ cm (-5.4%). Vor und nach der Verstärkungsänderung unterschieden sich die Radien in der Kontrollbedingung nicht von den Radien dieser Experimentalbedingung.

In der Bedingung „Verstärkungsänderung auf 0.9:1 ohne Farbwechsel“ wurden die Radien der gezeichneten Kreise von der ersten zur zweiten Phase vergrößert. Diese Veränderung der Radien war signifikant verschieden von den Veränderungen in den Kreisen der Kontrollbedingung ($F(1, 22) = 116.77, p < .0001$). Die Radien dieser Experimentalbedingung waren während der Verstärkungsänderung $\Delta r_{EK} = .27$ cm (5.8%) größer als die der Kontrollbedingung. Vor und nach der Verstärkungsänderung unterschieden sich die Radien der Bedingung „Verstärkungsänderung auf 0.9:1 ohne Farbwechsel“ nicht signifikant von denen der Kontrollbedingung.

Es gab keine signifikanten Unterschiede in der Veränderung der Radien von vor zu während der Verstärkungsänderung in „Verstärkungsänderung auf 0.9:1 mit Farbwechsel“ und „Verstärkungsänderung auf 1.1:1 ohne Farbwechsel“ ($F(1, 22) = .01, p > .20$). Alle anderen Experimentalbedingungen unterschieden sich signifikant in der Veränderung der Radien von der ersten zur zweiten Phase (siehe Anhang D für die F-Werte und Signifikanzen der signifikanten Kontraste zwischen den Bedingungen).

Weitere signifikante Effekte waren die Haupteffekte der Faktoren Verstärkungsänderung ($F(2, 44) = 54.17, p < .0001, \epsilon = .80$), Farbwechsel ($F(1, 22) = 28.05, p < .0001$) und Phase ($F(2, 44) = 25.45, p < .0001$) und die Interaktionseffekte Farbwechsel x Phase ($F(2, 44) = 17.80, p < .0001, \epsilon = .70$) und Verstärkungsänderung x Phase ($F(4, 88) = 102.83, p < .0001, \epsilon = .61$).

In Tabelle 5.2 sind die Mittelwerte der Radien vor, während und nach der Verstärkungsänderung für die Analyse der Gesamtstichprobe und auch für die der eingeschränkten Stichprobe dargestellt.

Tabelle 5.2: Mittelwerte und Standardabweichungen (in Klammern) der Radien für die Gesamtstichprobe (G) und die Versuchspersonen, die die mit der Instruktion nicht übereinstimmenden Bedingungen nicht bemerkt hatten (O) in den Phasen vor, während und nach der Verstärkungsänderung für die sechs Bedingungen des vierten Experiments.

Bedingung	Gruppe	Vor	Während	Nach
Verstärkungsänderung auf 1.1:1 mit Farbwechsel	G	4.65 (1.01)	3.75 (1.39)	4.23 (1.44)
	O	4.51 (1.42)	3.51 (1.08)	3.98 (1.13)
Verstärkungsänderung auf 0.9:1 mit Farbwechsel	G	4.63 (.96)	4.21 (1.73)	4.31 (1.44)
	O	4.52 (1.49)	3.87 (1.00)	4.12 (1.37)
Farbwechsel ohne Verstärkungsänderung	G	4.64 (.91)	3.98 (1.44)	4.27 (1.39)
	O	4.51 (1.42)	3.73 (1.00)	4.05 (1.15)
Verstärkungsänderung auf 1.1:1 ohne Farbwechsel	G	4.65 (.96)	4.25 (1.06)	4.41 (1.25)
	O	4.51 (1.27)	4.16 (1.27)	4.22 (1.27)
Verstärkungsänderung auf 0.9:1 ohne Farbwechsel	G	4.65 (.96)	4.77 (1.20)	4.48 (1.25)
	O	4.57 (1.52)	4.61 (1.59)	4.35 (1.47)
Kontrollbedingung	G	4.66 (.91)	4.50 (1.15)	4.46 (1.20)
	O	4.52 (1.35)	4.36 (1.32)	4.30 (1.25)

Die Analyse der Daten der eingeschränkten Stichprobe ergab die gleichen statistisch signifikanten Effekte wie die Analyse der Daten der Gesamtstichprobe (siehe Anhang C). Beim Vergleich der Stärke der Anpassung in den beiden Analysen zeigte sich, dass die Versuchspersonen der eingeschränkten Stichprobe in den Bedingungen, in der die intentionale Anpassung eine Rolle spielte, die Krei-

se deutlich stärker verkleinerten. Die Anpassung in den beiden Bedingungen, in denen jeweils nur die inzidentelle Anpassung eine Rolle spielte, unterschied sich zwischen den Stichproben kaum.

Wie bereits in der Analyse der Gesamtstichprobe ergab sich die stärkste Verkleinerung der gezeichneten Kreise in der Bedingung „Verstärkungsänderung auf 1.1:1 mit Farbwechsel“. Die Differenz zur Kontrollbedingung war hier $\Delta r_{EK} = -0.84$ cm (-18.7%). Die zweitstärkste signifikante Anpassung mit $\Delta r_{EK} = -0.63$ cm (-13.9%) geschah wie schon in der Analyse der Gesamtstichprobe in der Bedingung „Farbwechsel ohne Verstärkungsänderung“. Auch in der Bedingung „Verstärkungsänderung auf 0.9:1 mit Farbwechsel“ wurden die gezeichneten Kreise während der Verstärkungsänderung im Vergleich zu Kontrollbedingung verkleinert. Die Differenz betrug dabei $\Delta r_{EK} = -0.49$ cm (-10.8%). Schließlich waren die Radien der gezeichneten Kreise während der Verstärkungsänderung auch in der Bedingung „Verstärkungsänderung auf 1.1:1 ohne Farbwechsel“ kleiner als die der Kontrollbedingung; der Unterschied betrug hier $\Delta r_{EK} = -0.19$ cm (-4.3%). Wie auch schon in der Analyse der Gesamtstichprobe waren die Radien während der Verstärkungsänderung in der Bedingung „Verstärkungsänderung auf 0.9:1 ohne Farbwechsel“ größer als die entsprechenden Radien der Kontrollbedingung ($\Delta r_{EK} = 0.25$ cm, 5.5%)

Wiederum unterschieden sich die Radien während der Verstärkungsänderung in den Bedingungen „Verstärkungsänderung auf 0.9:1 mit Farbwechsel“ und „Verstärkungsänderung auf 1.1:1 ohne Farbwechsel“ nicht signifikant, während alle anderen Experimentalbedingungen sich in den Radien während der Verstärkungsänderung signifikant unterschieden.

5.3.4 Interindividuelle Unterschiede in der Anpassung an die Verstärkungsänderung

Auch für die Ergebnisse des vierten Experiments soll die interindividuelle Variation der Anpassung an die verschiedenen Untersuchungsbedingungen dargestellt werden. Abbildung 5.4 stellt die Anpassung während der Verstärkungsänderung für die fünf Experimentalbedingungen dar.

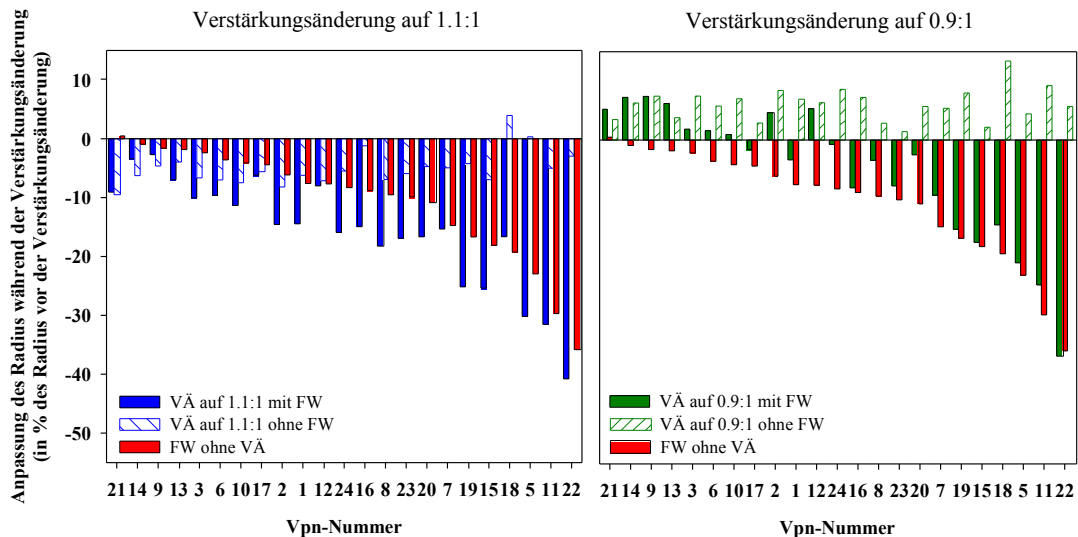


Abbildung 5.4: Individuelle Anpassung des Radius während der Verstärkungsänderung der Versuchspersonen in Prozent (bezogen auf die Radien vor der Verstärkungsänderung) für die Bedingungen „Verstärkungsänderung auf 1.1:1 mit Farbwechsel“, „Verstärkungsänderung auf 1.1:1 ohne Farbwechsel“ und „Farbwechsel ohne Verstärkungsänderung“ (linke Abbildung) sowie „Verstärkungsänderung auf 0.9:1 mit Farbwechsel“, „Verstärkungsänderung auf 0.9:1 ohne Farbwechsel“ und „Farbwechsel ohne Verstärkungsänderung“ (rechte Abbildung).

Dabei sind auf der linken Seite der Abbildung die beiden Bedingungen, in denen die Verstärkungsänderung auf 1.1:1 verändert wurde sowie die Bedingung „Farbwechsel ohne Verstärkungsänderung“ dargestellt, während auf der rechten Abbildungsseite die beiden Bedingungen mit der Verstärkungsänderung auf 0.9:1 und die Bedingung „Farbwechsel ohne Verstärkungsänderung“ gezeigt werden. Die zweifache Abbildung der Werte der Bedingung „Farbwechsel ohne Verstärkungsänderung“ dient dabei zur Veranschaulichung der Additivität für beide Arten der Verstärkungsänderung. Die Veränderungen in den Kontrollbedingungen wurde wiederum von denen der Experimentalbedingungen abgezogen.

In den drei Bedingungen, in denen die intentionale Anpassung eine Rolle spielte, fiel wiederum die relativ große Standardabweichung der individuellen Anpassungen auf. In der Bedingung „Verstärkungsänderung auf 1.1:1 mit Farbwechsel“ ergab sich eine mittlere individuelle Anpassung von -15.9% (SD 9.4%). In der Bedingung „Farbwechsel ohne Verstärkungsänderung“ war sie -10.7% (SD 9.4%), während sie in der Bedingung „Verstärkungsänderung auf 0.9:1 mit Farbwechsel“

bei -5.5% lag (SD 11.5%).

In den beiden Bedingungen, in denen nur die inzidentelle Anpassung eine Rolle spielen sollte, ergab sich eine relativ kleine Streuung der individuellen Anpassung. In der Bedingung „Verstärkungsänderung auf 1.1:1 ohne Farbwechsel“ lag sie bei -5.1% (SD 2.9%), in der Bedingung „Verstärkungsänderung auf 0.9:1 ohne Farbwechsel“ bei 6.1% (SD 2.7%).

Wiederum unterschieden sich die prozentualen Werte der individuellen Anpassung von den Prozentwerte der gemittelten Anpassung (siehe Abschnitt 5.3.3). Die gemittelte Anpassung betrug in der Bedingung „Verstärkungsänderung auf 1.1:1 mit Farbwechsel“ -16.1% , in der Bedingung „Farbwechsel ohne Verstärkungsänderung“ -11.2% , in „Verstärkungsänderung auf 0.9:1 mit Farbwechsel“ -6.2% , in „Verstärkungsänderung auf 1.1:1 ohne Farbwechsel“ -5.4% und in der Bedingung „Verstärkungsänderung auf 0.9:1 ohne Farbwechsel“ 5.8% .

Aus Abbildung 5.4 wird deutlich, dass auch auf der Ebene der individuellen Anpassung an die Verstärkungsänderung intentionale und inzidentelle Anpassung additiv zusammen zu wirken scheinen. Die Partialkorrelation (unter Kontrolle der Veränderung in der Kontrollbedingung) zwischen der Summe der Anpassung in den Bedingungen mit nur intentionaler bzw. nur inzidenteller Anpassung und der Anpassung in der Bedingung, in der beide Anpassungen gleichzeitig gefordert waren, war für beide Arten der Verstärkungsänderung sehr hoch und statistisch signifikant. Für die Verstärkungsänderung auf 1.1:1 lag sie bei $r = .94$, $p < .0001$, für die Verstärkungsänderung auf 0.9:1 bei $r = .97$, $p < .0001$.

Wie bereits in Experiment II gab es einen signifikanten negativen linearen Zusammenhang zwischen der Größe der inzidentellen Anpassung an die Verstärkungsänderung, deren Richtung mit der in der Instruktion vorgegebenen Richtung übereinstimmte, und der intentionalen Anpassung. Die Partialkorrelation unter Kontrolle der Veränderung in der Kontrollbedingung lag bei $r = -.56$, $p < .01$. Für die Verstärkungsänderung auf 0.9:1 und die intentionale Anpassung war dieser Zusammenhang kleiner und war nicht statistisch signifikant ($r = -.16$, $p > .20$). Die Partialkorrelation wurde dabei zwischen den individuellen Anpassungswerten ohne Subtraktion der Veränderungen in der Kontrollbedingung berechnet.

Für die Anpassung an die Verstärkungsänderung auf 0.9:1 ist aus Abbildung 5.4 ersichtlich, dass bis zu einem bestimmten Ausmaß der intentionalen Anpassung („Farbwechsel ohne Verstärkungsänderung“) die Anpassung in der Bedingung „Verstärkungsänderung auf 0.9:1 mit Farbwechsel“ bei der Mehrheit der Versuchspersonen (Ausnahmen sind Vp 1 und Vp 17) noch in die Richtung deutet, die zur Kompensation der Verstärkungsänderung notwendig wäre, nämlich eine Vergrößerung der gezeichneten Kreise. Nach Versuchsperson Nummer 12 verändert sich die Richtung der Anpassung in die durch die Instruktion vorgegebene Richtung.

5.4 Diskussion

Im vierten Experiment sollte überprüft werden, ob die Additivität der intentionalen und inzidentellen Anpassungsprozesse auch dann bestehen bleibt, wenn beide Prozesse entgegengesetzt gerichtet sind. Aus den Ergebnissen kann geschlossen werden, dass diese Additivität tatsächlich auch dann auftritt, wenn die intentionale Anpassung eine Verkleinerung der Kreise zum Ziel hat, während die inzidentelle Anpassung zur Kompensation der veränderten visumotorischen Beziehung eine Vergrößerung der Kreise nötig macht.

Im Mittel wurde in der Bedingung, in der sowohl die intentionale als auch die inzidentelle Anpassung auftreten sollte, die Größe der gezeichneten Kreise über das notwendige Maß hinaus verkleinert, wenn die intentionale und inzidentelle Anpassung in die gleiche Richtung wirkten.

Lag dem Farbwechsel keine tatsächliche Verstärkungsänderung zugrunde, passten trotzdem die meisten Versuchspersonen die Radien der von ihnen gezeichneten Kreise deutlich an.

Waren intentionale und inzidentelle Prozesse entgegengesetzt, dann resultierte im Mittel eine Anpassung in Richtung der intentional gesteuerten Verkleinerung der gezeichneten Kreise. Die Anpassung in der Bedingung, in der die intentionale und nicht intentionale Anpassung entgegengesetzt gerichtet waren, war deutlich kleiner als in der Bedingung, in der nur die intentionale Anpassung auftrat, was wiederum Ausdruck der Additivität der beiden Anpassungsprozesse ist. In den beiden Bedin-

gungen, in denen die Verstärkungsänderungen ohne Farbwechsel auftrat, passten die Versuchspersonen die Radien der gezeichneten Kreise um etwa die Hälfte der für die vollständige Kompensation der Verstärkungsänderung notwendigen Anpassung an.

Auch auf der individuellen Ebene der Anpassung scheint die Additivität intentionaler und inzidenteller Anpassung vorhanden zu sein. Die Summe der Anpassungen in den Bedingungen, in denen jeweils nur die Verstärkungsänderung oder nur der Farbwechsel auftraten, stellte einen guten Schätzer für die Anpassung in der Bedingung dar, in der beide Komponenten gleichzeitig auftraten. Dabei scheint diese Additivität in der Art zu funktionieren, dass die Größe der inzidentellen Anpassung bei allen Versuchspersonen relativ konstant zu sein scheint, während die intentionale Komponente mit starker interindividueller Variabilität zu dieser homogenen inzidentellen Anpassung hinzugefügt wird.

Wie bereits in Experiment II fand sich ein negativer linearer Zusammenhang zwischen der Größe der intentionalen und inzidentellen Anpassungen bei der mit der Instruktion übereinstimmenden Verstärkungsänderung. Dieser Zusammenhang könnte der Ausdruck einer unterschiedlich starken visumotorischen Sensitivität einzelner Versuchspersonen sein. Personen, die schlechter dazu in der Lage sind, Veränderungen in der Umwelt wahrzunehmen als andere, müssten ihre Bewegungen stärker anpassen, um die Konsequenz ihrer Bewegungsanpassung zu bemerken. Es ist unklar, wieso dieser negative Zusammenhang bei der nicht mit der Instruktion übereinstimmenden Verstärkungsänderung viel schwächer ist. Eine mögliche Erklärung dafür könnte sein, dass bei entgegengesetzten intentionalen und inzidentellen Anpassungsprozessen die Gesamtänderung der gezeichneten Kreise kleiner ist als wenn beide Prozesse in die gleiche Richtung wirken, da die entgegengesetzt gerichteten Prozesse einander zum Teil aufheben.

Wie schon in den drei vorangegangenen Experimenten gab es Unterschiede in den Radien der gezeichneten Kreise nach Abschalten der Verstärkungsänderung. Während die Radien in den beiden Bedingungen, in denen die inzidentelle Anpassung eine Rolle spielte, nach Abschalten der Verstärkungsänderung auf das Niveau der Radien der Kontrollbedingung verkleinert bzw. vergrößert wurden, waren die

Radien in den drei Bedingungen mit intentionaler Anpassungskomponente nach Abschalten der Verstärkungsänderung deutlich kleiner als die der Kontrollbedingungen. Es stellt sich die Frage, ob dieser Unterschied in der Größe der Radien daraus resultiert, dass in den Bedingungen mit intentionaler Anpassung das Zurückführen des Radius auf die Ausgangsgröße länger dauern würde, da die Anpassung während der Verstärkungsänderung größer ist oder ob durch die intentionale Anpassung die Repräsentation der Ausgangsgröße der Radien verzerrt wird. Die Ergebnisse dieses Experiments konnten zur Klärung dieser Frage beitragen. In zwei Bedingungen war die Anpassung während der Verstärkungsänderung fast gleich groß. Dabei handelte es sich um die Bedingung, in der die Verstärkungsänderung auf 1.1:1 verändert wird, ohne dass dies durch den Farbwechsel des Cursors angezeigt wird, und die Bedingung, in der intentionale und inzidentelle Anpassung entgegengesetzt waren. Da die Radien der gezeichneten Kreise nach der Verstärkungsänderung in der Bedingung mit intentionaler Anpassung deutlich kleiner waren als die der Kontrollbedingung, während die Radien der anderen Bedingung das Niveau der Radien der Kontrollbedingung erreichte, ist es unwahrscheinlich, dass die unzureichende Vergrößerung der Radien nach Abschalten der Verstärkungsänderung aus der stärkeren Anpassung während der Verstärkungsänderung resultierte. So scheint die intentionale Anpassung dazu zu führen, dass die Repräsentation der ursprünglichen Kreisgröße im Verlauf des Durchgangs verloren geht bzw. verzerrt wird.

Auch wenn intentionale und inzidentelle Anpassungsprozesse entgegengesetzt gerichtet sind, bleibt die Additivität beider Prozesse erhalten.

6 Experiment V

6.1 Fragestellung

In den Experimenten I bis IV passten die Versuchspersonen ihre Bewegungen an, wenn sich die visumotorische Verstärkung veränderte. Bisher ist noch nicht geklärt, ob es sich bei dieser Bewegungsanpassung um eine kurze, unmittelbare und situative Anpassung handelt, die nach Abschalten der Verstärkungsänderung wieder verschwindet, oder ob es sich um eine überdauernde Anpassung an die veränderte visumotorische Verstärkung handelt. Diese offene Frage soll mit Hilfe von Experiment V geklärt werden. Eine überdauernde Anpassung würde darauf hindeuten, dass die Versuchspersonen die veränderte visumotorische Beziehung gelernt haben und ihr inneres Modell der Transformation entsprechend modifiziert haben. Wenn es sich um eine überdauernde Anpassung handeln sollte, dann würde dies durch das Auftreten von Nacheffekten angezeigt werden. Bei diesen Nacheffekten handelt es sich um die schon von von Helmholtz (1867) beschriebenen Bewegungsanpassungen, die auch dann noch auftreten, nachdem die ursprüngliche sensomotorische Beziehung wiederhergestellt ist und die in die entgegengesetzte Richtung der vorher aufgetretenen Verzerrung gerichtet sind. Ein Nacheffekt der Verstärkungsänderung von 1:1 auf 1.2:1 würde sich darin äußern, dass auch nach dem Abschalten der Verstärkungsänderung die durch die Verstärkungsänderung induzierte Anpassung weiter bestehen bleibt und kleinere Kreise gezeichnet werden würden als nach Durchgängen ohne Verstärkungsänderung.

Zur Untersuchung des Andauerns der Bewegungsanpassung wurden in Experiment V ähnlich wie im ersten Experiment zwei Gruppen von Versuchspersonen hinsichtlich möglicher Nacheffekte untersucht. Eine Gruppe wurde dabei wiederum über

das Auftreten der Verstärkungsänderung informiert und die andere Gruppe nicht. Folgende Fragen sollten mit Experiment V geklärt werden:

1. Zeigen sich Nacheffekte in der Bedingung mit Verstärkungsänderung?
2. Unterscheiden sich die über die Verstärkungsänderung informierten und nicht informierten Versuchspersonen im Nachtest?

6.2 Methode

6.2.1 Versuchspersonen

Insgesamt 27 Personen (12 Männer, 15 Frauen) nahmen an Experiment V teil. Fünf von ihnen hatten bereits ein abgeschlossenes Studium bzw. eine abgeschlossene Berufsausbildung, die anderen 22 waren Studenten. Die Versuchspersonen waren zwischen 20 und 29 Jahre alt (Altersdurchschnitt: 23.6 Jahre, SD: 2.1 Jahre). Für die Teilnahme am Experiment erhielten sie 20 Euro oder 2.5 Versuchspersonenstunden.

Alle Versuchspersonen wurden zufällig einer von zwei Gruppen zugeordnet. Die Gruppe „Explizites Wissen“ bestand aus sechs Männern und acht Frauen, während sich die Gruppe „Kein explizites Wissen“ aus sechs Männern und sieben Frauen zusammensetzte. Die Gruppen unterschieden sich nicht hinsichtlich des Alters ($t(25) = -.85, p > .20$).

6.2.2 Apparatur und Aufgabe

Das experimentelle Setting war identisch mit dem der vorherigen Experimente II bis IV (siehe 3.2.2).

Die Aufgabe der Versuchspersonen war es zum einen, in einer konstanten Geschwindigkeit Kreise zu zeichnen, die auf dem Monitor eine konstante Größe haben sollten. Im Anschluss an jeden Durchgang sollten sie das Wort „Kreis“ auf dem Digitalisiertablett schreiben und im anschließenden Nachtest die auf dem Monitor dargestellten statischen Kreis auf dem Digitalisiertablett abzeichnen.

6.2.3 Versuchsdurchführung

Die Durchführung des Experiments ähnelte den bereits beschriebenen Experimenten. Die Übungsphase und Instruktionsphase waren dabei identisch mit denen aus Experiment I. In der Testphase ergaben sich allerdings Veränderungen. Die Synchronisationsphase war identisch mit der der vorherigen Experimente.

In der anschließenden Fortsetzungsphase zeichneten die Versuchspersonen zunächst 2 bis 2.8 Kreise, bevor sich in der Hälfte der Durchgänge eine Verstärkungsänderung von 1:1 auf 1.2:1 ergab. Die Umschaltung der Verstärkungsänderung erfolgte dabei wiederum innerhalb der Dauer eines Standardkreises. Die maximale Verstärkungsänderung blieb für die Dauer zweier Standardkreise bestehen.

Nach Ablauf dieser zwei Kreise verschwand der Cursor vom Monitor. Nach einer Pause von einer Sekunde erschien immer das Wort „Kreis“ auf dem Monitor. Die Versuchspersonen hatten dann die Aufgabe, dieses Wort auf dem Digitalisieretablett in Druckbuchstaben zu schreiben. In dieser Phase wurde den Versuchspersonen die Position des Stiftes auf dem Digitalisieretablett nicht auf dem Monitor dargestellt. Für das Schreiben des Wortes hatten die Versuchspersonen fünf Sekunden Zeit. Nach zwei abgelaufenen Sekunden wurde die Dauer der verbleibenden Zeit unter dem Wort auf dem Monitor dargestellt. Nach Ablauf der Zeit verschwand sowohl das Wort als auch die Zeitangabe vom Bildschirm. Diese Phase des Schreibens sollte die zuvor durchgeführte kontinuierliche Kreisbewegung der Hand unterbrechen.

In der Mitte des Bildschirms erschien sofort danach ein weißer Kreis und ein türkisfarbener Punkt, der begann, sich mit der in der Übungsphase bestimmten Geschwindigkeit entlang dieses weißen Kreises zu bewegen. Nachdem der türkisfarbene Punkt eine Kreisumdrehung beendet hatte, verschwand er an der 12-Uhr-Position. Die Versuchspersonen hatten nun die Aufgabe, mit der vom türkisfarbenen Punkt vorgegebenen Geschwindigkeit Kreise auf dem Digitalisieretablett zu zeichnen, die die Größe des auf dem Monitor abgebildeten Kreises hatten. Dabei wurde die Stiftposition auf dem Digitalisieretablett nicht auf dem Monitor dargestellt. Die Versuchspersonen zeichneten so lange Kreise, bis der statische Kreis

nach der Dauer von sieben Standardkreisen verschwand. Damit war der Durchgang beendet.

Der Kreis in der Nachtestphase konnte drei Größen annehmen. Zum Einem konnte er identisch mit dem Vorgabekreis in der Synchronisationsphase sein mit einem Radius von $r = 4.72$ cm. In einer zweiten Nachtestbedingung war der Radius des Kreises um den Faktor 1.2 vergrößert gegenüber den Kreisen der Synchronisationsphase, was zu einem Radius von $r = 5.66$ cm führte. In der dritten Bedingung war der Radius um den Faktor $1/1.2$ verkleinert. Dies resultierte in einem Radius von $r = 3.93$ cm. In Abbildung 6.1 ist der Ablauf eines Durchgangs mit und ohne Verstärkungsänderung dargestellt. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wurde auf eine Darstellung aller drei Nachtestbedingungen verzichtet.

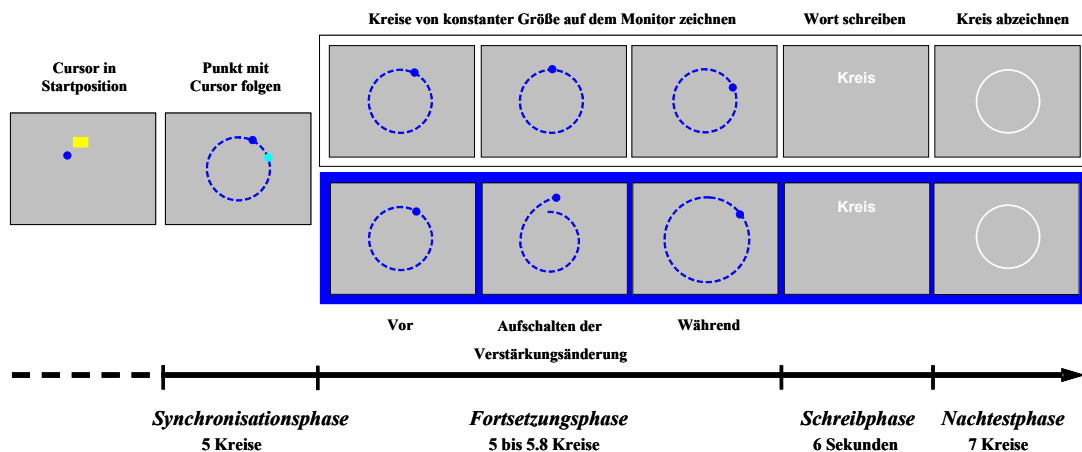


Abbildung 6.1: Ablauf eines Durchgangs in Experiment V. Nach der Synchronisationsphase wurde in der Fortsetzungsphase in den Durchgängen mit Verstärkungsänderung (untere Reihe) das visuomotorische Verhältnis auf 1.2:1 verändert und nicht wieder auf 1:1 zurückgeführt. Im Anschluss an die Fortsetzungsphase mussten die Versuchspersonen ein Wort abschreiben (Schreibphase) und schließlich einen auf dem Monitor gezeigten Kreis abzeichnen (Nachtestphase).

6.2.4 Bedingungen

Analog zu Experiment I gab es grundsätzlich zwei Arten von Durchgängen. Zum einen wurde in den Durchgängen mit Verstärkungsänderung das visuomotorische Verhältnis von 1:1 auf 1.2:1 verändert. In der Gruppe „Explizites Wissen“ wurde die veränderte Verstärkung durch den Farbwechsel des Cursors von blau nach rot

angezeigt, während sich für die Gruppe „Kein explizites Wissen“ die Cursorfarbe während des Experiments nie änderte. Die Gruppe „Explizites Wissen“ wurde darüber informiert, dass nur in der Fortsetzungsphase das Auftreten der Verstärkungsänderung möglich war. In Durchgängen ohne Verstärkungsänderung wurde die visumotorische Verstärkung nicht verändert. Um die Kontrolldurchgänge auch in Phasen einteilen zu können, wurden aus den entsprechenden Bedingungen mit Verstärkungsänderung die Werte des Verstärkungsfaktors extrahiert. Dabei ergab sich in diesem Experiment die Zuordnung der Experimental- und Kontrolldurchgänge nicht durch die Reihenfolge im Experiment. Jede Kontrollbedingung wurde ebenso wie die Experimentalbedingungen mit einem Zeitpunkt des Onsets der Verstärkungsänderung versehen. Anhand dieser Werte konnte den Kontrolldurchgängen die entsprechenden Experimentaldurchgänge zugeordnet werden. Dieses neue Zuordnungsverfahren war nötig, da die Durchgänge in Abhängigkeit des Onsets der Verstärkungsänderung unterschiedlich lang waren. Dabei waren die Durchgänge mit und ohne Verstärkungsänderung, die den gleichen Onset der Verstärkungsänderung hatten, zufällig über den Verlauf eines Blockes verteilt, so dass die einander zugeordneten Durchgänge nicht immer zeitlich nah beieinander waren.

Sowohl von den Durchgängen mit als auch ohne Verstärkungsänderung gab es insgesamt drei Versionen. Dabei unterschieden sich die Versionen jeweils nur in der Größe des Nachtestkreises. Dieser hatte einen Radius von $r = 4.72$ cm (Faktor 1), $r = 5.66$ cm (Faktor 1.2) oder $r = 3.93$ cm (Faktor 1/1.2). Es ergaben sich insgesamt die sechs Bedingungen „Mit Verstärkungsänderung, Nachtestkreis mit $r = 4.72$ cm“, „Mit Verstärkungsänderung, Nachtestkreis mit $r = 5.66$ cm“, „Mit Verstärkungsänderung, Nachtestkreis mit $r = 3.93$ cm“, „Ohne Verstärkungsänderung, Nachtestkreis mit $r = 4.72$ cm“, „Ohne Verstärkungsänderung, Nachtestkreis mit $r = 5.66$ cm“ und „Ohne Verstärkungsänderung, Nachtestkreis mit $r = 3.93$ cm“.

6.2.5 Versuchsablauf

Analog zu den ersten Experimenten füllten die Versuchspersonen zunächst den Lateralitätsfragebogen, den demographischen Fragebogen und die Teilnahmeerklärung aus. Nach dem Farbfehlsichtigkeitstest folgte die Übungsphase und die Instruktion. In dieser Instruktion wurden die Versuchspersonen der Gruppe „Explizites Wissen“ über das Auftreten der Verstärkungsänderung informiert (siehe 2.2.6), während die Gruppe „Kein explizites Wissen“ keine Information über die Verstärkungsänderung erhielt. Im Anschluss daran folgten wieder die Übungsphase und die Testphase.

Im Anschluss an die Testphase wurden die Versuchspersonen beider Gruppen vom Versuchsleiter befragt. Dabei bezogen sich die Fragen in der Gruppe „Explizites Wissen“ vor allem auf die Nützlichkeit und Verständlichkeit der Instruktion. In der Gruppe „Kein explizites Wissen“ wurde wiederum in einer gestuften Befragung erfasst, ob die Versuchspersonen die Verstärkungsänderung bemerkt hatten. Die Nachbefragung war identisch mit den Fragen des ersten Experiments (siehe Anhang B).

Die Versuchspersonen absolvierten fünf Blöcke á 24 Durchgänge. Dabei wurden in jedem Block pro Bedingung vier Durchgänge zufällig dargeboten. Der Einsatz der Verstärkungsänderung wurde zwischen der Dauer von 2 und 2.9 Standardkreisen (in 0.3er-Schritten) variiert. Alle Durchgänge wurden wiederum hinsichtlich des Einsatzes der Verstärkungsänderung zufällig im Verlauf eines Blocks dargeboten.

6.2.6 Datenanalyse

Die Filterung der Rohdaten und die Bestimmung des Radius erfolgte analog zu der im Abschnitt 2.2.7 beschriebenen Vorgehensweise für Experiment I sowohl für die Radien der Forsetzungsphase als auch die in der Nachtestphase. Die Radien der Nachtestphase wurden aus den ersten beiden gezeichneten Kreisen in der Nachtestphase berechnet.

Die Kriterien zu Gültigkeit eines Segments und zum Ausschluss eines Durchgangs aus der Analyse für die Phasen vor und während der Verstärkungsänderung wurden von den vorherigen Experimenten II bis IV übernommen (siehe 3.2.6). Ein

Durchgang wurde ebenfalls aus der Analyse ausgeschlossen, wenn nicht innerhalb der ersten beiden gezeichneten Kreise des Nachtests je ein Segment jedes Viertelkreises repräsentiert war. Das erste Segment der Nachtestphase wurde immer aus der Analyse ausgeschlossen.

Für alle Versuchspersonen wurden die Mittelwerte der Radien der gezeichneten Kreise sowohl in der Fortsetzungsphase als auch in der Nachtestphase bestimmt. In zwei separaten Analysen sollen dabei die Anpassung während der Verstärkungsänderung und die Nacheffekte analysiert werden. Zur Analyse der Anpassung während der Verstärkungsänderung wurde eine $2 \times 4 \times 2 \times 3 \times 2$ -Varianzanalyse mit Messwiederholung für den Radius der gezeichneten Kreise als abhängige Variable mit dem Zwischenfaktor Gruppe („Explizites Wissen“ und „Kein explizites Wissen“) und den Innerhalbfaktoren Block (2 bis 5), Verstärkungsänderung (mit und ohne), Nachtest (Faktor 1.2, Faktor 1, Faktor 1/1.2) und Phase (vor und während der Verstärkungsänderung) berechnet. Das Design der ersten Auswertung ist in Abbildung 6.2 dargestellt.

Da dieser erste Teil der Analyse eine Replikation des ersten Experiments darstellt, wurde in der Analyse eine statistisch signifikante Dreifachinteraktion Gruppe \times Verstärkungsänderung \times Phase erwartet. Außerdem wurde erwartet, dass sich die Versuchspersonen der Gruppe „Kein explizites Wissen“ weniger stark an die Verstärkungsänderung anpassen als die der Gruppe „Explizites Wissen“.

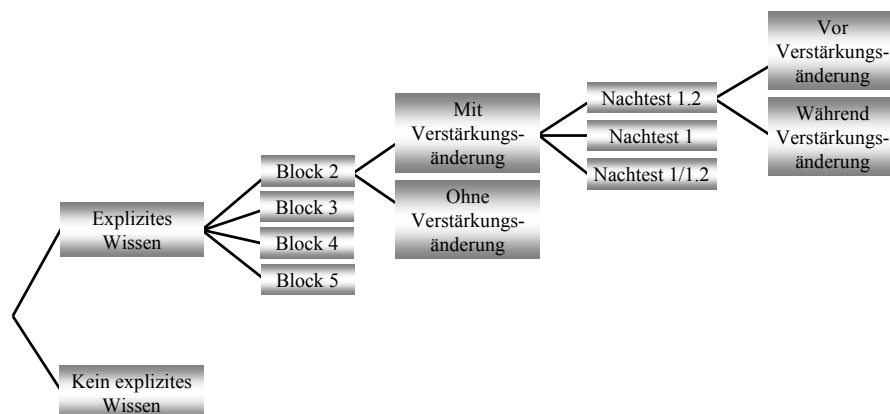


Abbildung 6.2: Design der Varianzanalyse mit Messwiederholung für die Analyse der Bewegungsanpassung in Experiment V.

In der zweiten Analyse sollten Nacheffekte der Verstärkungsänderung analysiert werden. Als abhängige Variable wurden dabei die Radien der gezeichneten Kreise im Nachtest herangezogen. Die Auswertung der Daten erfolgte ebenfalls mit einer Varianzanalyse mit Messwiederholung mit dem Zwischenfaktor Gruppe („Explizites Wissen“ und „Kein explizites Wissen“) und den Innerhalbfaktoren Block (2 bis 5), Verstärkungsänderung (mit und ohne) und Nachtest (Radius Faktor 1.2, Radius Faktor 1, Radius Faktor 1/1.2) (siehe Abbildung 6.3).

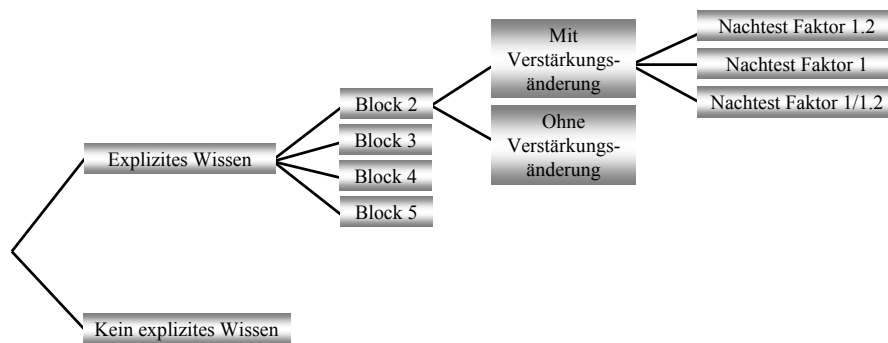


Abbildung 6.3: Design der Varianzanalyse mit Messwiederholung für die Analyse der Nacheffekte in Experiment V.

Um sich an die Verstärkungsänderung anzupassen, müssen die gezeichneten Kreise während der Verstärkungsänderung verkleinert werden. Sollte die aufgetretene Verstärkungsänderung tatsächlich die akute Anpassungsphase überdauern, so müssten auch nach Abschalten der Verstärkungsänderung die gezeichneten Kreise kleiner sein als die Radien der Kreise in der Nachtestphase der Kontrollbedingung. Eine die akute Anpassung überdauernde Anpassung würde sich dann darin ausdrücken, dass die Kreise in der Nachtestphase in der Experimentalbedingung immer kleiner sein müssten als in der entsprechenden Kontrollbedingung. Ein signifikanter Haupteffekt des Faktors „Verstärkungsänderung“ würde darauf hindeuten, dass die Nacheffekte in Kontroll- und Experimentalbedingung unterschiedlich sind. Der Interaktionseffekt Gruppe x Verstärkungsänderung würde darauf hindeuten, dass sich die Gruppen in den Nacheffekten unterscheiden.

6.3 Ergebnisse

6.3.1 Ausgeschlossene Daten und Bewegungszeiten

Alle Versuchspersonen produzierten genügend gültige Durchgänge, so dass keine Person aus der Datenanalyse ausgeschlossen werden musste. Nur 23 von insgesamt 2592 Durchgängen waren ungültig (0.9%).

Die Versuchspersonen benötigten zwischen 1.19 und 2.47 s, um einen Kreis in der Übungsphase zu zeichnen (Mittelwert 2.00 s, SD .36 s). Die Gruppen unterschieden sich nicht signifikant in der Zeichengeschwindigkeit ($t(25) = -1.02, p > .20$).

6.3.2 Ergebnis der Nachbefragung

Nur eine weibliche Versuchsperson der Gruppe „Kein explizites Wissen“ gab nach der Erläuterung der auftretenden Verstärkungsänderung an, diese bemerkt zu haben. Da der Ausschluss dieser Versuchsperson zu keinen für die inhaltliche Fragestellung wesentlichen Veränderungen der Ergebnisse geführt hatte, soll aus diesem Grund in der Ergebnisdarstellung auf die Beschreibung der Analyse der Stichprobe ohne diese Person verzichtet werden. Tabelle 6.1 stellt die Mittelwerte und Standardabweichungen der Gesamtstichprobe und auch der Stichprobe ohne die eine Person, die die Verstärkungsänderung bemerkt hatte, dar.

6.3.3 Analyse der akuten Anpassung

Abbildung 6.4 stellt die Mittelwerte der Radien vor und während der Verstärkungsänderung in Kontroll- und Experimentalbedingung beider Gruppen gegenüber. In den Kontrollbedingungen beider Gruppen wurde der Radius von der ersten zur zweiten Phase verringert. In der Gruppe „Explizites Wissen“ wurden die Radien dabei um $\Delta r_{vw} = -.23$ cm verkleinert, in der Gruppe „Kein explizites Wissen“ um $\Delta r_{vw} = -.22$ cm. Auch in den Durchgängen mit Verstärkungsänderung verkleinerten die Versuchspersonen beider Gruppen die Radien der gezeichneten Kreise. Während in der Gruppe „Explizites Wissen“ die Radien von $r = 4.81$ cm um $\Delta r_{vw} = -.89$ cm auf $r = 3.92$ cm verkleinert wurden, verrin-

gerten die Versuchspersonen der Gruppe „Kein explizites Wissen“ die Radien nur um $\Delta r_{vw} = -.62$ cm (von $r = 4.70$ cm auf $r = 4.08$ cm). Die Mittelwerte und Standardabweichungen der Radien beider Gruppen sind in Tabelle 6.1 dargestellt.

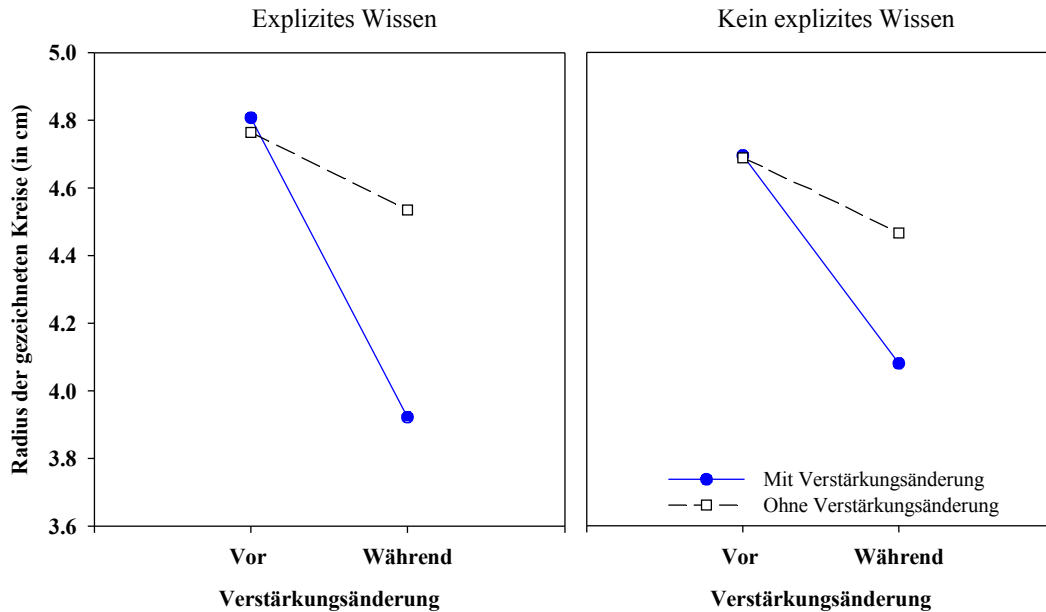


Abbildung 6.4: Ergebnisse der Analyse der Anpassung in der Gesamtstichprobe von Experiment V. Die mittleren Radien der gezeichneten Kreise in cm vor, während und nach der Verstärkungsänderung sind dargestellt für die Gruppe „Explizites Wissen“ (linke Seite) und „Kein explizites Wissen“ (rechte Seite) für die Experimentalbedingung („Mit Verstärkungsänderung“) und Kontrollbedingung („Ohne Verstärkungsänderung“) vor und während der Verstärkungsänderung.

Tabelle 6.1: Mittelwerte und Standardabweichungen (in Klammern) der Radien für die Gruppen „Explizites Wissen“ (EW), „Kein explizites Wissen, gesamt“ (KEWg) sowie „Kein explizites Wissen, ohne Bemerkung der Verstärkungsänderung“ (KEWo) in den Phasen vor und während der Verstärkungsänderung für Experimental- und Kontrollbedingung.

Bedingung	Gruppe	Vor	Während
Experimentalbedingung	EW	4.81 (1.16)	3.92 (.94)
	KEWg	4.70 (1.08)	4.08 (1.23)
	KEWo	4.71 (1.14)	4.08 (1.28)
Kontrollbedingung	EW	4.76 (1.01)	4.53 (1.09)
	KEWg	4.69 (1.01)	4.47 (1.41)
	KEWo	4.70 (1.07)	4.46 (1.46)

Die Varianzanalyse ergab einen statistisch signifikanten Interaktionseffekt Gruppe x Verstärkungsänderung x Phase, $F(1, 25) = 15.14$, $p < .001$. Für diesen Interaktionseffekt wurden wiederum Kontrastanalysen berechnet. Die Werte Δr_{EK} bezeichnen wie schon in den vorangegangenen Experimenten die Differenz zwischen Experimental- und Kontrollbedingung. Diese wird zusätzlich in Prozent der Radien der Experimentalbedingung vor der Verstärkungsänderung angegeben.

Die Radien der Kontrollbedingungen wurden im Verlauf eines Durchgangs kleiner. Dies wurde reflektiert durch einen signifikanten Kontrasteffekt der Radien vor und während der Verstärkungsänderung in der Gruppe „Explizites Wissen“ ($F(1, 25) = 20.23$, $p < .001$) und in der Gruppe „Kein explizites Wissen“ ($F(1, 25) = 17.59$, $p < .001$). Beide Gruppen unterschieden sich in der Kontrollbedingung nicht in den Radien vor sowie während der Verstärkungsänderung.

In den Durchgängen mit Verstärkungsänderung zeigten beide Gruppen eine signifikante stärkere Verkleinerung der Kreise von der ersten zur zweiten Phase gegenüber der Verkleinerung der Radien in der Kontrollbedingung („Explizites Wissen“: $F(1, 25) = 195.00$, $p < .0001$, „Kein explizites Wissen“: $F(1, 25) = 64.85$, $p < .0001$). In der Gruppe „Explizites Wissen“ war die Differenz $\Delta r_{EK} = -.61$ cm (-12.7%) groß, während sie in der Gruppe „Kein explizites Wissen“ $\Delta r_{EK} = -.39$ cm (-8.2%) betrug.

Beide Gruppen unterschieden sich signifikant im Ausmaß der Verkleinerung der Radien von der ersten zur zweiten Phase ($F(1, 25) = 15.14$, $p < .001$) der Verstärkungsänderung. Vor der Verstärkungsänderung gab es zwischen den Gruppen keine Unterschiede in der Differenz zwischen den Radien der Kontroll- und Experimentalbedingung.

Weiterhin ergab die Varianzanalyse signifikante Haupteffekte der Faktoren Verstärkungsänderung ($F(1, 25) = 160.65$, $p < .0001$), Nachtest ($F(2, 50) = 4.60$, $p < .05$) sowie Phase ($F(1, 25) = 219.44$, $p < .0001$) und die signifikanten Interaktionseffekte von Gruppe x Verstärkungsänderung ($F(1, 25) = 6.49$, $p < .05$), Gruppe x Phase ($F(1, 25) = 4.46$, $p < .05$), Verstärkungsänderung x Phase ($F(1, 25) = 239.90$, $p < .0001$) und Nachtest x Phase ($F(2, 50) = 3.74$, $p < .05$). Der signifikante Effekt des Faktors Nachtest entstand wahrscheinlich dadurch,

dass in der Bedingung „Nachttest 1/1.2“ die Radien vor und während der Verstärkungsänderung zufällig etwas größer waren als in den anderen beiden Nachttestbedingungen.

6.3.4 Interindividuelle Unterschiede in der Anpassung an die Verstärkungsänderung

Abbildung 6.5 stellt die individuelle Anpassung jeder Versuchsperson der beiden Gruppen während der Verstärkungsänderung dar. Wiederum wurde zur Berechnung der individuellen Anpassung die Veränderung in der Kontrollbedingung von der Anpassung in der Experimentalbedingung abgezogen. Während die mittlere individuelle Anpassung in der Gruppe „Explizites Wissen“ -13.5% betrug (SD 3.8%), lag sie in der Gruppe „Kein explizites Wissen“ bei -8.3% (SD 2.6%). Zwar variierte die individuelle Anpassung an die Verstärkungsänderung in der Gruppe „Explizites Wissen“ stärker als in der Gruppe „Kein explizites Wissen“. Allerdings waren in diesem Experiment die Unterschiede in der Streuung nicht so groß wie in den vorherigen Experimenten.

Wie bereits in den vorherigen Experimenten beschrieben unterschieden sich die prozentualen individuellen Anpassungen leicht von den Prozentwerten der gemittelten Anpassung (siehe Abschnitt 6.3.3). Die gemittelte Anpassung lag in der Gruppe „Explizites Wissen“ bei -12.7% , in der Gruppe „Kein explizites Wissen“ bei -8.2% .

6.3.5 Analyse der Nacheffekte

Zur Analyse möglicher Nacheffekte wurden die Radien der gezeichneten Kreise in der Nachttestphase für jede Bedingung in jedem Block berechnet. Wie Abbildung 6.6 zeigt, waren diese Radien in den Durchgängen mit Verstärkungsänderung beider Gruppen in allen drei Nachttestbedingungen kleiner als die entsprechenden Radien der Kontrollbedingungen. Tabelle 6.2 fasst die Mittelwerte und Standardabweichungen sowohl der Radien der gezeichneten Kreise im Nachttest in der Gesamtstichprobe als auch in der Stichprobe ohne die eine Versuchsperson,

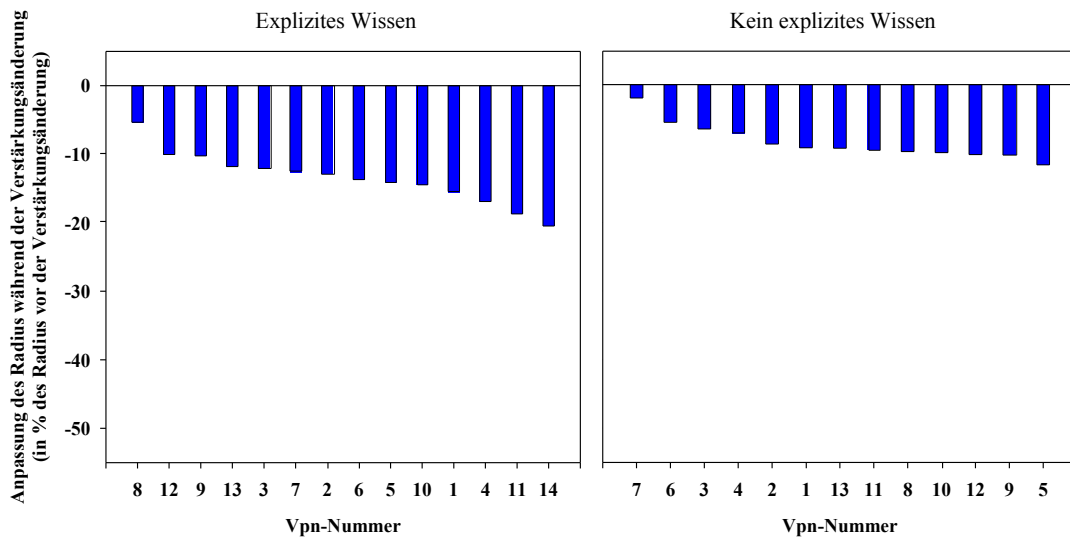


Abbildung 6.5: Individuelle Anpassung des Radius während der Verstärkungsänderung der Versuchspersonen der Gruppen „Explizites Wissen“ (links) und „Kein explizites Wissen“ (rechts) in Prozent (bezogen auf die Radien vor der Verstärkungsänderung) für die Experimentalbedingung.

die die Verstärkungsänderung bemerkt hatte, zusammen. In der Gruppe „Explizites Wissen“ waren die Radien der Kreise im Nachttest in der Experimentalbedingung um $\Delta r_{Diff} = -0.13$ cm (Nachttest 1.2), $\Delta r_{Diff} = -0.18$ cm (Nachttest 1) und $\Delta r_{Diff} = -0.10$ cm (Nachttest 1/1.2) kleiner als in der Kontrollbedingung. In der Gruppe „Kein explizites Wissen“ waren die Radien im Nachttest in der Experimentalbedingung $\Delta r_{Diff} = -0.20$ cm (Nachttest 1.2), $\Delta r_{Diff} = -0.10$ cm (Nachttest 1) und $\Delta r_{Diff} = -0.08$ cm (Nachttest 1/1.2) kleiner als die Radien der Kontrollbedingung.

In der Varianzanalyse zeigte sich ein signifikanter Haupteffekt des Faktors Verstärkungsänderung ($F(1, 25) = 40.64, p < .0001$) und kein signifikanter Interaktionseffekt Gruppe x Verstärkungsänderung ($F(1, 25) = .30, p > .20$). Die Gruppen unterschieden sich in keiner Nachttestbedingung in der Differenz zwischen Kontroll- und Experimentalbedingung.

Die Datenanalyse zeigte weiterhin einen signifikanten Haupteffekt des Faktors „Nachttest“, $F(2, 50) = 25.69, p < .0001, \epsilon = .66$, der sich darin äußerte, dass die Radien im Nachttest mit dem größten Vorgabekreis am größten waren, während sie im Nachttest mit dem kleinsten Vorgabekreis am kleinsten war.

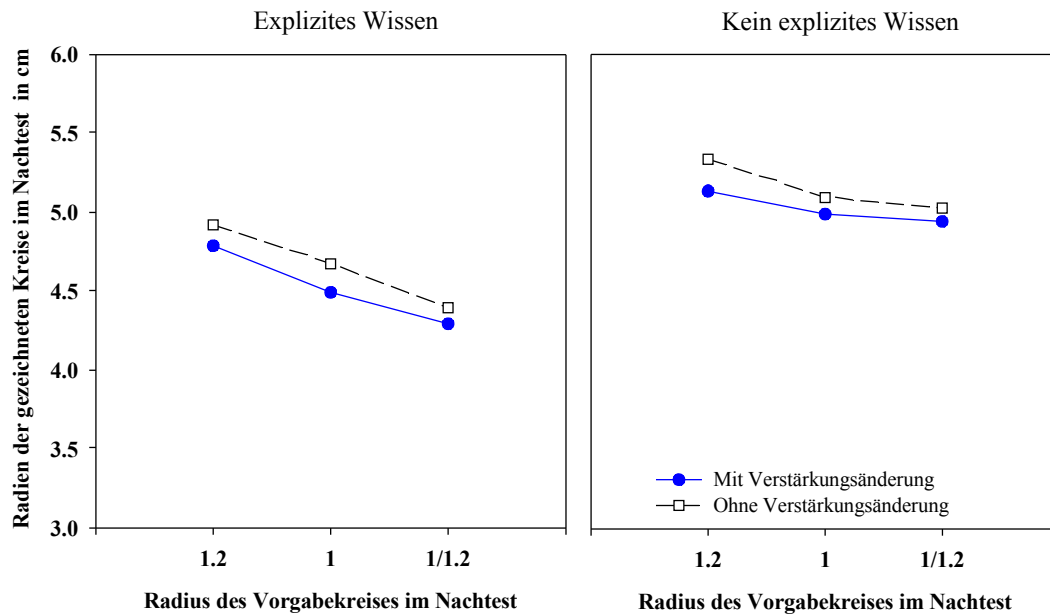


Abbildung 6.6: Ergebnisse der Analyse der Radien der in der Nachttestphase gezeichneten Kreise in cm. Die Radien in der Nachttestphase sind dargestellt für die Gruppe „Explizites Wissen“ (linke Seite) und „Kein explizites Wissen“ (rechte Seite) für die Experimentalbedingung („Mit Verstärkungsänderung“) und Kontrollbedingung („Ohne Verstärkungsänderung“) in den drei Nachttestbedingungen.

Tabelle 6.2: Mittelwerte und Standardabweichungen (in Klammern) der Radien der gezeichneten Kreise im Nachttest für die Gruppen „Explizites Wissen“ (EW), „Kein explizites Wissen, gesamt“ (KEWg) sowie „Kein explizites Wissen, ohne Bemerkungen der Verstärkungsänderung“ (KEWo) in drei Nachttestbedingungen für Experimental- und Kontrollbedingung in cm.

Bedingung	Gruppe	Nachttest 1.2	Nachttest 1	Nachttest 1/1.2
Experimentalbedingung	EW	4.79 (1.57)	4.49 (1.53)	4.29 (1.46)
	KEWg	5.14 (1.66)	4.99 (1.48)	4.95 (1.77)
	KEWo	5.10 (1.70)	4.97 (1.52)	4.91 (1.84)
Kontrollbedingung	EW	4.92 (1.53)	4.67 (1.61)	4.40 (1.42)
	KEWg	5.34 (1.69)	5.10 (1.62)	5.03 (1.66)
	KEWo	5.26 (1.66)	5.06 (1.66)	5.00 (1.70)

6.4 Diskussion

In diesem Experiment sollte geklärt werden, ob die in den vorherigen Experimenten untersuchte Anpassung der Bewegung während der Verstärkungsänderung nur

eine akute Anpassung an die Verstärkungsänderung darstellt, oder ob die veränderte visumotorische Beziehungen über die Zeit der akuten Verstärkungsänderung hinaus bestehen bleibt. Während es bei einer akuten Anpassung keine Unterschiede in den Radien der gezeichneten Kreise von Experimental- und Kontrollbedingung in einem Nachtest geben sollte, müsste sich ein Nacheffekt bzw. eine überdauernde Veränderung der visumotorischen Transformation in unterschiedlich großen Radien der gezeichneten Kreise im Nachtest äußern. Dabei sollten die Nachtestkreise nach Durchgängen mit Verstärkungsänderung kleiner sein als nach Kontrolldurchgängen. Die Ergebnisse dieses Experiments deuten darauf hin, dass die Verstärkungsänderung tatsächlich die akute Anpassungsphase überdauert, wenn auch diese überdauernde Anpassung gering ist. Demzufolge scheint die neue visumotorische Transformation von den Versuchspersonen gelernt worden zu sein. Dementsprechend wurde das innere Modell der Transformation modifiziert. Ein interessanter Befund ist, dass sich die Gruppen trotz unterschiedlich starker Anpassung an die Verstärkungsänderung in der Größe der gefundenen Nacheffekte nicht unterschieden. Dies deutet darauf hin, dass die Wirkmechanismen, die zu einer überdauernden Veränderung der visumotorischen Transformation führen, in beiden Gruppen gleich starken Einfluss hatten. Die Vermutung liegt nahe, dass die inzidentelle Komponente der Anpassung zu diesen gleich starken Nacheffekten in beiden Gruppe geführt hatte, während die intentionale Anpassung in der über das Auftreten der Verstärkungsänderung informierten Gruppe tatsächlich nur zu einer akuten Anpassung an die Verstärkungsänderung führte, ohne dauerhafte Veränderungen zu erzeugen. Ähnliche Befunde wurden auch beim motorischen Sequenzlernen gezeigt. Willingham und Goedert-Eschmann (1999) fanden, dass das Ausmaß impliziter Lerneffekte zwischen einer über das Auftreten einer Sequenz informierten und einer darüber nicht informierten Gruppe von Versuchspersonen gleich groß war. Im Nachtest zeigte sich kein Einfluss des expliziten Wissens auf die impliziten Lernprozesse. Auch Willingham, Salidis und Gabrieli (2002) und Song, Howard und Howard (2007) konnten diese gleich starken impliziten Lerneffekte im Nachtest des Sequenzlernens zeigen.

In diesem Experiment konnten die wichtigsten Ergebnisse des ersten Experiments

repliziert werden. Beide Gruppen passten sich an eine Verstärkungsänderung auf 1.2:1 an, unterschieden sich dabei aber im Ausmaß der Anpassung an die Verstärkungsänderung. In der Gruppe „Explizites Wissen“ wurden die Radian im Mittel stärker an die Verstärkungsänderung angepasst als in der Gruppe „Kein explizites Wissen“. Dabei war das Ausmaß der Anpassung in der Gruppe „Explizites Wissen“ geringer als in der entsprechenden Gruppe des ersten Experiments (siehe 2.3.4). Die Gruppen „Kein explizites Wissen“ ähnelten sich in der Anpassung an die Verstärkungsänderung. Auch in den interindividuellen Anpassung ähnelten sich die nicht informierten Versuchspersonen von Experiment I und V. Hingegen wies die individuelle Anpassung der Gruppe „Explizites Wissen“ in diesem Experiment eine deutlich geringere Streuung auf als in Experiment I.

Die untersuchten Bewegungsanpassungen überdauern die akute Anpassungsphase. Diese überdauernden Bewegungsanpassungen zeigen sich in gleichem Maß sowohl bei über das Auftreten der Verstärkungsänderung informierten als auch bei nicht informierten Versuchspersonen.

7 Experiment VI

7.1 Fragestellung

Einige Fragen konnten in den vorherigen Experimenten noch nicht beantwortet werden. Im letzten Experiment sollen diese Fragen geklärt werden. Zum Einen wurde in keinem der bisher beschriebenen Experimente ein direkter Vergleich der inzidentellen Anpassung von über das prinzipielle Auftreten von Verstärkungsänderungen informierten und nicht informierten Versuchspersonen durchgeführt. Da nicht ausgeschlossen werden kann, dass das Wissen über die Möglichkeit von Verstärkungsänderungen zu einer Veränderung der inzidentellen Anpassung führt, soll dieser Vergleich der inzidentellen Anpassung in diesem Experiment durchgeführt werden.

Zum Anderen war die Dauer der Aufschaltung der Verstärkungsänderung in allen bisherigen Experimenten relativ kurz (Dauer von zwei Standardkreisen). In dieser Zeit passten die Versuchspersonen in den Bedingungen, in denen nur die inzidentelle Anpassung gefordert war, die Radian im Durchschnitt nur um die Hälfte der zur vollständigen Kompensation notwendigen Anpassung der Radian der gezeichneten Kreise an. Bei den Untersuchungen zur Prismenadaptation wurde von Redding und Wallace (1993) postuliert, dass das „realignment“, also das Entfernen der Diskrepanz zwischen visuellen und propriozeptiven Informationen, relativ langsam verläuft. Der Prozess des „realignment“ ist bei der Anpassung an eine Verstärkungsänderung nicht zu erwarten. Dort entspricht dieses „realignment“ eher dem graduelle Erwerb eines inneren Modells der Transformation. Es besteht die Möglichkeit, dass dieser Prozess analog zum „realignment“ der Prismenadaptation auch relativ langsam ablaufen wird und dass eine Verlängerung der Aufschaltung

der Verstärkungsänderung dazu führen könnte, dass die Versuchspersonen die inzidentelle Anpassung noch verstärken. Dies könnte darauf hindeuten, dass die inzidentelle Anpassung ein langsamerer Prozess ist als die intentionale Anpassung. Des Weiteren soll in diesem Experiment untersucht werden, welche Folgen für die Anpassung an die Verstärkungsänderung aus der zeitlichen Trennung des Auftretens der Verstärkungsänderung und der Kennzeichnung der Verstärkungsänderung durch den Farbwechsel des Cursors entstehen. Zu diesem Zweck wurde eine Versuchsbedingung geschaffen, in der die Verstärkungsänderung zunächst aufgeschaltet wurde, ohne dass dies den Versuchspersonen mitgeteilt wurde. Erst nachdem die maximale Verstärkungsänderung für eine bestimmte Zeit aufgeschaltet war, wurde die Farbe des Cursors verändert. Es stellt sich nun die Frage, welchen zusätzlichen Effekt der Farbwechsel auf die Anpassung an die Verstärkungsänderung hat.

Schließlich stellt sich die Frage, ob sich die Anpassung bei einer instruierten Vergrößerung der Kreise von einer Anpassung bei instruierter Verkleinerung der Kreise unterscheidet.

Zusammenfassend sollen in Experiment VI die folgenden Fragen geklärt werden:

1. Unterscheiden sich Versuchspersonen mit und ohne explizitem Wissen über das Auftreten der Verstärkungsänderung in der Größe der inzidentellen Anpassung?
2. Verändert sich die inzidentelle Anpassung an die Verstärkungsänderung, wenn die Zeit zur Anpassung an die Verstärkungsänderung verlängert wird?
3. Wie stark verändert sich die Anpassung an die Verstärkungsänderung, wenn der Farbwechsel die Verstärkungsänderung kennzeichnet, nachdem diese schon aufgeschaltet war?
4. Gibt es Unterschiede in der intentionalen und inzidentellen Bewegungsanpassung bei instruierter Vergrößerung und Verkleinerung der Kreise?

7.2 Methode

7.2.1 Versuchspersonen

Insgesamt 36 rechtshändige normalsichtige oder korrigiert normalsichtige Personen (18 Frauen, 18 Männer) nahmen an diesem Experiment teil, darunter 24 Studenten, vier Schüler, drei Zivildienstleistende und drei Berufstätige. Zwei Personen machten bezüglich ihrer Tätigkeit keine Angaben. Die Versuchspersonen waren zwischen 17 und 29 Jahre alt, bei einem Altersdurchschnitt von 23 Jahren (SD 3.1 Jahre). Alle Versuchspersonen nahmen vor diesem Experiment an einem weiteren Versuch im Institut für Arbeitsphysiologie teil. Für die Bearbeitung beider Versuche erhielten sie 20 Euro oder zwei Versuchspersonenstunden.

Jede Versuchsperson wurde zufällig einer der drei Gruppen „Explizites Wissen, Verstärkungsänderung auf 1.2:1“, „Explizites Wissen, Verstärkungsänderung auf 0.8:1“ oder „Kein explizites Wissen“ zugeordnet. Dabei bestand jede Gruppe aus je sechs Männern und Frauen. Zwischen den Gruppen gab es keine Unterschiede hinsichtlich des Alters ($F(2, 33) = .10, p > .10$).

7.2.2 Apparatur und Aufgabe

Das experimentelle Setting war identisch mit dem der vorherigen Experimente II bis V (siehe 3.2.2).

Wie schon in den vorherigen Experimenten beschrieben, hatten die Versuchspersonen die Aufgabe, Kreise auf eine Digitalisiertablett zu zeichnen, die auf dem Monitor immer gleich groß waren.

7.2.3 Versuchsdurchführung

Die Durchführung des Experiments ähnelte den bereits beschriebenen Experimenten. Die Übungsphase und Instruktionsphase waren dabei für die Gruppen „Explizites Wissen, Verstärkungsänderung auf 1.2:1“ sowie „Kein explizites Wissen“ identisch mit den entsprechenden Phasen aus Experiment I (siehe 2.2.4). Für die Gruppe „Explizites Wissen, Verstärkungsänderung auf 0.8:1“ war die Übungs-

phase ebenfalls identisch mit der von Experiment I. In der Instruktionsphase wurde den Versuchspersonen allerdings anstatt der Verstärkungsänderung auf 1.2:1 eine Verstärkungsänderung auf 0.8:1 beschrieben, mit der Konsequenz, dass die Versuchspersonen bei Verstärkungsänderung größere Kreise auf dem Digitalisieretablett zeichnen mussten, um die Aufgabe zu erfüllen. Wie auch die andere Gruppe mit explizitem Wissen wurden die Versuchspersonen darüber informiert, dass eine Veränderung des Verstärkungsverhältnisses immer durch den Farbwechsel des Cursors von blau nach rot angezeigt werden würde.

Die Testphase wurde gegenüber den vorangegangenen Experimenten modifiziert. Nach der aus den vorherigen Experimenten bekannten Synchronisationsphase wurden in der Fortsetzungsphase zunächst für die Dauer von 1.9 bis 2.9 Standardkreisen in der Phase vor der Verstärkungsänderung Kreise gezeichnet. Im Anschluss daran folgte die Aufschaltungsphase, die wiederum einen Standardkreis lang dauerte. Danach fügte sich der Abschnitt „Während der Verstärkungsänderung 1“, der zwei Standardkreise dauerte, an. Diese Phase entsprach der Phase „Während der Verstärkungsänderung“ der vorangegangenen Experimente. Im Anschluss daran folgte die drei Standardkreise lang andauernde Phase „Während der Verstärkungsänderung 2“, danach die Abschaltung der Verstärkungsänderung (ein Standardkreis lang) und schließlich die Phase nach der Verstärkungsänderung, die 2.1 bis 3.1 Standardkreise lang dauerte. In diesem Experiment gab es zwei Experimentalbedingungen und eine Kontrollbedingung. Diese unterschieden sich im Ablauf nur in den Phasen „Während der Verstärkungsänderung 1“ und „Während der Verstärkungsänderung 2“. In Abbildung 7.1 ist der Ablauf eines Durchgangs in den drei Bedingungen für die Gruppen mit Verstärkungsänderung auf 1.2:1 dargestellt. Für die Gruppe mit der Verstärkungsänderung auf 0.8:1 wurden die Kreise während der Verstärkungsänderung vergrößert. Im Abschnitt 7.2.4 werden die Experimentalbedingungen und die Kontrollbedingung erläutert.

7.2.4 Bedingungen

Jeweils sechs der insgesamt 18 Durchgänge eines Blocks bildeten die Bedingung „Verstärkungsänderung mit verzögertem Farbwechsel“. In den Gruppen „Explizi-

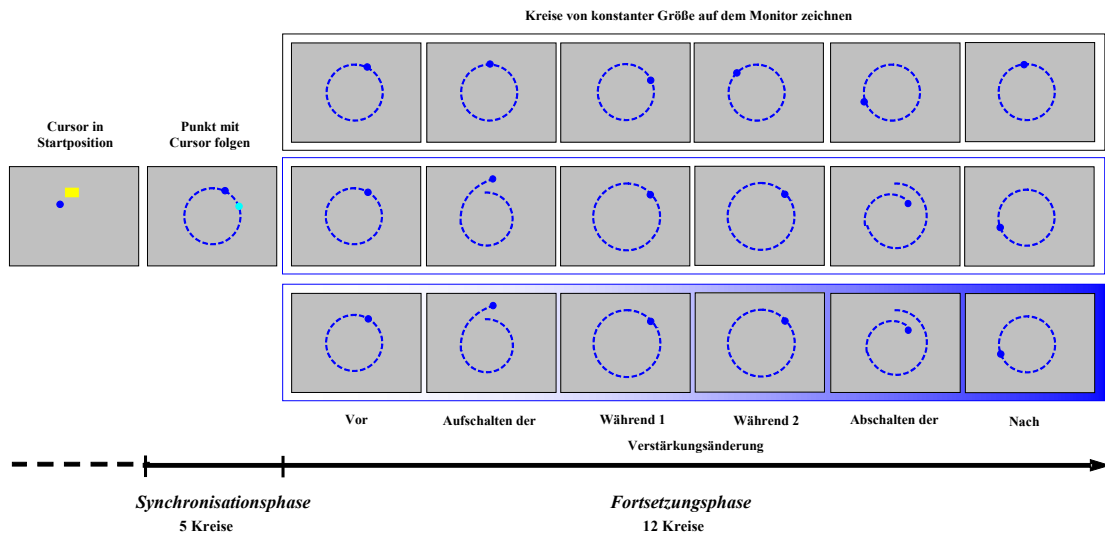


Abbildung 7.1: Ablauf eines Durchgangs in Experiment VI für die Gruppen mit Verstärkungsänderung auf 1.2:1. Die obere Reihe repräsentiert Durchgänge ohne Verstärkungsänderung. Die mittlere Reihe stellt Durchgänge ohne Farbwechsel dar, während in der unteren Reihe Durchgänge mit verzögertem Farbwechsel abgebildet sind. In der Gruppe mit explizitem Wissen wird in der Phase „während 2“ die Verstärkungsänderung durch den Farbwechsel des Cursors angezeigt.

tes Wissen, Verstärkungsänderung auf 1.2:1“ und „Kein explizites Wissen“ wurde das Verstärkungsverhältnis darin auf 1.2:1 verändert; in der Gruppe „Explizites Wissen, Verstärkungsänderung auf 0.8:1“ erfolgte eine Änderung auf 0.8:1. Um die Verstärkungsänderung vollständig zu kompensieren, mussten die Versuchspersonen in dieser Gruppe den Radius der gezeichneten Kreise um den Faktor 1.25 vergrößern (25%). Wie bereits in den vorherigen Experimenten wurde die Verstärkungsänderung zunächst langsam aufgeschaltet. In der Phase „Während der Verstärkungsänderung 1“ wurde die veränderte Verstärkung allerdings nicht durch einen Farbwechsel des Cursors angezeigt. Im Anschluss daran wurde beim Übergang in die Phase „Während der Verstärkungsänderung 2“ in den beiden Gruppen mit explizitem Wissen die veränderte Verstärkung dann durch den Farbwechsel des Cursors von blau nach rot angezeigt. In der Gruppe „Kein explizites Wissen“ wurde die Cursorfarbe in dieser Phase nicht verändert. Damit sind die Phasen „Während der Verstärkungsänderung 1“ und „Während der Verstärkungsänderung 2“ für diese Gruppe identisch.

In weiteren sechs Durchgängen pro Block wurde wiederum das Verstärkungsver-

hältnis in Übereinstimmung mit der in der Instruktion vorgegebenen Anpassungsrichtung (für die beiden Gruppen mit explizitem Wissen) verändert. Diese Durchgänge wurden zur Bedingung „Verstärkungsänderung ohne Farbwechsel“ zusammengefasst. Der einzige Unterschied zur Bedingung „Verstärkungsänderung mit verzögertem Farbwechsel“ war, dass in der Phase „Während der Verstärkungsänderung 2“ die Cursorfarbe nicht verändert wurde, so dass es im Ablauf dieser Bedingung keinen Unterschied zwischen den beiden Gruppen mit explizitem Wissen und der Gruppe ohne explizites Wissen gab. Für die Gruppe „Kein explizites Wissen“ unterschieden sich die beiden Experimentalbedingungen nicht voneinander. Zum direkten Vergleich zwischen den Gruppen wurde trotzdem die Hälfte aller Experimentaldurchgänge als „Verstärkungsänderung mit verzögertem Farbwechsel“ und die andere Hälfte als „Verstärkungsänderung ohne Farbwechsel“ klassifiziert. Dabei wurde wiederum die Kennzeichnung jedes Durchgangs durch den Einsatz der Verstärkungsänderung zur Klassifizierung verwendet.

In einem Drittel der Durchgänge wurde das Verstärkungsverhältnis nicht verändert. Diese Durchgänge wurden in allen Gruppen wiederum zur Kontrollbedingung zusammengefasst. Die Einteilung in die Phasen wurde wie bereits für die vorherigen Experimente beschrieben durchgeführt (siehe 2.2.5).

7.2.5 Versuchsablauf

Die bereits in den vorherigen Experimenten benutzten Fragebogen wurden zu Beginn des Experiments bearbeitet. Anschließend daran erfolgte wieder die Instruktionsphase, bei der beide Gruppen mit explizitem Wissen über das Auftreten der Verstärkungsänderung und deren Kennzeichnung durch den Farbwechsel des Cursors informiert wurden. Die Gruppe „Kein explizites Wissen“ erhielt keine Informationen über das Auftreten der Verstärkungsänderung. Der Farbwechsel des Cursors entfiel.

Nach der Übungsphase und der Testphase wurden die Versuchspersonen aller drei Gruppen vom Versuchsleiter befragt. In den beiden Gruppen mit explizitem Wissen zielte die Nachbefragung darauf ab, herauszufinden, ob die Versuchspersonen zum einen die Durchgänge mit Verstärkungsänderung ohne Farbwechsel und zum

anderen das Auftreten der Verstärkungsänderung, noch bevor die durch den Farbwechsel des Cursors angezeigt wurde, bemerkt hatten. In der Gruppe „Kein explizites Wissen“ wurde in der Nachbefragung das mögliche Entdecken der auftretenden Verstärkungsänderung geklärt. Wie schon in den vorherigen Experimenten wurde in der Befragung mit sehr allgemeinen, offenen Fragen begonnen. Im Anhang B sind die Nachbefragungen für alle drei Gruppen dargestellt.

Die Versuchspersonen bearbeiteten fünf Blöcke mit je 18 Durchgängen. Pro Block und Versuchsperson wurden die jeweils sechs Durchgänge einer Bedingung zufällig dargeboten. Der Einsatz der Verstärkungsänderung wurde zwischen der Dauer von 1.9 und 2.9 Standardkreisen (in 0.2er-Schritten) variiert. Auch hinsichtlich des Einsatzes der Verstärkungsänderung war die Abfolge der Durchgänge zufällig.

7.2.6 Datenanalyse

Die Rohdaten wurden zunächst wie in den vorherigen Experimenten gefiltert und die Radien der gezeichneten Kreise bestimmt (siehe Abschnitt 2.2.7).

Die Kriterien zur Gültigkeit eines Segments wurden von den vorherigen Experimenten übernommen (siehe 2.2.7). Ein Durchgang wurde aus der Analyse ausgeschlossen, wenn entweder vor der Verstärkungsänderung in den ersten zwei gezeichneten Kreisen nicht für jeden der vier Viertelkreise ein gültiger Radius produziert wurde oder wenn in der Phase „Während der Verstärkungsänderung 1“ innerhalb der letzten zwei Kreise dieser Phase nicht mindestens ein Segment jedes Viertelkreises durch einen gültigen Mittelwert repräsentiert war. Ebenfalls wurde ein Durchgang ausgeschlossen, wenn es in der Phase „Während der Verstärkungsänderung 2“ innerhalb der letzten zwei Kreise nicht wenigstens ein gültiges Segment für jeden Viertelkreises gab oder wenn nach der Verstärkungsänderung innerhalb der jeweils letzten zwei Kreise dieser Phase nicht mindestens ein Segment jedes Viertelkreises durch einen gültigen Mittelwert repräsentiert war. Eine Versuchsperson wurde aus der Analyse ausgeschlossen, wenn es in einer Bedingung eines Blocks (Block 1 wurde dabei nicht berücksichtigt) keine gültigen Durchgänge gegeben hatte.

Für alle Versuchspersonen wurden wie schon in den vorherigen Experimenten die

Mittelwerte der Radien der gezeichneten Kreise bestimmt.

Um zu überprüfen, ob sich Versuchspersonen mit und ohne explizitem Wissen im Ausmaß der inzidentellen Anpassung unterscheiden (siehe Fragestellung Punkt 1), wurde als erster Schritt eine 2x4x2x4-Varianzanalyse mit Messwiederholung mit dem zweistufigen Zwischenfaktor Gruppe („Explizites Wissen, Verstärkungsänderung auf 1.2:1“ und „Kein explizites Wissen“) und den Innerhalbfaktoren Block (2 bis 5), Verstärkungsänderung („Verstärkungsänderung ohne Farbwechsel“ und „Keine Verstärkungsänderung“) und Phase (vor Verstärkungsänderung, während Verstärkungsänderung 1, während Verstärkungsänderung 2, nach Verstärkungsänderung) für die abhängige Variable „Radius der gezeichneten Kreise“ berechnet. In dieser Analyse sollte weiterhin überprüft werden, ob sich die inzidentelle Anpassung an die Verstärkungsänderung verändert, wenn die Phase der vollständig aufgeschalteten Verstärkungsänderung verlängert wird. Abbildung 7.2 stellt das Auswertungsdesign dieser ersten Analyse dar.

Sollten sich die Versuchspersonen in der inzidentellen Anpassung unterscheiden, so müsste sich dies in der Varianzanalyse durch eine signifikante Interaktion von Gruppe und Verstärkungsänderung und einem signifikanten Kontrasteffekt zwischen den beiden Gruppen während der beiden Phasen mit Verstärkungsänderung ergeben. Falls sich die Anpassung an die Verstärkungsänderung über die verlängerte Aufschaltung der Verstärkungsänderung verändern sollte (siehe Punkt 2 der Fragestellung), würde dies durch signifikante Kontrasteffekte im Vergleich der Radien von zweiter und dritter Phase angezeigt werden.

Um den Einfluss des Farbwechsels auf die Anpassung an die Verstärkungsänderung zu untersuchen (siehe Punkt 3 der Fragestellung), wurde in einer zweiten Varianzanalyse nur die Daten der Gruppe „Explizites Wissen, Verstärkungsänderung auf 1.2:1“ betrachtet. Eine 4x3x4-Varianzanalyse mit den Innerhalbfaktoren Block (2 bis 5), Verstärkungsänderung („Verstärkungsänderung mit verzögertem Farbwechsel“, „Verstärkungsänderung ohne Farbwechsel“, „Keine Verstärkungsänderung“) und Phase (vor Verstärkungsänderung, während Verstärkungsänderung 1, während Verstärkungsänderung 2, nach Verstärkungsänderung) und der abhängigen Variable „Radius der gezeichneten Kreise“ wurde durchgeführt. Das Auswer-

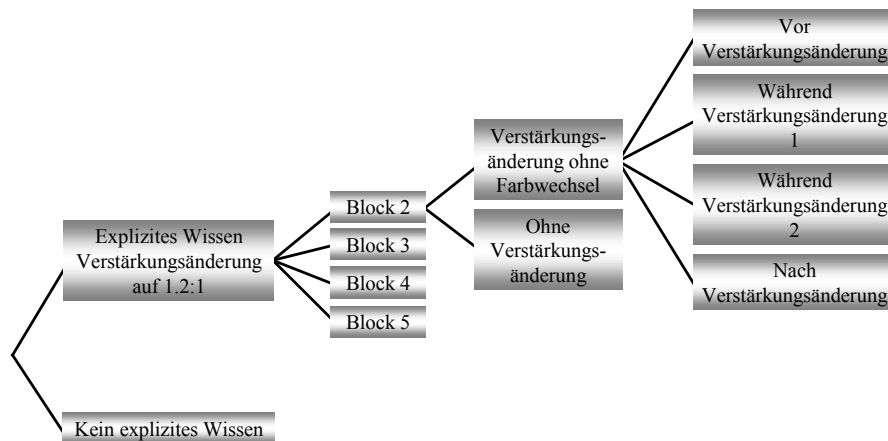


Abbildung 7.2: Design der Varianzanalyse mit Messwiederholung für die erste Analyse in Experiment VI.

tungsdesign dieser zweiten Analyse ist in Abbildung 7.3 dargestellt.

Sollte der verzögerte Farbwechsel einen Einfluss auf die Anpassung an die Verstärkungsänderung haben, so müsste sich in der Varianzanalyse ein signifikanter Interaktionseffekt von Verstärkungsänderung x Phase ergeben. Zusätzlich müssten Kontrastanalysen zeigen, dass sich die Veränderung der Radien von der zweiten zur dritten Phase zwischen der Bedingung „Verstärkungsänderung ohne Farbwechsel“ und „Verstärkungsänderung mit verzögertem Farbwechsel“ signifikant unterscheidet.

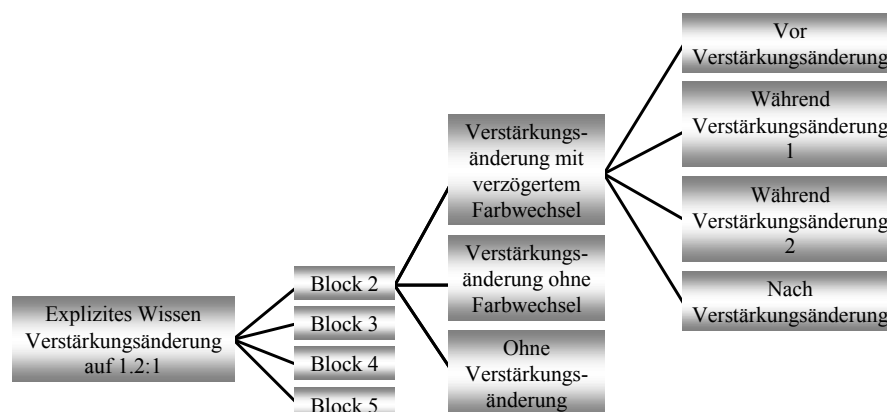


Abbildung 7.3: Design der Varianzanalyse mit Messwiederholung für die zweite Analyse in Experiment VI.

In einer dritten Analyse sollte die Anpassung der Gruppe „Explizites Wissen, Verstärkungsänderung auf 0.8:1“ an die Verstärkungsänderung betrachtet werden. Zu diesem Zweck wurde eine weitere Varianzanalyse mit Messwiederholung berechnet mit den Innerhalbfaktoren Block (2 bis 5), Verstärkungsänderung („Verstärkungsänderung mit verzögertem Farbwechsel“, „Verstärkungsänderung ohne Farbwechsel“, „Keine Verstärkungsänderung“) und Phase (vor Verstärkungsänderung, während Verstärkungsänderung 1, während Verstärkungsänderung 2, nach Verstärkungsänderung) und der abhängigen Variable „Radius der gezeichneten Kreise“. Weiterhin sollte in dieser dritten Analyse auch der Einfluss des Farbwechsels auf die Anpassung an Verstärkungsänderungen überprüft werden, wenn eine Vergrößerung der Kreise instruiert wurde (siehe Punkt 3 der Fragestellung). Auch die zweite Fragestellung, nämlich der Verlauf der Anpassung bei verlängerter Aufschaltung der Verstärkungsänderung, konnte in dieser Analyse nochmals untersucht werden. Abbildung 7.4 fasst das Auswertungsdesign dieser dritten Analyse zusammen.

Eine signifikante Interaktion der Faktoren Verstärkungsänderung und Phase sowie Kontrasteffekte, die signifikante Anpassung in Richtung einer Vergrößerung der gezeichneten Kreise zeigen, wären zu erwarten, wenn die Versuchspersonen sich an eine Verstärkungsänderung auf 0.8:1 anpassen würden.

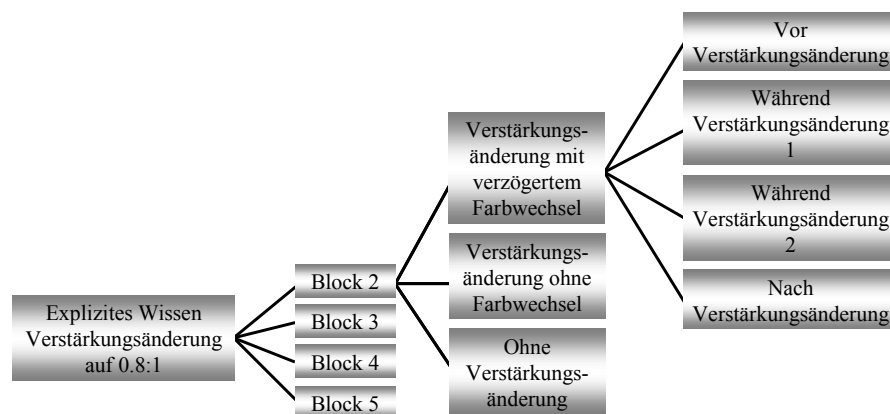


Abbildung 7.4: Design der Varianzanalyse mit Messwiederholung für die dritte Analyse in Experiment VI.

In der letzten Analyse dieses Experiments wurde die vierte Fragestellung bearbeitet. Um zu erfahren, ob die Bewegungsanpassung bei der instruierten Verkleinerung der gezeichneten Kreise von der Anpassung bei der Vergrößerung der Kreise verschieden ist, wurden die Mittelwerte der Radien in den Gruppen „Explizites Wissen, Verstärkungsänderung auf 1.2:1“ und „Explizites Wissen, Verstärkungsänderung auf 0.8:1“ miteinander verglichen. Um die Anpassung beider Gruppen direkt miteinander vergleichen zu können, wurde für jede Versuchsperson das Verhältnis der tatsächlichen Anpassung an die Verstärkungsänderung zur Anpassung bei perfekter Kompensation der Verstärkungsänderung für beide Phasen während der Verstärkungsänderung berechnet. Dabei wurde die Formel 7.1 zur Berechnung dieser relative Anpassung (A_n) in jedem ausgewerteten Block und in allen drei Versuchsbedingungen verwendet. Der maximale (1.2) bzw. minimale (0.8) Verstärkungsfaktor wurde wiederum mit g bezeichnet.

$$\text{Relative Anpassung} = \frac{r_{\text{während}} - r_{\text{vor}}}{\frac{r_{\text{vor}}}{g} - r_{\text{vor}}} \quad (7.1)$$

Um diese Werte der relativen Anpassung von zeitlichen Trends zu bereinigen, wurde von jedem Wert der relativen Anpassung in beiden Experimentalbedingungen der entsprechende Wert der relativen Veränderung in der Kontrollbedingung abgezogen. Für die Datenanalyse sind diese um die Veränderung in der Kontrollbedingung bereinigten relativen Anpassungswerte die abhängige Variable einer 2x4x2x2-Varianzanalyse mit Messwiederholung mit dem Zwischenfaktor Gruppe („Explizites Wissen, Verstärkungsänderung auf 1.2:1“, „Explizites Wissen, Verstärkungsänderung auf 0.8:1“), Block (2 bis 5), Verstärkungsänderung („Verstärkungsänderung mit verzögertem Farbwechsel“, „Verstärkungsänderung ohne Farbwechsel“) sowie Phase (während Verstärkungsänderung 1, während Verstärkungsänderung 2). Abbildung 7.5 stellt das Auswertungsdesign der vierten Analyse dar.

Sollten sich die Versuchspersonen unterschiedlich gut an eine Verstärkungsänderung auf 1.2:1 und 0.8:1 anpassen, so müsste sich dies in der Varianzanalyse durch die signifikante Interaktion der Faktoren Gruppe und Verstärkungsänderung zeigen.

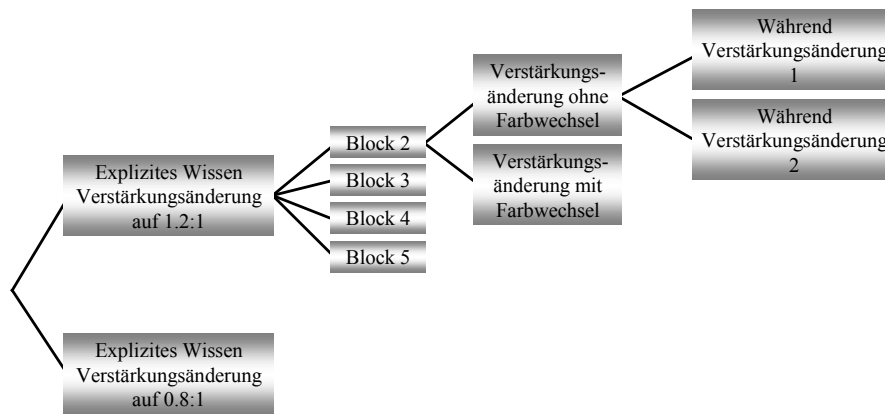


Abbildung 7.5: Design der Varianzanalyse mit Messwiederholung für die vierte Analyse in Experiment VI.

7.3 Ergebnisse

7.3.1 Ausgeschlossene Daten und Bewegungszeiten

Alle Versuchspersonen hatten genügend gültige Durchgänge absolviert und konnten so in die weitere Analyse einbezogen werden. Insgesamt waren 33 aller insgesamt 2592 Durchgänge der Versuchspersonen ungültig (0.1%).

Die Versuchspersonen benötigten zwischen 1.54 und 2.39 s (MW 2.03 s, SD .21 s), um eine Kreis in der Übungsphase zu zeichnen. Die drei Gruppen unterschieden sich nicht in der Dauer eines Kreises ($F(2, 33) = .77, p > .20$).

7.3.2 Ergebnis der Nachbefragung

Tabelle 7.1 stellt dar, wie viele Versuchspersonen aus den drei Gruppen die nicht mit der Instruktion übereinstimmenden Versuchsbedingungen vor und nach der Aufklärung bemerkt hatten bzw. diese nicht bemerkten. Insgesamt sechs Versuchspersonen in Gruppe „Explizites Wissen, Verstärkungsänderung auf 1.2:1“ gaben an, die Verstärkungsänderung mit verzögertem Farbwechsel oder die Verstärkungsänderung ohne Farbwechsel bemerkt zu haben. In der Gruppe „Explizites Wissen, Verstärkungsänderung auf 0.8:1“ gab es vier Versuchspersonen, die diese Bedingungen bemerkt hatten. Drei Versuchspersonen der Gruppe „Kein explizites Wissen“ gaben an, die auftretende Verstärkungsänderung bemerkt zu haben bzw.

dass ihnen während des Versuches etwas „komisch vorgekommen“ sei. Insgesamt 23 Versuchspersonen hatten die mit der Instruktion nicht übereinstimmenden Versuchsbedingungen nicht bemerkt. Im Anschluss an die Darstellung der Analyse der Gesamtstichprobe sollen deshalb kurz die Ergebnisse der Analysen mit dieser eingeschränkten Stichprobe dargestellt werden.

Tabelle 7.1: Anzahl der Versuchspersonen, die vor und nach der Aufklärung über die nicht mit der Instruktion übereinstimmenden Bedingungen (Gruppen „Explizites Wissen“ (EW)) bzw. das Auftreten der Verstärkungsänderung (Gruppe „Kein explizites Wissen“ (KEW)) angaben, diese bemerkt bzw. nicht bemerkt zu haben.

Zeitpunkt	EW, 1.2:1	EW, 0.8:1	KEW
Vor Aufklärung bemerkt	0	2	0
Nach Aufklärung bemerkt	6	2	3
Nach Aufklärung nicht bemerkt	6	8	9

7.3.3 Vergleich der inzidentellen Anpassung mit und ohne explizitem Wissen

In Abbildung 7.6 sind die Mittelwerte der Radien der Gruppen „Explizites Wissen, Verstärkungsänderung auf 1.2:1“ und „Kein explizites Wissen“ in allen vier Phasen der Bedingung „Verstärkungsänderung ohne Farbwechsel“ und der Kontrollbedingung dargestellt.

In der Kontrollbedingung der Gruppe „Explizites Wissen“ wurden die Radien im Verlauf der vier Phasen kontinuierlich kleiner. Die Differenz der Radien von der ersten und vierten Phase betrug hier $\Delta r_{vn} = -.23$ cm. In der Gruppe „Kein explizites Wissen“ war die Verkleinerung der Radien über den Verlauf der vier Phasen weniger stark ausgeprägt ($\Delta r_{vn} = -.04$ cm).

In der Bedingung „Verstärkungsänderung ohne Farbwechsel“ wurden die Radien der gezeichneten Kreise in beiden Gruppen von der ersten zur zweiten Phase verkleinert. In der Gruppe „Explizites Wissen“ betrug die Differenz von der ersten zur zweiten Phase $\Delta r_{vw_1} = -.56$ cm, in der Gruppe ohne explizites Wis-

sen $\Delta r_{vw_1} = -.52$ cm. Während der dritten Phase waren die Radien in beiden Gruppen gegenüber denen während der zweiten Phase weiter verkleinert worden. In der Gruppe „Explizites Wissen“ betrug die Differenz in der zweiten Phase $\Delta r_{w_1w_2} = -.14$ cm, in der Gruppe „Kein explizites Wissen“ $\Delta r_{w_1w_2} = -.08$ cm. Nach der Abschaltung der Verstärkungsänderung wurden die Radien von den Versuchspersonen beider Gruppen gegenüber denen während der Verstärkungsänderung wieder vergrößert („Explizites Wissen“: $\Delta r_{w_2n} = .36$ cm, „Kein explizites Wissen“: $\Delta r_{w_2n} = .42$ cm).

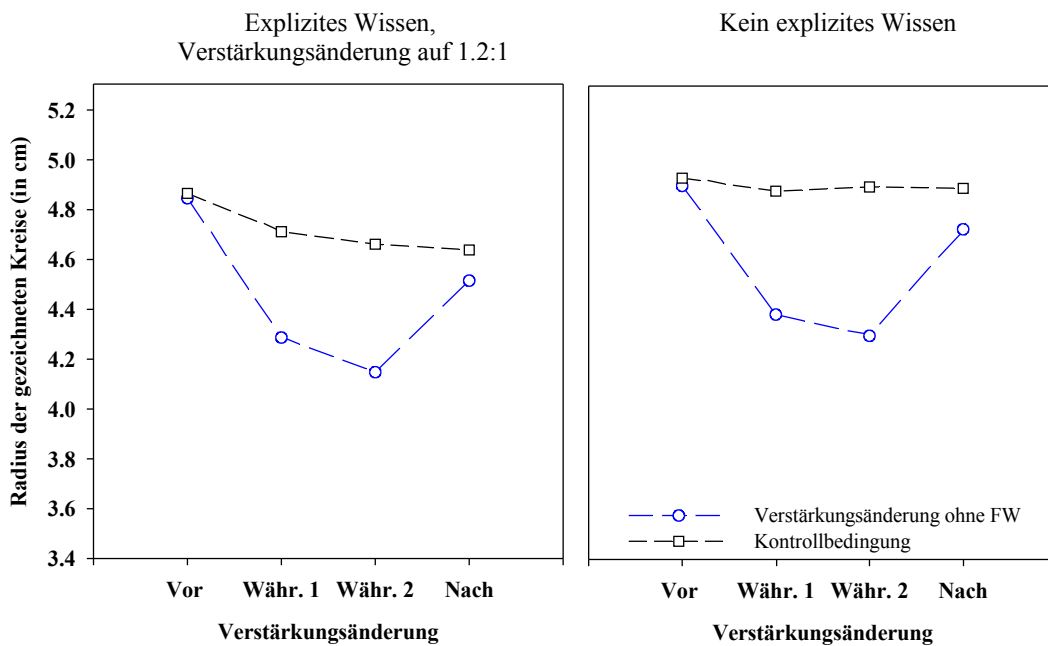


Abbildung 7.6: Ergebnisse der ersten Analyse der Gesamtstichprobe in Experiment VI. Die mittleren Radien der gezeichneten Kreise in cm vor, während (während 1 und während 2) und nach der Verstärkungsänderung sind für die Gruppe „Explizites Wissen, Verstärkungsänderung auf 1.2:1“ (linke Seite) und „Kein explizites Wissen“ (rechte Seite) für die Experimentalbedingung und Kontrollbedingung dargestellt.

In der Varianzanalyse zeigte sich keine signifikante Interaktion von Gruppe und Verstärkungsänderung ($F(1, 22) = 1.69$, $p > .20$). Zum detaillierten Vergleich der Anpassung in beiden Gruppen wurden wiederum Kontrastanalysen berechnet. Dabei zeigte sich in der Kontrollbedingung der Gruppe „Explizites Wissen, Verstärkungsänderung auf 1.2:1“ ein statistisch signifikanter linearer Effekt über den Verlauf der vier Phasen eines Durchgangs ($F(1, 22) = 11.02$, $p < .01$). In der

Gruppe „Kein explizites Wissen“ gab es solch einen Effekt nicht. Beim Vergleich der Verläufe der Kontrollbedingungen in beiden Gruppen ergab sich ein signifikanter Trend ($F(1, 22) = 4.02, p < .06$).

In der Bedingung mit Verstärkungsänderung verkleinerten sowohl die prinzipiell über das Auftreten der Verstärkungsänderung informierten, aber zu diesem Zeitpunkt nicht spezifisch darüber informierten, Versuchspersonen als auch die nicht informierten Versuchspersonen vom Zeitpunkt vor der Verstärkungsänderung zur ersten der beiden Phasen während der Verstärkungsänderung die Radien der von ihnen gezeichneten Kreise in der Experimentalbedingung signifikant stärker als in der Kontrollbedingung („Explizites Wissen“: $F(1, 22) = 117.00, p < .0001$, „Kein explizites Wissen“: $F(1, 22) = 153.13, p < .0001$). Bezogen auf die Kontrollbedingung ergab sich dabei in der Gruppe „Explizites Wissen, Verstärkungsänderung auf 1.2:1“ eine Verkleinerung der Radien um $\Delta r_{EK} = -.42$ cm (-8.7%), während die Radien in der Gruppe „Kein explizites Wissen“ um $\Delta r_{EK} = -.50$ cm (-10.2%) verkleinert wurden. Diese Differenz war zwischen den Gruppen nicht signifikant verschieden, $F(1, 22) = 1.21, p > .20$.

Von der zweiten zur dritten Phase wurden die Radien der gezeichneten Kreise in beiden Gruppen signifikant verkleinert („Explizites Wissen“: $F(1, 22) = 4.48, p < .05$, „Kein explizites Wissen“: $F(1, 22) = 6.07, p < .05$). Die Gruppen unterschieden sich nicht signifikant in dieser Verkleinerung von der zweiten zur dritten Phase ($F(1, 22) = .06, p > .20$). Bezogen auf die Radien der Kontrollbedingung ergab sich für die Gruppe „Explizites Wissen“ in dieser Phase eine Differenz von $\Delta r_{EK} = -.51$ cm. Dies entsprach einer Verkleinerung von -10.6% der Radien gegenüber den Radien vor der Verstärkungsänderung. In der Gruppe „Kein explizites Wissen“ ergab sich zwischen Experimental- und Kontrollbedingung eine Differenz von $\Delta r_{EK} = -.59$ cm (-12.0%). Beide Gruppen unterschieden sich nicht in den Differenzen zwischen Experimental- und Kontrollbedingung ($F(1, 22) = 2.06, p > .10$).

In beiden Gruppen gab es vor der Verstärkungsänderung keine Unterschiede zwischen den Radien von Kontroll- und Experimentalbedingung. Nach der Verstärkungsänderung waren Kontroll- und Experimentalbedingung sowohl in der Grup-

pe „Explizites Wissen, Verstärkungsänderung auf 1.2:1“ ($F(1, 22) = 12.03$, $p < .01$) als auch in der Gruppe „Kein explizites Wissen“ ($F(1, 22) = 21.28$, $p < .001$) signifikant voneinander verschieden. Zwischen den Gruppen gab es diesbezüglich keine Unterschiede. Die Vergrößerung der Kreise von der dritten zur vierten Phase unterschied sich hingegen zwischen den Gruppen nicht signifikant ($F(1, 22) = .70$, $p > .20$).

Weitere signifikante Ergebnisse der Varianzanalyse waren signifikante Haupteffekte der Faktoren Verstärkungsänderung ($F(1, 22) = 222.01$, $p < .0001$) und Phase ($F(3, 66) = 57.80$, $p < .0001$, $\epsilon = .46$) sowie signifikante Interaktionseffekte von Verstärkungsänderung und Phase ($F(3, 66) = 160.05$, $p < .0001$) sowie Gruppe und Phase ($F(3, 66) = 2.81$, $p < .05$).

Neben der Analyse der Gesamtstichprobe wurden auch die Daten der eingeschränkten Stichprobe mit Hilfe einer Varianzanalyse überprüft. In Tabelle 7.2 sind die Mittelwerte und Standardabweichungen der Radien vor, während und nach der Verstärkungsänderung für die Analyse der Gesamtstichprobe (EWg, KEWg) und der eingeschränkten Stichprobe (EWO, KEWO) zusammengefasst.

Im Anhang C sind die signifikanten Ergebnisse der Analyse der eingeschränkten Stichprobe dargestellt. Diese Analyse lieferte dasselbe Ergebnismuster wie die Analyse der Gesamtstichprobe. Auch hier war die Interaktion Gruppe x Verstärkungsänderung nicht signifikant ($F(1, 13) = .11$, $p > .20$).

Die Durchgänge der Bedingung „Verstärkungsänderung mit verzögertem Farbwechsel“ entsprachen in der Gruppe „Kein explizites Wissen“ der Bedingung „Verstärkungsänderung ohne Farbwechsel“. Zum Zweck der Vollständigkeit sollen die Radien dieser Bedingung „Verstärkungsänderung mit verzögertem Farbwechsel“ an dieser Stelle erläutert werden. Vor der Verstärkungsänderung betrug der Radius der gezeichneten Kreise $r = 4.92$ cm (SD .76 cm). Von der ersten zur zweiten Phase wurden die Radien um $\Delta r_{vw_1} = -.48$ cm auf $r = 4.44$ cm (SD .94 cm) verkleinert. Von der zweiten zur dritten Phase ergab sich eine weitere Verkleinerung der Radien um $\Delta r_{w_1w_2} = -.10$ cm auf $r = 4.34$ cm (SD .94 cm). Nach Abschalten der Verstärkungsänderung wurden die Radien um $\Delta r_{w2n} = .41$ cm auf $r = 4.75$

Tabelle 7.2: Mittelwerte und Standardabweichungen (in Klammern) der Radian für die Gruppen „Explizites Wissen, Verstärkungsänderung auf 1.2:1, gesamt“ (EWg), „Kein explizites Wissen, gesamt“ (KEWg) sowie „Explizites Wissen, Verstärkungsänderung auf 1.2:1, ohne Bemerkten der Verstärkungsänderung ohne Farbwechsel“ (EWo) und „Kein explizites Wissen, ohne Bemerkten der Verstärkungsänderung“ (KEWo) in den Phasen vor, während (während 1, während 2) und nach der Verstärkungsänderung für Experimental- und Kontrollbedingung.

Bedingung	Gruppe	Vor	Während 1	Während 2	Nach
Verstärkungsänderung ohne FW	EWg	4.85 (.63)	4.29 (.80)	4.15 (.83)	4.51 (.90)
	EWo	4.86 (.81)	4.28 (.98)	4.14 (.98)	4.49 (1.10)
	KEWg	4.90 (.76)	4.38 (.83)	4.30 (.90)	4.72 (.94)
	KEWo	4.87 (.82)	4.32 (.96)	4.24 (1.02)	4.66 (1.10)
Kontrollbedingung	EWg	4.87 (.59)	4.71 (.80)	4.66 (.80)	4.64 (.87)
	EWo	4.90 (.83)	4.73 (1.03)	4.69 (.91)	4.65 (1.08)
	KEWg	4.93 (.83)	4.88 (.94)	4.89 (1.00)	4.89 (1.00)
	KEWo	4.89 (.88)	4.77 (1.02)	4.79 (1.10)	4.79 (1.16)

cm (SD .97 cm) vergrößert. Der Verlauf der Radian der gezeichneten Kreise über die vier Phasen unterschied sich zwischen der Bedingung „Verstärkungsänderung mit verzögertem Farbwechsel“ und „Verstärkungsänderung ohne Farbwechsel“ in dieser Gruppe nicht signifikant ($F(1, 11) = .84, p > .20$).

7.3.4 Einfluss des Farbwechsels auf die Anpassung an die Verstärkungsänderung

Um den Einfluss des Farbwechsels auf die Anpassung an die Verstärkungsänderung zu untersuchen, wurden in der zweiten Analyse nur die Daten der Gruppe „Explizites Wissen, Verstärkungsänderung auf 1.2:1“ untersucht. In Abbildung 7.7 sind die Radian in den Experimentalbedingungen und der Kontrollbedingung in den vier Phasen jedes Durchgangs für die Versuchspersonen dieser Gruppe dargestellt.

Wie bereits in Abschnitt 7.3.3 beschrieben, wurden die Radian in der Kontrollbedingung über die vier Phasen kontinuierlich kleiner. Auch die Größe der Radian in der Bedingung „Verstärkungsänderung ohne Farbwechsel“ wurden an dieser Stelle

bereits beschrieben.

In der Bedingung „Verstärkungsänderung mit verzögertem Farbwechsel“ wurden die Radien der gezeichneten Kreise von der ersten zur zweiten Phase um $\Delta r_{vw_1} = -.61$ cm verkleinert, während sie in der Bedingung „Verstärkungsänderung ohne Farbwechsel“ um $\Delta r_{vw_1} = -.56$ cm verringert wurden. Von der zweiten zur dritten Phase erfolgte nach dem Auftreten des Farbwechsels eine weitere Verkleinerung der Radien um $\Delta r_{w_1w_2} = -.33$ cm (gegenüber einer Verkleinerung von $\Delta r_{w_1w_2} = -.14$ cm in der Bedingung „Verstärkungsänderung ohne Farbwechsel“). Nach der Verstärkungsänderung wurden die Radien der gezeichneten Kreise um $\Delta r_{w_2n} = .43$ cm vergrößert. In der Bedingung „Verstärkungsänderung ohne Farbwechsel“ betrug diese Vergrößerung $\Delta r_{w_2n} = .36$ cm.

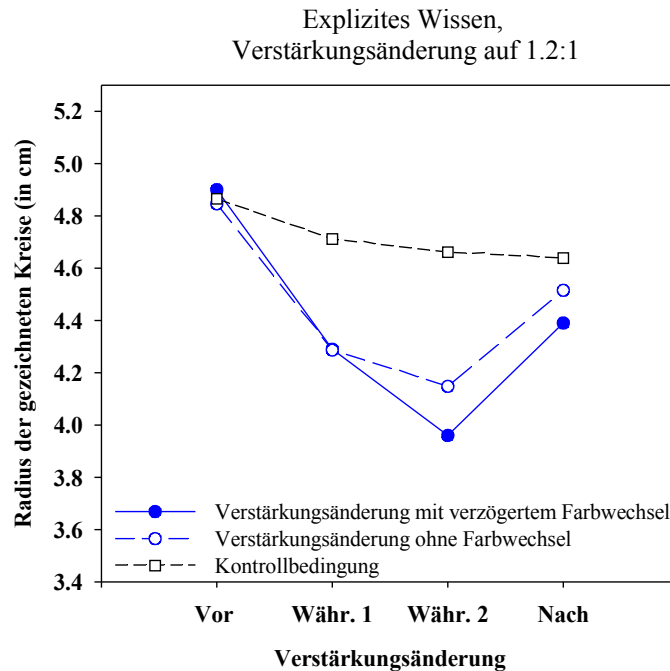


Abbildung 7.7: Ergebnisse der zweiten Analyse in Experiment VI. Die mittleren Radien der gezeichneten Kreise in cm vor, während (zwei Phasen während 1 und während 2) und nach der Verstärkungsänderung sind dargestellt für die Gruppe „Explizites Wissen, Verstärkungsänderung auf 1.2:1“ in den beiden Experimentalbedingungen und der Kontrollbedingung.

Die Varianzanalyse ergab einen signifikanten Interaktionseffekt der beiden Faktoren Verstärkungsänderung und Phase ($F(6, 66) = 34.84, p < .0001$). Wie die Kontrastanalysen zeigten, war die Verkleinerung der Radien der gezeichneten Kreise

von der ersten zur zweiten Phase in den beiden Experimentalbedingungen signifikant verschieden von der Veränderung in der Kontrollbedingung („Explizites Wissen“: $F(1, 11) = 197.87$, $p < .0001$; „Kein explizites Wissen“: $F(1, 11) = 70.74$, $p < .0001$). In beiden Experimentalbedingungen ergab sich zwischen der Kontroll- und Experimentalbedingung eine Differenz von $\Delta r_{EK} = -.42$ cm (-8.6% bei „Verstärkungsänderung mit verzögertem Farbwechsel“; -8.8% bei „Verstärkungsänderung ohne Farbwechsel“).

Während sich die Veränderung von der ersten zur zweiten Phase in den beiden Experimentalbedingungen nicht signifikant unterschied ($F(1, 11) = 1.83$, $p > .20$), gab es von der zweiten zur dritten Phase, in der in einer der beiden Bedingungen der Farbwechsel des Cursors nun die Verstärkungsänderung anzeigte, in der Veränderung der gezeichneten Kreise einen signifikanten Kontrasteffekt ($F(1, 11) = 13.61$, $p < .01$). In der Bedingung „Verstärkungsänderung mit verzögertem Farbwechsel“ wurden die Radien stärker verkleinert (um $\Delta r_{w_1w_2} = -.33$ cm) als in der Bedingung „Verstärkungsänderung ohne Farbwechsel“ ($\Delta r_{w_1w_2} = -.14$ cm). Bezogen auf die Radien der Kontrollbedingungen ergab sich für die Bedingung mit Farbwechsel während der dritten Phase eine Differenz von $\Delta r_{EK} = -.70$ cm (-14.3% der Kreise vor der Verstärkungsänderung). In der Experimentalbedingung ohne Farbwechsel war diese Differenz nur $\Delta r_{EK} = -.51$ cm (-10.6%) groß. Der Unterschied in der Anpassung in beiden Experimentalbedingungen lag bei $\Delta r = -.19$ cm.

Vor der Verstärkungsänderung unterschieden sich die Radien in beiden Experimentalgruppen nicht von denen in der Kontrollbedingung. Nach der Verstärkungsänderung unterschieden sich sowohl die Radien der Bedingung „Verstärkungsänderung mit verzögertem Farbwechsel“ signifikant von denen der Kontrollbedingung ($F(1, 11) = 15.24$, $p < .01$) als auch die der Bedingung „Verstärkungsänderung ohne Farbwechsel“ ($F(1, 11) = 11.17$, $p < .01$). Die Vergrößerung der gezeichneten Kreise von der dritten zur vierten Phase unterschied sich nicht zwischen den Experimentalbedingungen ($F(1, 11) = 1.87$, $p > .10$).

Weitere signifikante Ergebnisse der Varianzanalyse waren Haupteffekte von Verstärkungsänderung ($F(2, 22) = 80.09$, $p < .0001$) und Phase ($F(3, 33) = 57.83$,

$p < .0001$, $\epsilon = .42$).

Neben der Analyse der Gesamtstichprobe wurde auch die eingeschränkte Stichprobe untersucht. In Tabelle 7.3 sind die Mittelwerte und Standardabweichungen der Radien in der Bedingung „Verstärkungsänderung mit verzögertem Farbwechsel“ für die Gruppen „Explizites Wissen, Verstärkungsänderung auf 1.2:1, gesamt“ (EWg) und „Explizites Wissen, Verstärkungsänderung auf 1.2:1, ohne Bemerkungen der Verstärkungsänderung ohne Farbwechsel“ (EWo) dargestellt. Die Radien der Kontrollbedingung sowie der Experimentalbedingung „Verstärkungsänderung ohne Farbwechsel“ wurden bereits in Tabelle 7.2 dargestellt. Die Ergebnisse dieser Analyse unterschieden sich nicht von den für die Gesamtstichprobe geschilderten Ergebnissen. Neben dem signifikanten Interaktionseffekt von Verstärkungsänderung und Phase ($F(6, 30) = 17.04$, $p < .0001$) ergaben sich Haupteffekte von Verstärkungsänderung ($F(2, 10) = 56.78$, $p < .0001$) und Phase ($F(3, 15) = 34.65$, $p < .0001$).

Tabelle 7.3: Mittelwerte und Standardabweichungen (in Klammern) der Radien für die Gruppen „Explizites Wissen, Verstärkungsänderung auf 1.2:1, gesamt“ (EWg), und „Explizites Wissen, Verstärkungsänderung auf 1.2:1, ohne Bemerkungen der Verstärkungsänderung ohne Farbwechsel“ (EWo) in den Phasen vor, während (während 1, während 2) und nach der Verstärkungsänderung für die Experimentalbedingung „Verstärkungsänderung mit verzögertem Farbwechsel“.

Bedingung	Gruppe	Vor	Während 1	Während 2	Nach
VÄ mit verzögertem FW	EWg	4.90 (.59)	4.29 (.73)	3.96 (.94)	4.39 (1.01)
	EWo	4.94 (.76)	4.31 (.83)	3.90 (1.08)	4.34 (1.05)

7.3.5 Die Anpassung der Radien bei instruierter Vergrößerung der gezeichneten Kreise und ihr Vergleich mit der relativen Anpassung bei instruierter Verkleinerung

In diesem Abschnitt soll zunächst die Anpassung der Radien in der Gruppe „Explizites Wissen, Verstärkungsänderung auf 0.8:1“ dargestellt werden. Im Anschluss

daran werden die relativen Anpassungen bei instruierter Vergrößerung und Verkleinerung der gezeichneten Kreise miteinander verglichen.

Abbildung 7.8 stellt die mittleren Radien in allen drei Versuchsbedingungen der Gruppe „Explizites Wissen, Verstärkungsänderung auf 0.8:1“ dar. In der Kontrollbedingung wurden die Radien der gezeichneten Kreise über die vier Phasen hinweg kleiner (von $r = 5.13$ cm vor der Verstärkungsänderung auf $r = 4.96$ cm nach der Verstärkungsänderung).

Von der ersten zur zweiten Phase wurden die Radien beider Experimentalbedingungen um $\Delta r_{vw_1} = .50$ cm vergrößert. Von der zweiten zur dritten Phase erfolgte in beiden Bedingungen eine weitere Vergrößerung der gezeichneten Kreise. In der Bedingung „Verstärkungsänderung ohne Farbwechsel“ lag diese bei $\Delta r_{w_1w_2} = .10$ cm, in der Bedingung „Verstärkungsänderung mit verzögertem Farbwechsel“ bei $\Delta r_{w_1w_2} = .44$ cm. Nach der Verstärkungsänderung wurden die Radien beider Bedingungen auf das Niveau der Kontrollbedingung verkleinert. In der Bedingung „Verstärkungsänderung ohne Farbwechsel“ betrug die Differenz zwischen dritter und vierter Phase dabei $\Delta r_{w_2n} = -.71$ cm, in der Bedingung mit Farbwechsel lag sie bei $\Delta r_{w_2n} = -1.04$.

Die Varianzanalyse ergab einen signifikanten Interaktionseffekt Verstärkungsänderung x Phase ($F(6, 66) = 31.17, p < .0001, \epsilon = .33$). Kontrastanalysen ergaben einen signifikanten linearen negativen Trend in der Größe der Radien über die vier Phasen der Kontrollbedingung ($F(1, 11) = 4.82, p > .20$).

In der Bedingung „Verstärkungsänderung mit verzögertem Farbwechsel“ war die Veränderung der Radien der gezeichneten Kreise von der ersten zur zweiten Phase von der Veränderung der Radien der Kontrollbedingung signifikant verschieden, $F(1, 11) = 99.89, p < .0001$. Die Differenz der Radien zwischen Kontroll- und Experimentalbedingung während der zweiten Phase betrug $\Delta r_{EK} = .68$ cm (13.2%). Von der zweiten zur dritten Phase war die Vergrößerung der Radien der gezeichneten Kreise um $\Delta r = .47$ cm signifikant verschieden von der Veränderung in der Kontrollbedingung ($F(1, 11) = 13.61, p < .01$). Die Differenz zwischen Experimental- und Kontrollbedingung betrug während der dritten Phase $\Delta r_{EK} = 1.15$ cm (22.3%). Vor und nach der Verstärkungsänderung unterschieden

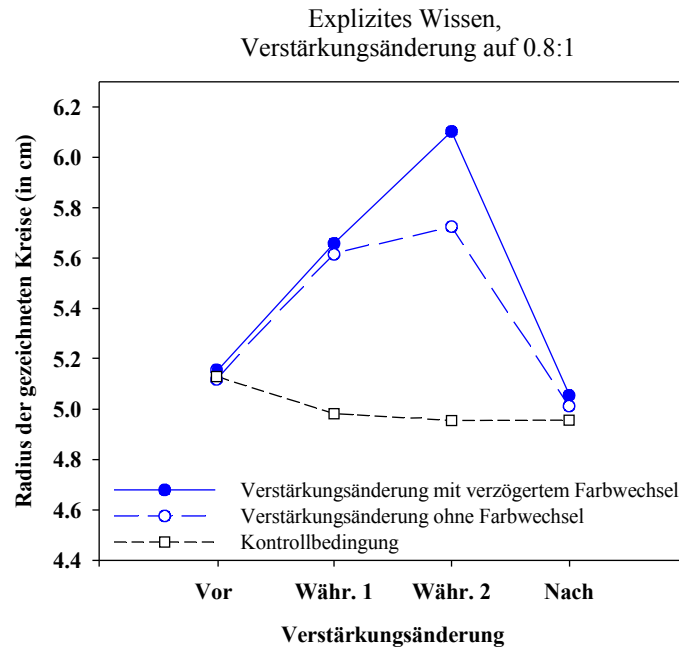


Abbildung 7.8: Ergebnisse der dritten Analyse in Experiment VI. Die mittleren Radien der gezeichneten Kreise in cm vor, während (zwei Phasen während 1 und während 2) und nach der Verstärkungsänderung sind dargestellt für die Gruppe „Explizites Wissen, Verstärkungsänderung auf 0.8:1“ in den beiden Experimentalbedingungen und der Kontrollbedingung.

sich die Radien in Kontroll- und Experimentalbedingung nicht signifikant voneinander.

Auch in der Bedingung „Verstärkungsänderung ohne Farbwechsel“ war die Veränderung der Radien von der ersten zur zweiten Phase signifikant verschieden von der entsprechenden Veränderung in der Kontrollbedingung ($F(1, 11) = 170.83$, $p < .0001$). Die Differenz zwischen Kontroll- und Experimentalbedingung betrug während der zweiten Phase $\Delta r_{EK} = .63$ cm (12.4%). Von der zweiten zur dritten Phase betrug die Veränderung der Radien in dieser Experimentalbedingung $\Delta r = .14$ cm und war wiederum signifikant verschieden von der Veränderung in der Kontrollbedingung, $F(1, 11) = 14.41$, $p < .01$. Die Differenz zwischen Radien von Experimental- und Kontrolldurchgängen betrug während der dritten Phase $\Delta r_{EK} = .77$ cm (15%). Vor und nach der Verstärkungsänderung unterschieden sich die Radien der Experimentalbedingung nicht signifikant von denen der Kontrollbedingung.

Zur Überprüfung des Einflusses des Farbwechsel des Cursors auf die Anpassung an die Verstärkungsänderung wurden die Differenzen der Radien der beiden Experimentalbedingungen von der zweiten zur dritten Phase verglichen. Es ergab sich ein signifikanter Kontrasteffekt ($F(1, 11) = 6.34, p < .05$) zwischen den beiden Bedingungen. Im weiteren Vergleich der Radien beider Experimentalbedingungen zeigte sich, dass sich nur in der zweiten Phase während der Verstärkungsänderung die Radien der gezeichneten Kreise signifikant voneinander unterschieden ($F(1, 11) = 5.87, p < .05$), während es in allen anderen Phasen keine signifikanten Unterschiede zwischen ihnen gab.

Die Varianzanalyse ergab weiterhin signifikante Haupteffekte von Verstärkungsänderung ($F(2, 22) = 48.85, p < .0001, \epsilon = .55$) und Phase ($F(3, 33) = 39.94, p < .0001$).

Die Analyse der eingeschränkten Stichprobe bestätigte die für die Gesamtstichprobe gefundenen Zusammenhänge. Tabelle 7.4 fasst die Mittelwerte und Standardabweichungen der Radien der Gruppen „Explizites Wissen, Verstärkungsänderung auf 0.8:1, gesamt“ und „Explizites Wissen, Verstärkungsänderung auf 0.8:1, ohne Bemerkung der Verstärkungsänderung ohne Farbwechsel“ in allen vier Phasen der beiden Experimentalbedingungen und der Kontrollbedingung zusammen. Beim Vergleich der deskriptiven Daten beider Stichprobe wird deutlich, dass sich diese nur wenig unterschieden. Allein während der dritten Phase vergrößerten die Versuchspersonen der Gruppe „Explizites Wissen“, die die Durchgänge ohne Farbwechsel bzw. das verzögerte Auftreten der Verstärkungsänderung nicht bemerkt hatten, den Radius der gezeichneten Kreise noch stärker als die Versuchspersonen, die diese Bedingungen bemerkt hatte. In der Varianzanalyse zeigte sich erneut der signifikante Interaktionseffekt von Verstärkungsänderung und Phase ($F(6, 42) = 27.21, p < .0001, \epsilon = .31$) und die beiden signifikanten Haupteffekte Verstärkungsänderung ($F(2, 14) = 31.45, p < .001, \epsilon = .53$) und Phase ($F(3, 21) = 25.37, p < .001, \epsilon = .50$).

Im Anschluss an die Darstellung der Radien der gezeichneten Kreise der Gruppe „Explizites Wissen, Verstärkungsänderung auf 0.8:1“ soll nun der Vergleich der relativen Anpassung bei instruierter Vergrößerung und Verkleinerung der ge-

Tabelle 7.4: Mittelwerte und Standardabweichungen (in Klammern) der Radian für die Gruppen „Explizites Wissen, Verstärkungsänderung auf 0.8:1, gesamt“ (EW0.8g) und „Explizites Wissen, Verstärkungsänderung auf 0.8:1, ohne Bemerkungen der Verstärkungsänderung ohne Farbwechsel“ (EW0.8o) in den Phasen vor, während (während 1, während 2) und nach der Verstärkungsänderung für Experimental- und Kontrollbedingung.

Bedingung	Gruppe	Vor	Während 1	Während 2	Nach
VÄ mit verzögertem FW	EW0.8g	5.16 (.69)	5.66 (.76)	6.10 (.95)	5.06 (.87)
	EW0.8o	5.19 (.71)	5.64 (.71)	6.25 (.79)	5.01 (.85)
VÄ ohne FW	EW0.8g	5.12 (.69)	5.62 (.80)	5.72 (.76)	5.01 (.80)
	EW0.8o	5.09 (.65)	5.57 (.82)	5.68 (.79)	5.03 (.71)
Kontrollbedingung	EW0.8g	5.13 (.69)	4.98 (.69)	4.95 (.76)	4.96 (.76)
	EW0.8o	5.11 (.68)	4.94 (.71)	4.91 (.76)	4.94 (.74)

zeichneten Kreise beschrieben werden. Abbildung 7.9 stellt die relative Anpassung beider Gruppen in den beiden Experimentalbedingungen dar. Während die relative Anpassung in der Gruppe „Explizites Wissen, Verstärkungsänderung auf 1.2:1“ in der Bedingung „Verstärkungsänderung mit verzögertem Farbwechsel“ in der ersten Phase während der Verstärkungsänderung (Phase mit Verstärkungsänderung, aber ohne Farbwechsel) bei $An = 0.56$ (SD .28) lag, ergab sich für die andere Gruppe eine relative Anpassung von $An = .51$ (SD .35). Beide Gruppen verstärkten die Anpassung in der zweiten Phase, also wenn der Farbwechsel die bereits aufgeschaltete Verstärkungsänderung dann anzeigte. In der Gruppe „Explizites Wissen, Verstärkungsänderung auf 1.2:1“ war die relative Anpassung dann $An = .91$ (SD .59); die Versuchspersonen der Gruppe „Explizites Wissen, Verstärkungsänderung auf 0.8:1“ erreichten eine relative Anpassung von $An = .88$ (SD .80).

In der Bedingung „Verstärkungsänderung ohne Farbwechsel“ ergab sich in der Gruppe „Explizites Wissen, Verstärkungsänderung auf 1.2:1“ in der ersten Phase während der Verstärkungsänderung eine relative Anpassung von $An = .51$ (SD .42), die während der zweiten Phase auf $An = .62$ (SD .59) erhöht wurde. In der

Gruppe „Explizites Wissen, Verstärkungsänderung auf 0.8:1“ ergaben sich relative Anpassungswerte von $An = .50$ (SD .28) und $An = .61$ (SD .24).

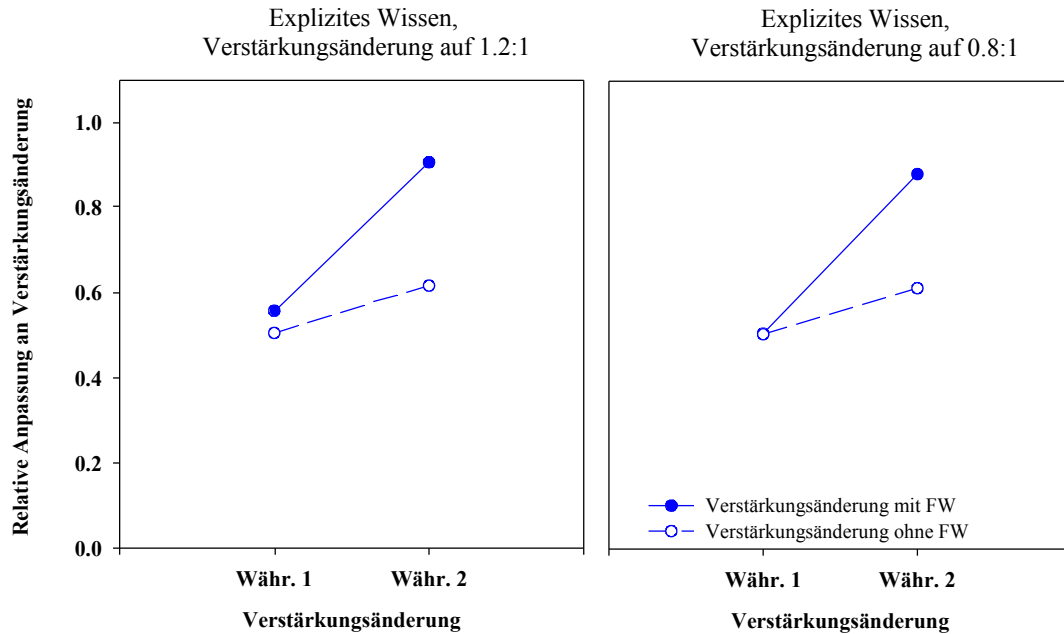


Abbildung 7.9: Ergebnisse der vierten Analyse der Gesamtstichprobe in Experiment VI. Die relative Anpassung der Radien an die Verstärkungsänderung bezogen auf die perfekte Bewegungsanpassung ist dargestellt für die beiden Phasen während der Verstärkungsänderung (während 1, während 2) für die Gruppe „Explizites Wissen, Verstärkungsänderung auf 1.2:1“ (linke Seite) und „Explizites Wissen, Verstärkungsänderung auf 0.8:1“ (rechte Seite) für die beiden Experimentalbedingungen. Die relative Veränderung in der Kontrollbedingung wurde von den relativen Veränderungen der Experimentalbedingungen abgezogen.

Die Varianzanalyse zeigte keinen signifikanten Interaktionseffekt Gruppe x Verstärkungsänderung x Phase ($F(1, 22) = .05, p > .20$). Hingegen ergaben sich signifikante Haupteffekte von Verstärkungsänderung ($F(1, 22) = 14.42, p < .001$) und Phase ($F(1, 22) = 27.72, p < .0001$) sowie ein signifikanter Interaktionseffekt Verstärkungsänderung x Phase ($F(1, 22) = 16.44, p < .001$).

Die Analyse der Daten der eingeschränkten Stichprobe bestätigte die für die Gesamtstichprobe gefundene nicht signifikante Interaktion von Gruppe x Verstärkungsänderung x Phase ($F(1, 12) = .15, p > .20$) sowie die signifikanten Haupteffekte von Verstärkungsänderung ($F(1, 12) = 10.37, p < .01$) und Phase ($F(1, 12) = 19.06, p < .001$). In der Bedingung „Verstärkungsänderung mit

verzögertem Farbwechsel“ ergab sich in der Gruppe „Explizites Wissen, Verstärkungsänderung auf 1.2:1“ eine relative Anpassung von $An = .56$ (SD .32) und $An = 1.03$ (SD: .63), während sich in der Gruppe „Explizites Wissen, Verstärkungsänderung auf 0.8:1“ die Werte $An = .49$ (SD .31) und $An = 1.00$ (SD .91) ergaben. In der zweiten Experimentalbedingung war die relative Anpassung in der Gruppe „Explizites Wissen, Verstärkungsänderung auf 1.2:1“ $An = .51$ (SD .56) und $An = .64$ (SD .37); in der Gruppe „Explizites Wissen, Verstärkungsänderung auf 0.8:1“ lag sie bei $An = .52$ (SD .23) und $An = .62$ (SD .17).

7.3.6 Interindividuelle Unterschiede in den Radien der gezeichneten Kreise

In den Abbildungen 7.10 und 7.11 sind die individuellen Anpassungen der Versuchspersonen aller drei Gruppen in den Experimentalbedingungen dargestellt. Die Veränderung in der Kontrollbedingung wurde dafür von der Anpassung in der Experimentalbedingung abgezogen.

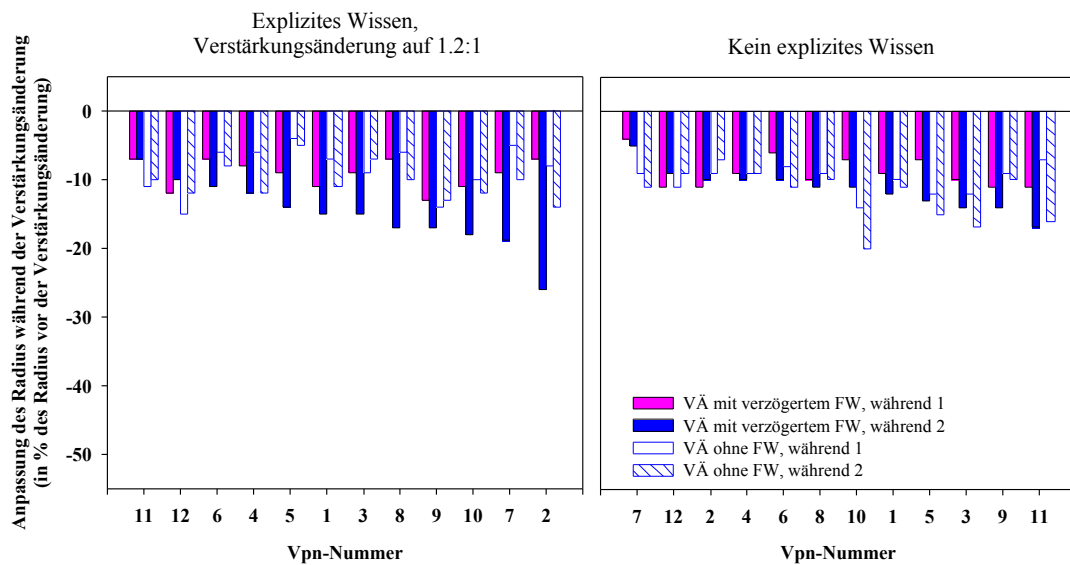


Abbildung 7.10: Individuelle Anpassung des Radius während der Verstärkungsänderung der Versuchspersonen der Gruppen „Explizites Wissen, Verstärkungsänderung auf 1.2:1“ (links) und „Kein explizites Wissen“ (rechts) in Prozent (bezogen auf die Radien vor der Verstärkungsänderung).

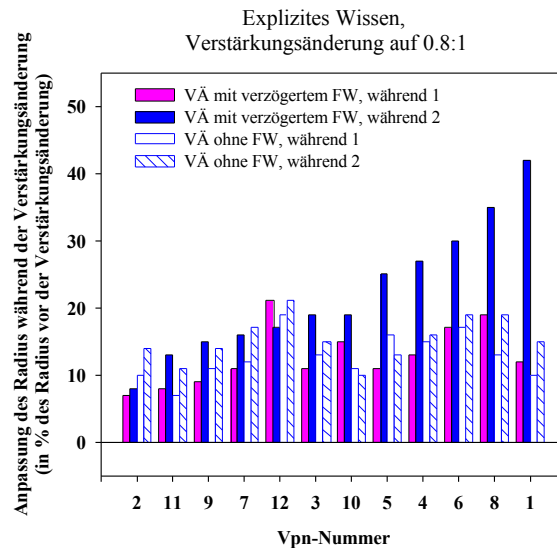


Abbildung 7.11: Individuelle Anpassung des Radius während der Verstärkungsänderung der Versuchspersonen der Gruppen „Explizites Wissen, Verstärkungsänderung auf 0.8:1“ in Prozent (bezogen auf die Radien vor der Verstärkungsänderung).

In der Gruppe „Explizites Wissen, Verstärkungsänderung auf 1.2:1“ ergab sich in der Bedingung „Verstärkungsänderung mit verzögertem Farbwechsel“ eine mittlere individuelle Anpassung von -9.3% (SD 2.2%) in der ersten Phase während der Verstärkungsänderung. In der zweiten Phase während der Verstärkungsänderung lag sie bei -15.1% mit einer deutlich größeren Standardabweichung (SD 4.9%). In der Bedingung „Verstärkungsänderung ohne Farbwechsel“ ergab sich in der ersten Phase eine individuelle Anpassung von -8.4% (SD 3.5%), in der zweiten Phase lag sie bei -10.3% (SD 2.4%).

Die mittlere individuelle Anpassung der Versuchspersonen der Gruppe „Explizites Wissen, Verstärkungsänderung auf 0.8:1“ in der Bedingung „Verstärkungsänderung mit verzögertem Farbwechsel“ lag in der ersten Phase bei 12.7% (SD 4.5%), in der zweiten Phase bei 22.0% (SD 10.0%). Auch hier zeigte sich in der zweiten Phase während der Verstärkungsänderung eine deutlich größere Standardabweichung. In der Bedingung „Verstärkungsänderung ohne Farbwechsel“ lag sie in der ersten Phase bei 12.6% (SD 3.5%) und in der zweiten Phase bei 15.3% (SD 3.2%). In der Gruppe „Kein explizites Wissen“ erfolgte in der ersten Phase während der Verstärkungsänderung in der Bedingung „Verstärkungsänderung mit verzögertem Farbwechsel“ eine Anpassung von -8.9% (SD 2.2%), in der zweiten Phase eine An-

passung von -11.5% (SD 2.9%). Da die Bedingungen „Verstärkungsänderung mit verzörtem Farbwechsel“ und „Verstärkungsänderung ohne Farbwechsel“ für diese Gruppe inhaltlich identisch waren, da nie ein Farbwechsel des Cursors auftrat, sollten die individuellen Anpassungen in der Bedingung „Verstärkungsänderung ohne Farbwechsel“ nicht von denen der Bedingung „Verstärkungsänderung mit verzögertem Farbwechsel“ unterscheiden. Tatsächlich zeigten sich in dieser Bedingung sehr ähnliche Werte der durchschnittlichen individuellen Anpassung. In der ersten Phase lag sie bei -10.0% (SD 2.3%), in der zweiten Phase bei -12.0% (SD 3.9%). Beim Vergleich der Standardabweichungen der individuellen Anpassung der drei Gruppen fiel wiederum auf, dass alle Bedingungen, in denen nur die inzidentelle Anpassung eine Rolle gespielt hatte, sehr ähnliche Werte aufwiesen. Deutlich größere Standardabweichungen zeigten sich nur in den Bedingungen mit verzögertem Farbwechsel der beiden Gruppen mit explizitem Wissen, also in den Durchgängen, in denen der Farbwechsel zu einer intentionalen Verstärkungsänderung aufforderte.

Wiederum unterschieden sich die prozentualen individuellen Anpassungen gering von den Prozentwerten der mittleren Anpassungen. In der Gruppe „Explizites Wissen, Verstärkungsänderung auf 1.2:1“ (siehe Abschnitte 7.3.3 und 7.3.4) lagen die Prozentwerte der mittleren Anpassung in der Bedingung ohne Farbwechsel bei -8.7% (während 1) und -10.6% (während 2) und in der Bedingung mit verzögertem Farbwechsel bei -8.8% (während 1) und -14.3% (während 2). In der Gruppe „Explizites Wissen, Verstärkung auf 0.8:1“ (siehe Abschnitt 7.3.5) betrug die prozentualen mittleren Anpassungen in den Durchgängen ohne Farbwechsel 12.4% (während 1) und 15% (während 2). In der Bedingung mit verzögertem Farbwechsel lagen sie bei 13.2% (während 1) und 22.3% (während 2). Die Gruppe „Kein explizites Wissen“ erreichte in der Bedingung ohne Farbwechsel (siehe Abschnitt 7.3.3) eine prozentuale gemittelte Anpassung von -10.2% (während 1) und -12.0% (während 2). In der Bedingung mit verzögertem Farbwechsel, die in dieser Gruppe nicht verschieden war von der Bedingung ohne Farbwechsel, lag die prozentuale gemittelte Anpassung bei -8.9% (während 1) und -11.6% (während 2).

7.4 Diskussion

Im letzten Experiment dieser Arbeit wurden insgesamt vier Fragestellungen bearbeitet. Zunächst wurde die Frage geklärt, ob sich prinzipiell über das mögliche Auftreten einer Verstärkungsänderung informierte Versuchspersonen von nicht über die Möglichkeit einer Verstärkungsänderung informierten Versuchspersonen in solchen Durchgängen unterscheiden, bei denen eine Verstärkungsänderung auftritt, die aber nicht durch den Farbwechsel angezeigt wird und somit nur eine inzidentelle Anpassung stattfinden kann. Es konnte gezeigt werden, dass es zwischen diesen Gruppen in der inzidentellen Anpassung keine Unterschiede gab. Wissen über das die Möglichkeit des Auftretens einer Verstärkungsänderung an sich scheint also nicht zu einer Veränderung der inzidentellen Anpassung an solch eine Verstärkungsänderung zu führen.

Weiterhin konnte geklärt werden, wie die inzidentelle Bewegungsanpassung weiter verläuft, wenn die Zeit zur Anpassung an die Verstärkungsänderung verlängert wird. Sowohl die Analyse der Gesamtstichprobe als auch die der eingeschränkten Stichprobe zeigten, dass die inzidentelle Anpassung im Verlauf der verlängerten Verstärkungsaufschaltung weiter verstärkt wurde. Auch in der Analyse der Daten der Gruppe „Explizites Wissen, Verstärkungsänderung auf 0.8:1“ wurde diese stärkere Anpassung in der zweiten Phase während der Verstärkungsänderung gefunden.

Die dritte Fragestellung bezog sich auf den Einfluss des Farbwechsels des Cursors als Aufforderung zur intentionalen Bewegungsanpassung, wenn die Verstärkung bereits verändert war. In den Ergebnissen zeigte sich zum einen, dass die Versuchspersonen ihre Bewegungen vor dem Farbwechsel bereits angepasst hatten, dass zum anderen aber durch den Farbwechsel eine weitere Verkleinerung bzw. Vergrößerung der gezeichneten Kreise erreicht wurde.

Als vierte und letzte Frage sollte geklärt werden, ob es Unterschiede zwischen der Anpassung durch Verkleinerung gegenüber der Vergrößerung der gezeichneten Kreise gibt. Die Ergebnisse der Analyse zeigten, dass es keinen Unterschied macht, ob die Versuchspersonen ihre Kreise während der Verstärkungsänderung verkleinern oder vergrößern. Sie passten ihre Bewegungen somit im gleichen Ausmaß an

die Verstärkungsänderung auf 1.2:1 und 0.8:1 an.

Auch in diesem Experiment konnte wiederum gezeigt werden, dass die intentionale Bewegungsanpassung sich durch eine größere interindividuelle Streuung auszeichnet als die inzidentelle Anpassung.

Nach Abschalten der Verstärkungsänderung lagen die Radien in den Bedingungen ohne Farbwechsel näher an den Radien der Kontrollbedingungen als die Radien der Bedingungen mit Farbwechsel. Dieser Befund ist ein weiteres Indiz dafür, dass die intentionale Bewegungsanpassung dazu führt, dass die Repräsentation des Vorgabekreises verzerrt repräsentiert wird.

Die Information über die Möglichkeit einer Verstärkungsänderung hat keinen Einfluss auf die inzidentelle Anpassung daran. Wenn die Versuchspersonen mehr Zeit für die inzidentelle Anpassung haben, dann wird diese weiter verstärkt. Auch wenn eine inzidentelle Anpassung an eine Verstärkungsänderung bereits erfolgt ist, führt das Anzeigen der Verstärkungsänderung zu einer weiteren Anpassung der ausgeführten Bewegungen. Die Anpassung an eine instruierte Vergrößerung und Verkleinerung der gezeichneten Kreise erfolgt im gleichen Ausmaß.

8 Allgemeine Diskussion

8.1 Das Zusammenwirken inzidenteller und intentionaler Anpassung

In dieser Arbeit sollte das Zusammenwirken intentionaler und inzidenteller Prozesse der akuten Anpassung an Veränderungen der visumotorischen Verstärkungsänderung untersucht werden. Die wesentliche Erkenntnis der vorliegenden Arbeit ist, dass intentionale und inzidentelle Anpassungsprozesse additiv zur Bewegungsanpassung beitragen, wenn eine Verstärkungsänderung erfolgt und diese auch angezeigt wird. Aus den Experimenten II und IV wird deutlich, dass die intentionale und inzidentelle Komponente der Bewegungsanpassung unabhängig voneinander wirken und dass beide in unterschiedlichen Anteilen additiv die Gesamtanpassung ergeben. Diese Additivität von intentionaler und inzidenteller Anpassung zeigte sich sowohl, wenn beide Prozesse in die gleiche Richtung wirkten (Experiment II), als auch, wenn sie entgegengesetzt gerichtet waren (Experiment IV). Es ergab sich in keinem Experiment die Situation, dass die inzidentellen Anpassungsprozesse durch die intentionale Anpassung ersetzt worden sind. Auch auf der Ebene der individuellen Anpassung konnte die Additivität beider Komponenten nachgewiesen werden.

Betrachtet man sich im Kontext der Ergebnisse dieser Arbeit die Daten von Mazzoni und Krakauer (2006), so wird deutlich, dass auch in den von ihnen beschriebenen Ergebnissen eine Additivität von expliziten und impliziten Anpassungsprozessen gefunden werden kann. Auch hier war die Größe der Adaptation in der Bedingung, in der sowohl die expliziten als auch die impliziten Anpassungsprozesse aktiviert wurde, genauso groß ist wie die Summe der Adaptation in den

beiden Gruppen mit jeweils nur expliziter oder impliziter Anpassung. Allerdings bezog sich die Untersuchung von Mazzoni und Krakauer auf längerfristige Anpassungsprozesse.

Die Ergebnisse dieser Arbeit deuten darauf hin, dass die Annahme der COBALT-Theorie von Willingham (1998), dass strategische Prozesse während der Ausführung einer Bewegung den Prozess der perzeptuell-motorischen Integration ersetzen, für die in dieser Arbeit untersuchten akuten Anpassungen an Veränderungen der visumotorischen Verstärkung nicht zutrifft. Das Zusammenwirken intentionaler und inzidenteller Anpassung scheint dem Zusammenwirken von „recalibration“ und „realignment“ bei der Prismenadaptation zu entsprechen (Redding & Wallace, 1993). Die inzidentellen Anpassungsprozesse und die strategischen Korrekturen, also die intentionalen Anpassungen, wirken gleichzeitig bei der Anpassung an eine Verstärkungsänderung, wenn diese angezeigt wird. Gegenüber der Annahme des gleichzeitigen Wirkens der beiden Prozesse bei der Prismenadaptation, konnte in dieser Arbeit zusätzlich zum gleichzeitigen Auftreten auch die Additivität intentionaler und inzidenteller Anpassungsprozesse gezeigt werden.

In dieser Arbeit wurde ein signifikanter negativer linearer Zusammenhang zwischen intentionaler und inzidenteller individueller Anpassung gefunden. Dieser Zusammenhang könnte dadurch erklärt werden, dass die Personen, die sich intentional sehr stark anpassen, über eine geringere visumotorische Sensitivität verfügen als diejenigen, die sich nur gering intentional an eine nicht vorhandene Verstärkungsänderung anpassen. Der Begriff der visumotorischen Sensitivität bezieht sich dabei auf das Ausmaß der Wahrnehmung von Veränderungen in der Umwelt und besonders der Wahrnehmung von Veränderung der visumotorischen Kopplung. Werden Veränderungen der visumotorischen Beziehung schlechter wahrgenommen, so bedarf es größerer motorischer Anpassungen, um einen Effekt der eigenen Bewegungsänderungen wahrzunehmen. Die etwas geringere inzidentelle Anpassung bei sehr starker intentionaler Anpassung könnte ebenso durch andere unterschiedlich stark ausgeprägte Fähigkeiten der Versuchspersonen entstanden sein. Die Ursache dieses Zusammenhangs konnte in dieser Arbeit nicht geklärt werden und sollte durch weitere Experimente aufgeklärt werden. Song, Howard und

Howard (2007) fanden solch eine negative lineare Korrelation zwischen expliziten und impliziten Lernmaßen auch beim motorischen Sequenzlernen. Sie vermuteten, dass das Ausmaß, in dem das explizite Wissen genutzt wurde direkten Einfluss auf das Ausmaß der gezeigten impliziten Lerneffekte hat.

Der in dieser Arbeit gefundene negative Zusammenhang zwischen intentionaler und inzidenteller Anpassung hat keine Auswirkungen auf die Additivität beider Komponenten. Selbst bei den Versuchspersonen, die durch eine sehr starke intentionale Anpassung und eine geringere inzidentelle Anpassung auffielen, war die Anpassung in der Bedingung, in der beide Komponenten aktiviert werden sollten, so groß wie die Summe der Anpassungen, wenn jeweils nur die intentionale oder inzidentelle Anpassung gemessen wurde.

8.2 Eigenschaften der inzidentellen Anpassung

In dieser Arbeit konnte ebenfalls gezeigt werden, dass sich Personen an Veränderungen des visumotorischen Verstärkungsverhältnisses anpassen können, ohne sich der Veränderungen der Verstärkung und der eigenen Bewegungen bewusst zu werden. Damit konnten die Ergebnisse von Knoblich und Kircher (2004) bestätigt werden, die unbewusste Bewegungsanpassungen beim Zeichnen von Kreisen unter einer Veränderung der visumotorischen Verstärkung fanden. In allen Experimenten dieser Arbeit passten die Versuchspersonen in den Bedingungen, in denen nur die inzidentelle Anpassungskomponente erfasst werden sollte, ihre Bewegungen im Mittel um die Hälfte des für eine vollständige Kompensation der Verstärkungsänderung notwendigen Ausmaßes an. Die Größe der Anpassung schwankte dabei zwischen den Experimenten nur gering. Auch die interindividuellen Unterschiede in der inzidentellen Bewegungsanpassung waren innerhalb jedes Experimentes und auch im Vergleich der Experimente relativ klein. Die gefundenen inzidentellen Anpassungsprozesse erfüllen die beiden von Logan (1988) als wichtigste Kennzeichen eines nicht-intentional/automatischen Prozesses Kriterien: sie traten zwingend („obligatoriness“) und ohne besondere Bemühungen („effortlessness“) auf. Solche unbewussten, zwingend auftretenden Bewegungskorrekturen wurden

in der Literatur zum Beispiel anhand von einfachen Zielbewegungen mit einer Positionsänderung des Ziels während der Bewegung bereits beschrieben (Bridgeman, Kirsch & Sperling, 1981; Goodale, Pélisson & Prablanc, 1986; Castiello, Paulignan & Jeannerod (1991); Prablanc & Martin, 1992, Day & Lyon, 2000; Pisella et al., 2000). Fournieret und Jeannerod (1998) zeigten diese unbewussten Korrekturen auch bei der Anpassung an visumotorische Transformationsänderungen.

Des Weiteren deuten die Ergebnisse darauf hin, dass sich die inzidentelle Anpassung der Bewegung noch verstärkt, wenn die Versuchspersonen mehr Zeit zur Anpassung an die Verstärkungsänderung bekommen. Dies zeigt wiederum, dass die inzidentelle Anpassung ein relativ langsam ablaufender Prozess ist, der die Kopplung zwischen visuellen und motorischen Informationen kontinuierlich verbessert. Weitere Experimente könnten diesen Befund aufnehmen, um zu klären, ob die durch explizite Instruktion erreichte Verstärkung der Bewegungsanpassung größer ist als die inzidentelle Anpassung, wenn die Versuchspersonen einen längeren Zeitraum zur Anpassung an die Verstärkungsänderung bekommen.

Die geringen interindividuellen Unterschiede und die langsame, kontinuierliche Verbesserung der visumotorischen Kopplung sprechen dafür, dass es sich bei der inzidentellen Bewegungsanpassung tatsächlich um den Erwerb eines inneren Modells der neuen visumotorischen Transformation handeln könnte.

8.3 Eigenschaften der intentionalen Anpassung

In dieser Arbeit wurde auch der Einfluss expliziter Informationen über das Auftreten einer sonst nicht oder kaum bewussten Verstärkungsänderung auf die akute Anpassung der Bewegung an diese Verstärkungsänderung untersucht. In allen Experimenten konnte gezeigt werden, dass dieses explizite Wissen zu einer Verstärkung der Bewegungsanpassung gegenüber der inzidentellen Anpassung führen kann. Diese Verbesserung konnte sowohl bei instruierter Verkleinerung als auch Vergrößerung der gezeichneten Kreise sowie unterschiedlich großen Verstärkungsänderungen gezeigt werden. In Experiment III wurde allerdings auch deutlich, dass die Vermittlung falscher Informationen über die Verstärkungsänderung da-

zu führen kann, dass die Bewegungen in Übereinstimmung mit diesem falschen Wissen entgegengesetzt zur für die Kompensation der Verstärkungsänderung benötigten Richtung angepasst werden. Allerdings zeigte sich in allen Experimenten eine große interindividuelle Varianz im Ausmaß der Bewegungsanpassung bei den über die Verstärkungsänderung informierten Gruppen, so dass eine allgemeine Aussage über die individuelle Nützlichkeit expliziter Information auf Grundlage dieser Arbeit nicht gemacht werden kann. An dieser Stelle könnten weitere Experimente anknüpfen, in denen gezielt Eigenschaften der Versuchspersonen, die durch das explizite Wissen eine sehr gute Anpassung an die Verstärkungsänderung erzielten, mit jenen verglichen werden, die das explizite Wissen scheinbar nur wenig oder nicht nutzten. Auch in Untersuchungen der Prismenadaptation wurden zum Beispiel zu starke strategische Korrekturen gefunden (Redding & Wallace, 1993). Die Autoren vermuteten, dass diese zu starken strategischen Korrekturen dadurch entstehen, dass parallel zur strategischen Korrektur der Prozess des „realignment“ immer weiter voranschreitet und die für die strategischen Korrekturen notwendige Diskrepanz der visuellen und propriozeptiven Informationen dadurch immer kleiner wird. Eine ähnliche Erklärung könnte auch für die zu starke Anpassung einiger über das Auftreten der Verstärkungsänderung informierter Versuchspersonen in der vorliegenden Arbeit gelten.

Im letzten Experiment wurde auch deutlich, dass die durch den Farbwechsel des Cursors ausgelöste intentionale Anpassung auch dann zu einer Verstärkung der Anpassung führt, wenn das Verstärkungsverhältnis bereits seit einer bestimmten Zeit verändert wurde und die Versuchspersonen bereits eine inzidentelle Anpassung an diese Verstärkungsänderung ausgeführt hatten.

8.4 Nachwirkungen akuter Anpassungen der Bewegung

Im fünften Experiment der vorliegenden Arbeit konnte gezeigt werden, dass die in dieser Arbeit betrachteten akuten Bewegungsanpassungen über die Dauer der Verstärkungsänderungen hinaus persistierten. Sogar nach der Ausführung einer

anderen Bewegung als dem Zeichnen der Kreise war die durch die Verstärkungsänderung entstandene neue visumotorische Verstärkung noch aktiv. Dies deutet darauf hin, dass während der ausgeführten Experimente durch die auftretende Verstärkungsänderung das innere Modell der visumotorischen Transformation verändert bzw. ein neues Modell der visumotorischen Transformation erworben wurde, wenn auch die gefundenen Nacheffekte sehr klein waren.

Ein weiterer Befund dieses fünften Experiments war es, dass sich die über das Auftreten der Verstärkungsänderung informierte und die nicht informierte Gruppe nicht in der Größe dieser Nacheffekte unterschieden. Dies deutet darauf hin, dass die intentionale Anpassung keinen Einfluss auf das innere Modell der visumotorischen Verstärkung hatte. Allein die inzidentelle Anpassung führte zu diesen Lerneffekten. Ähnliche Befunde wurden auch beim motorischen Sequenzlernen gezeigt. Willingham und Goedert-Eschmann (1999) fanden, dass das Ausmaß impliziter Lerneffekte zwischen über das Auftreten einer Sequenz informierten und nicht informierten Versuchspersonen gleich groß war. Im Nachtest zeigte sich kein Einfluss des expliziten Wissens auf die impliziten Lernprozesse. Auch Willingham, Salidis und Gabrieli (2002) und Song, Howard und Howard (2007) konnten diese gleich starken impliziten Lerneffekte im Nachtest motorischen Sequenzlernens zeigen. Ebenfalls kann zu einigen Befunden der Prismenadaptationsstudien eine Parallele gezogen werden. In diesen ist auch der Prozess des „realignment“, also der Prozess der Wiederherstellung einer Kongruenz zwischen visuellen und propriozeptiv-motorischen Informationen, allein dafür verantwortlich, dass der Umgang mit der Prismenbrille erlernt wird. Nur durch das „realignment“ entstehen Nacheffekte. Die strategischen Korrekturen tragen nur während der Anpassungsphase zur Anpassung an die prismatische Verschiebung bei. Andererseits gab es eine Reihe von Prismenadaptationsstudien, bei denen starke strategische Korrekturen mit sehr geringen oder fehlenden Nacheffekten verbunden waren (Stratton, 1896; Jacobson & Goodale, 1989; Richter et al. 2002; Michel et al., 2007). Hingegen zeigten Werner und Bock (2007), dass deklaratives bzw. verbalisierbares Wissen über das Auftreten einer visumotorischen Rotation sich in größeren Adaptationseffekten äußert. Diese Befunde können auf die in dieser Arbeit untersuchte akute Bewegungsan-

passung an veränderte visumotorische Verstärkungen nicht übertragen werden. Trotz starker strategischer Korrekturen in der einen Gruppe von Versuchspersonen und dem Fehlen (bzw. nur minimalen Auftreten bei den Versuchspersonen ohne Information, die die Verstärkungsänderungen bemerkt hatten) strategischer Korrekturen in der anderen Gruppe unterschieden sich diese nicht in der Größe der Nacheffekte.

Die Größe der Radien der gezeichneten Kreise, die unmittelbar nach dem Abschalten der Verstärkungsänderung in der Fortsetzungsphase entstanden, wurde durch die akuten Bewegungsanpassungen beeinflusst. Zu diesem Zeitpunkt war der Einfluss der intentionalen und inzidentellen Prozesse auf die gezeichneten Radien noch unterschiedlich. Während die Radien nach einer inzidentellen Anpassung wieder nahezu auf das Niveau der Radien der Kontrollbedingung vergrößert bzw. verkleinert wurden, waren die gezeichneten Kreise nach intentionaler Verkleinerung deutlich kleiner als die der Kontrollbedingung; nach intentionaler Vergrößerung der gezeichneten Kreise waren sie minimal größer als in der Kontrollbedingung. Der direkte Vergleich der Radien nach einer intentionalen und inzidentellen Anpassung (Experiment IV) legt die Vermutung nahe, dass diese nur unzureichende Zurückführung der gezeichneten Kreise auf die ursprüngliche Größe dadurch entstand, dass durch die intentionale Anpassung die Repräsentation der ursprünglichen Kreisgröße verloren ging bzw. verzerrt wurde, und nicht aus der im Allgemeinen stärkeren Veränderung der gezeichneten Kreise bei intentionaler Anpassung. Zur Klärung möglicher Ursachen dieser verzerrten bzw. verlorenen Repräsentation sind weitere Experimente notwendig.

8.5 Verbalisierbares Wissen über inzidentelle

Anpassungsprozesse und Fehlinformationen

In dieser Arbeit wurden die allgemein als explizit und implizit bezeichneten Prozesse im Sinne einer intentionalen bzw. inzidentellen Bewegungsanpassung definiert. Um allerdings auch der Annahme der nicht bewussten impliziten Prozesse zumindest zum Teil Rechnung zu tragen, wurde das verbalisierbare Wissen über

die auftretenden Verstärkungsänderungen oder nicht mit der Instruktion übereinstimmenden Untersuchungsbedingungen erfragt. Die impliziten Anpassungsprozesse wurden generell von weniger Personen bemerkt als die nicht mit der Instruktion übereinstimmenden Untersuchungsbedingungen, in denen der Farbwechsel eine fehlende oder in die entgegengesetzte Richtung wirkende Verstärkungsänderung anzeigte. In allen Experimenten führte das Bemerkten der Verstärkungsänderung zu keiner wesentlichen Veränderung der gefundenen Ergebnisse und der Größe der Anpassung. Somit scheint zumindest auf der Ebene des verbalisierbaren Wissens das Bewusstsein über die auftretenden Verstärkungsänderungen keinen Einfluss auf die inzidentelle Bewegungsanpassung zu haben.

Des weiteren konnte in dieser Arbeit auch gezeigt werden, dass das Wissen über die prinzipielle Möglichkeit des Auftretens einer Verstärkungsänderung die Größe der inzidentellen Anpassung an diese Verstärkungsänderung nicht modifiziert. Auch wenn die Versuchspersonen wußten, dass irgendwann eine Verstärkungsänderung auftreten konnte, so passten sie sich genauso stark daran an wie nicht darüber informierte Versuchspersonen, wenn die Verstärkungsänderung nicht angezeigt wurde.

Beim Vergleich der Anpassung der Versuchspersonen, die die mit der Instruktion nicht übereinstimmenden Untersuchungsbedingungen bemerkt hatten, mit denen, die diese nicht bemerkt hatten, zeigte sich ein Unterschied. Wurden diese mit der Instruktion nicht übereinstimmenden Bedingungen nicht bemerkt, dann war die intentionale Anpassung stärker als bei den Personen, die sie bemerkt hatten. Dieser Befund könnte daraus resultieren, dass die Versuchspersonen, die diese Bedingungen bemerkt hatten, in diesen Durchgängen die Radien der von ihnen gezeichneten Kreise nur noch gering oder gar nicht mehr anpassten.

8.6 Integration der Ergebnisse

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass bei der akuten Anpassung an veränderte visumotorische Verstärkungen ein nicht intentional gesteuerter, inzidenteller Prozess des Erwerbs eines inneren Modells der visumotorischen Transformation

abläuft, der von den meisten Menschen nicht bemerkt wird. Dieser Prozess des Modellerwerbs, der „Autopilot“, läuft relativ langsam ab, verbessert aber im Lauf der Zeit das Modell der visumotorischen Transformation. Er läuft bei allen Personen ungefähr gleich schnell ab und führt zu ungefähr gleich starken Anpassungen mit nur geringer Variation. Werden die ansonsten nicht bemerkten Verstärkungsänderungen angezeigt, so wird dadurch eine intentionale Anpassung an die veränderte visumotorische Verstärkung ausgelöst. Dieser durch die agierende Person willkürlich ausgeführte Prozess (der „Pilot“) führt zu einer sehr schnellen und im Mittel guten Anpassung an die veränderte Verstärkung, wobei er immer von den Fähigkeiten der agierenden Person und dem Nutzen, den die Personen aus der Information ziehen können, abhängig ist und dadurch auch eine deutlich größere Varianz aufweist als die inzidentelle Anpassung. Durch das Auftreten der intentionalen Anpassung wird die inzidentelle Anpassung nicht ersetzt. Bei angezeigter Verstärkungsänderung laufen intentionale und inzidentelle Anpassungsprozesse parallel ab und die durch die beiden einzeln ablaufenden Prozesse entstehende Anpassung addiert sich zur Gesamtanpassung auf. Die inzidentellen Anpassungsprozesse führen dazu, dass das innere Modell der visumotorischen Verstärkung kurzzeitig verändert wird. Intentionale Anpassungen scheinen die Repräsentation der ursprünglichen Kreisgröße zu verändern bzw. zu verzerren.

9 Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurde das Zusammenwirken intentionaler und inzidenteller Prozesse der Anpassung an eine Veränderung der visumotorischen Verstärkung untersucht. Von Interesse waren dabei die kurzfristigen Anpassungen an solche Verstärkungsänderungen, die nur mit einer geringen Wahrscheinlichkeit bemerkt werden. Als inzidentelle Anpassung wurde eine Bewegungsanpassung bezeichnet, die nicht von den Versuchspersonen intendiert war. Intentionale Anpassungen entstanden dann, wenn das Auftreten der Verstärkungsänderung angezeigt wurde und die Versuchspersonen willentlich die von ihnen ausgeführten Bewegungen anpassten.

In sechs Experimenten hatten die Versuchspersonen die Aufgabe, kontinuierlich mit einem Stift auf einem Digitalisieretablett Kreise zu zeichnen. Die momentane Position des Stiftes wurde durch einen Cursor auf einem Monitor repräsentiert. Die Versuchspersonen sollten kontinuierlich Kreise zeichnen, die auf dem Monitor immer gleich groß erschienen. In einigen Durchgängen wurde die visumotorische Verstärkung verändert, so dass die Versuchspersonen die von ihnen gezeichneten Kreise anpassen mussten, um auf dem Monitor immer gleich große Kreise zu produzieren.

In insgesamt vier dieser sechs Experimente wurde die Anpassung an eine veränderte visumotorische Verstärkung von zwei Gruppen von Versuchspersonen miteinander verglichen. Während eine der Gruppen über das Auftreten der Verstärkungsänderung informiert wurde, erhielt die andere Gruppe keine Informationen über die Verstärkungsänderung. In diesen Experimenten konnte wiederholt gezeigt werden, dass die Versuchspersonen der nicht über das Auftreten der Verstärkungsänderung informierten Gruppe die von ihnen gezeichneten Kreise anpassten, wenn

auch das Ausmaß der Anpassung stets geringer war als die für die vollständige Kompensation benötigte Bewegungsanpassung. Diese inzidentelle Anpassung konnte für verschiedene Verstärkungsänderungen gezeigt werden. Wenn die Zeit zur Anpassung verlängert wurde, dann verbesserte sich die inzidentelle Anpassung.

Die informierten Versuchspersonen passten die von ihnen ausgeführten Bewegungen im Mittel gut an die Verstärkungsänderung an, wenn ihnen diese Verstärkungsänderung angezeigt wurde. Wurde diesen informierten Versuchspersonen das Auftreten der Verstärkungsänderung nicht angezeigt, so unterschieden sie sich in der Anpassung nicht von den nicht über das Auftreten der Verstärkungsänderung informierten Versuchspersonen. Erhielten die Versuchspersonen Informationen über die Verstärkungsänderung, die zu der tatsächlich auftretenden Verstärkungsänderung entgegengesetzt waren, führte die starke intentionale Anpassung zu einer Veränderung der gezeichneten Kreise, die der für die Kompensation notwendigen Bewegungsanpassung entgegengesetzt war.

In einem weiteren Experiment konnte gezeigt werden, dass die untersuchten kurzfristigen Veränderungen der visumotorischen Verstärkung zu einer Veränderung des inneren Modells der visumotorischen Transformation, also dem Erlernen der neuen visumotorischen Beziehung führten.

In zwei Experimenten wurde das Zusammenwirken und der separate Einfluss intentionaler und inzidenteller Anpassung auf die Gesamtanpassung untersucht. Die Ergebnisse dieser Experimente zeigten, dass sowohl der intentionale als auch der inzidentelle Anpassungsprozess auftraten, wenn eine Veränderung des visumotorischen Verstärkungsverhältnisses angezeigt wurde. Die Größe der Anpassung unter diesen Bedingungen entsprach der Summe der durch die intentionalen und inzidentellen Prozesse ausgelösten Bewegungsanpassungen.

Aus diesen Ergebnissen kann geschlussfolgert werden, dass intentionale und inzidentelle Anpassungsprozesse an eine Veränderung der visumotorischen Verstärkung parallel ablaufen und additiv zur Entstehung der Gesamtanpassung zusammenwirken. Eine geringe interindividuelle Varianz der inzidentellen Prozesse und relativ große interindividuelle Varianz der intentionalen Prozesse lassen darauf

schließen, dass es sich bei der inzidentellen Anpassung um den Erwerb eines inneren Modells der Transformation handelt, der bei jedem Individuum ähnlich abläuft, während die intentionale Anpassung sehr starken interindividuellen Schwankungen unterliegt.

Literaturverzeichnis

- Abeelee, S. & Bock, O. (2003). Transfer of sensorimotor adaptation between different movement categories. *Experimental Brain Research*, *148*, 128-132.
- Atkison, R. C. & Shiffrin, R. M. (1968). Human memory: A proposed system and its control processes. In K. W. Spence & J. T. Spence (Hrsg.), *The psychology of learning and motivation: Advances in research and theory* (Vol. 2). New York: Academic Press.
- Bedford, F. (1993). Perceptual and cognitive spatial learning. *Journal of Experimental Psychology*, *19*, 517-530.
- Berry, D. C. & Broadbent, D. E. (1988). Interactive tasks and the implicit-explicit distinction. *British Journal of Psychology*, *79*, 251-272.
- Brashers-Krug, T., Shadmehr, R. & Bizzi, E. (1996). Consolidation in human motor memory. *Nature*, *382*, 252-255.
- Bock, O. (1992). Adaptation of aimed arm movements to sensory-motor discordance: Evidence for directionindependent gain control. *Behavioral Brain Research*, *51*, 41-50.
- Bock, O. & Burghoff, M. (1997). Visuo-motor adaptation: evidence for a distributed amplitude control system. *Behavioral Brain Research*, *89*, 267-273.
- Boyd, L. & Winstein, C. J. (2003). Impact of explicit information on implicit motor-sequence learning following middle cerebral artery stroke. *Physical Therapy*, *83*, 976-989.

- Boyd, L. & Winstein, C. J. (2004). Providing explicit information disrupts implicit motor learning after basal ganglia stroke. *Learning & Memory*, *11*, 388-396.
- Bridgeman, B., Kirsch, M. & Sperling, A. (1981). Segregation of cognitive and motor aspects of visual function using induced motion. *Perception and Psychophysics*, *29*, 336-342.
- Buch, E.R., Young, S. & Contreras-Vidal, J.L. (2003). Visuomotor adaptation in normal aging. *Learning & Memory*, *10*, 55-63.
- Castiello, U., Paulignan, Y. & Jeannerod, M. (1991). Temporal dissociation of motor responses and subjective awareness. A study in normal subjects. *Brain*, *114*, 2639-2655.
- Conditt, M. A., Gandolfo, F. & Mussa-Ivaldi, F. A. (1997). The motor system does not learn the dynamics of the arm by rote memoryzation of past experiences. *Journal of Neurophysiology*, *78*, 554-560.
- Cunningham, H. A. & Welch, R. B. (1994). Multiple concurrent visual-motor mappings: implications for models of adaptation. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *20*, 987-999.
- Curran, T. & Keele, S. W. (1993). Attentional and nonattentional forms of sequence learning. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *19*, 189-202.
- Day, B. I. & Lyon, I. N.(2000). Voluntary modification of automativ arm movements evoked by motion of a visual target. *Experimental Brain Research*, *130*, 159-168.
- Dewar, R. (1971). Adaptation to displaced vision: variations on the 'prismatic shaping' technique. *Perception and Psychophysics*, *9*, 155-157.
- Ehrenstein, W. H. & Arnold-Schulz-Gahmen, B. E. (1997). *Auge, Ohr, Hand und Fuß: Bestimmung des individuellen Lateralitätsprofils* (Fragebogen), Dortmund, IfADo.

- Fernández-Ruiz, J., Hall, C., Vergara, P. & Diaz, R. (2000). Prism adaptation on normal aging: Slower adaptation rate and larger aftereffects. *Cognitive Brain Research*, *9*, 223-226.
- Frensch, P. A. (1998). One concept, multiple meanings: on how to define the concept of implicit learning. In M. A. Stadler & P. A. Frensch (Hrsg.), *The Handbook of Implicit Learning* (S. 47-106). Thousand Oaks: Sage.
- Fourneret, P. & Jeannerod, M. (1998). Limited conscious monitoring of motor performance in normal subjects. *Neuropsychologia*, *36*, 1133-1140.
- Gandolfo, F., Mussa-Ivaldi, F. A. & Bizzi, E. (1996). Motor learning by field approximation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *93*, 3843-3846.
- Gharhramani, Z. & Wolpert, D. M. (1997). Modular decomposition in visuomotor learning. *Nature*, *386*, 392-395.
- Goodale, M. A., Pélisson, D. & Prablanc, C. (1986). Large adjustments in visually guided reaching do not depend on vision of the hand or perception of target displacement, *Nature*, *320*, 748-749.
- Heuer, H. (2006). Arbeitsbewegungen und motorische Fertigkeiten. In B. Zimolong & U. Konradt (Hrsg.), *Enzyklopädie der Psychologie: Themenbereich D; Serie III, Band 2: Ingenieurpsychologie* (S. 71-103). Göttingen u.a.: Hogrefe.
- Heuer, H. & Hegele, M. (2008). Adaptation to visuomotor rotations in younger and older adults. *Psychology and Aging*, *in press*.
- Heuer, H. & Jäncke, L. (2005). Psychomotorik. In H. Spada (Hrsg.), *Lehrbuch Allgemeine Psychologie*, (S. 553-614). Bern: Verlag Hans Huber
- Howard, I. P., Anstis, T. & Lucia, H. C. (1974). The relative lability of mobile and stationary components in a visual-motor adaptation task. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *26*, 293-300.
- Ishihara, S. (1999). *Ishihara's Test for Colour Deficiency*. Tokyo: Kanehara & Co.

- Jacobson, L. S. & Goodale, M. A. (1989). Trajectories of reaches to prismatically-displaced targets: evidence for 'automatic' visuomotor recalibration. *Experimental Brain Research*, 78, 575-587.
- Jenkins, J. G. (1933). Instruction as a factor in 'incidental' learning. *American Journal of Psychology*, 45, 471-477.
- Jordan, M. I. (1994): Komputationale Aspekte der Bewegungssteuerung und des motorischen Lernens. In H. Heuer & S. Keele (Hrsg.), *Enzyklopädie der Psychologie. Themenbereich C: Theorie und Forschung. Serie II: Kognition. Band 3: Psychomotorik.* (S. 87-146). Göttingen u.a.: Hogrefe.
- Klassen, J., Tong, C. & Flanagan, J. R. (2005). Learning and recall of incremental kinematic and dynamic sensorimotor transformations. *Experimental Brain Research*, 164, 250-259.
- Knoblich, G. & Kircher, T. T. J. (2004). Deceiving oneself about being in control: conscious detection of changes in visuo-motor coupling. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 30, 657-666.
- Krakauer, J. W., Ghilardi, M. F. & Ghez, C. (1999). Independent learning of internal models for kinematic and dynamic control of reaching. *Nature Neuroscience*, 2, 1026-1031.
- Krakauer, J. W., Pine, Z. M., Ghilardi, M.-F. & Ghez, C. (2000). Learning of visuomotor transformations for vectorial planning of reaching trajectories. *The Journal of Neuroscience*, 20, 8916-8924.
- Logan, G. D. (1988). Toward an instance theory of automatization. *Psychological Review*, 95, 492-527.
- Mazzoni, P. & Krakauer, J. W. (2006). An implicit plan overrides an explicit strategy during visuomotor adaptation. *Journal of Neuroscience*, 26, 3642-3645.
- Michel, C., Pisella, L., Prablanc, C., Rodes, G. & Rossetti, Y. (2007). Enhancing visuomotor adaptation by reducing error signals: single-step

- (aware) versus multiple-step (unaware) exposure to wedge prisms. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 19, 341-350.
- Milner, A. D. & Goodale, M. A. (1995). *The visual brain in action*. New York: Oxford University Press.
- Nielsen, T. I. (1963). Volition: a new experimental approach. *Scandinavian Journal of Psychology*, 4, 225-230.
- Nissen, M. & Bullemer, P. (1987). Attentional requirements of learning: Evidence from performance measures. *Cognitive Psychology*, 19, 1-32.
- Perruchet, P. & Vinter, A. (1998). Learning and development: The implicit knowledge assumption reconsidered. In M. A. Stadler & P. A. Frensch (Hrsg.), *The Handbook of Implicit Learning* (S. 495-531). Thousand Oaks: Sage.
- Pew, R. W. (1974). Levels of analysis in motor control. *Brain Research*, 71, 399-400.
- Pine, Z. M., Krakauer, J. W., Gordon, J. & Ghez, C. (1996). Learning of scaling factors and reference axes for reaching movements. *NeuroReport*, 7, 2357-2361.
- Pisella, L., Gréa, H., Tilikete, C., Vighetto, A., Desmurget, M., Rode, G., Boisson, D. & Rossetti, Y. (2000). An 'automatic pilot' for the hand in human posterior parietal cortex: toward reinterpreting optic ataxia. *Nature Neuroscience*, 3, 729-736.
- Prablanc, C. & Martin, O. (1992). Automatic control during hand reaching at undetected two-dimensional target displacements. *Journal of Neurophysiology*, 67, 455-469.
- Reber, A. S. (1993). *Implicit learning and tacit knowledge: An essay on the cognitive unconscious..* New York: Oxford University Press.
- Redding, G. M. & Wallace, B. (1993). Adaptive coordination and alignment of eye and hand. *Journal of Motor Behavior*, 25, 75-88.

- Redding, G. M. & Wallace, B. (2006). Generalization of prism adaptation. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *32*, 1006-1022.
- Richter, H., Magnusson, S., Imamura, K., Fredrikson, M., Okura, M., Watanabe, Y. et al. (2002). Long-term adaptation to prism-induced inversion of the retinal images. *Experimental Brain Research*, *144*, 445-457.
- Shadmehr, R. & Mussa-Ivaldi, F. A. (1994). Adaptive representation of dynamics during learning of a motor task. *Journal of Neuroscience*, *14*, 3208-3224.
- Shanks, D. R. & St. John, M. F. (1994). Characteristics of dissociable human learning systems. *Behavioral and Brain Sciences*, *17*, 367-447.
- Slachewsky, A., Pillon, B., Fournieret, P., Pradat-Diehl, Jeannerod, M. & Dubois, B. (2001). Preserved adjustment but impaired awareness in a sensory-motor conflict following prefrontal lesions. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *13*, 332-340.
- Song, S., Howard, J. H. & Howard, D. V. (2007). Implicit probabilistic sequence learning is independent of explicit awareness. *Learning & Memory*, *14*, 167-176.
- Stadler, M. A., & Frensch, P. A. (1994). Whither learning, whither memory? *Behavioral and Brain Sciences*, *17*, 423-424.
- Stevens, J. (1996). *Applied Multivariate Statistics for the Social Sciences* (3. Ausgabe). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Stratton, G. (1897). Vision without inversion of the retinal image. *Psychological Review*, *4*, 361-360.
- Tong, C., Wolpert, D. M. & Flanagan, J. R. (2002). Kinematics and dynamics are not represented independently in motor working memory: evidence from an interference study. *Journal of Neuroscience*, *22*, 1108-1113.
- Uhlarik, J. J. (1973). Role of cognitive factors on adaptation to prismatic displacement. *Journal of Experimental Psychology*, *98*, 223-232.

- Ungerleider, L. G. & Mishkin, M. (1982). Two cortical visual systems. In D. J. Ingle, M. A. Goodale & R. J. W. Mansfield (Hrsg.), *Analysis of visual behavior* (S. 549-586). Cambridge, Mass.: MIT Press.
- Verwey, W. B. & Heuer, H. (2007). Nonlinear visuomotor transformations: locus and modularity. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *60*, 1629-1659.
- von Helmholtz, H. (1867). *Handbuch der physiologischen Optik*. Leipzig: Voss.
- Wang, J. & Sainburg, R. L. (2005). Adaptation to visuomotor rotations remaps movement vectors, not final positions. *Journal of Neuroscience*, *25*, 4024-4030.
- Werner, S. & Bock, O. (2007). Effects of variable practice and declarative knowledge on sensorimotor adaptation to rotated visual feedback. *Experimental Brain Research*, *178*, 554-559.
- Weiner, M. J., Hallett, M. & Funkenstein, H. H. (1983). Adaptation to lateral displacement of vision in patients with lesions of the central nervous system. *Neurology*, *33*, 766-772.
- Willingham, D. B. (1998). A neuropsychological theory of motor skill learning. *Psychological Review*, *105*, 558-584.
- Willingham, D. B. & Goedert-Eschmann, K. (1999). The relation between implicit and explicit learning: Evidence for parallel development. *Psychological Science*, *10*, 531-534.
- Willingham, D. B., Nissen, M. & Bullemer, P. (1989). On the development of procedural knowledge. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *15*, 1047-1060.
- Willingham, D. B., Salidis, J. & Gabrieli, J. D. E. (2002). Direct comparison of neural systems mediating conscious and unconscious skill learning. *Journal of Neurophysiology*, *88*, 1451-1460.
- Wolpert, D. M., & Kawato, M. (1998). Multiple paired forward and inverse models for motor control. *Neural Networks*, *11*, 1317-1329.

Tabellenverzeichnis

2.1	Mittelwerte und Standardabweichungen (in Klammern) der Radian für die Gruppen „Explizites Wissen“ (EW), „Kein explizites Wissen, gesamt“ (KEWg) sowie „Kein explizites Wissen, ohne Bemerkungen der Verstärkungsänderung“ (KEWo) in den Phasen vor, während und nach der Verstärkungsänderung für Experimental- und Kontrollbedingung.	45
3.1	Anzahl der Versuchspersonen, die vor und nach der Aufklärung über die nicht mit der Instruktion übereinstimmenden Bedingungen angaben, diese bemerkt bzw. nicht bemerkt zu haben.	57
3.2	Mittelwerte und Standardabweichungen (in Klammern) der Radian für die Gruppen „Gesamtstichprobe“ (G) und „Versuchspersonen ohne Wissen über die mit der Instruktion nicht übereinstimmenden Bedingungen“ (O) in den Phasen vor, während und nach der Verstärkungsänderung für alle vier Bedingungen.	62
4.1	Anzahl der Versuchspersonen, die vor und nach der Aufklärung über die nicht mit der Instruktion übereinstimmenden Bedingungen (Gruppe „Explizites Wissen“) bzw. das Auftreten der Verstärkungsänderung (Gruppe „Kein explizites Wissen“) angaben, diese bemerkt bzw. nicht bemerkt zu haben.	74

4.2	Mittelwerte und Standardabweichungen (in Klammern) der Radien für die Gruppen „Explizites Wissen, gesamt“ (EWg), „Explizites Wissen, ohne Wissen über über mit der Instruktion inkonsistente Bedingung“ (EWo), „Kein explizites Wissen, gesamt“ (KEWg) sowie „Kein explizites Wissen, ohne Bemerken der Verstärkungsänderung“ (KEWo) in den Phasen vor, während und nach der Verstärkungsänderung für die drei Bedingungen von Experiment III.	79
5.1	Anzahl der Versuchspersonen, die vor und nach der Aufklärung über die nicht mit der Instruktion übereinstimmenden Bedingungen angaben, diese bemerkt bzw. nicht bemerkt zu haben.	89
5.2	Mittelwerte und Standardabweichungen (in Klammern) der Radien für die Gesamtstichprobe (G) und die Versuchspersonen, die die mit der Instruktion nicht übereinstimmenden Bedingungen nicht bemerkt hatten (O) in den Phasen vor, während und nach der Verstärkungsänderung für die sechs Bedingungen des vierten Experiments.	93
6.1	Mittelwerte und Standardabweichungen (in Klammern) der Radien für die Gruppen „Explizites Wissen“ (EW), „Kein explizites Wissen, gesamt“ (KEWg) sowie „Kein explizites Wissen, ohne Bemerken der Verstärkungsänderung“ (KEWo) in den Phasen vor und während der Verstärkungsänderung für Experimental- und Kontrollbedingung.	109
6.2	Mittelwerte und Standardabweichungen (in Klammern) der Radien der gezeichneten Kreise im Nachtest für die Gruppen „Explizites Wissen“ (EW), „Kein explizites Wissen, gesamt“ (KEWg) sowie „Kein explizites Wissen, ohne Bemerken der Verstärkungsänderung“ (KEWo) in drei Nachtestbedingungen für Experimental- und Kontrollbedingung in cm.	113

7.1	Anzahl der Versuchspersonen, die vor und nach der Aufklärung über die nicht mit der Instruktion übereinstimmenden Bedingungen (Gruppen „Explizites Wissen“ (EW)) bzw. das Auftreten der Verstärkungsänderung (Gruppe „Kein explizites Wissen“ (KEW)) angaben, diese bemerkt bzw. nicht bemerkt zu haben.	128
7.2	Mittelwerte und Standardabweichungen (in Klammern) der Radien für die Gruppen „Explizites Wissen, Verstärkungsänderung auf 1.2:1, gesamt“ (EWg), „Kein explizites Wissen, gesamt“ (KEWg) sowie „Explizites Wissen, Verstärkungsänderung auf 1.2:1, ohne Bemerkten der Verstärkungsänderung ohne Farbwechsel“ (EWo) und „Kein explizites Wissen, ohne Bemerkten der Verstärkungsänderung“ (KEWo) in den Phasen vor, während (während 1, während 2) und nach der Verstärkungsänderung für Experimental- und Kontrollbedingung.	132
7.3	Mittelwerte und Standardabweichungen (in Klammern) der Radien für die Gruppen „Explizites Wissen, Verstärkungsänderung auf 1.2:1, gesamt“ (EWg), und „Explizites Wissen, Verstärkungsänderung auf 1.2:1, ohne Bemerkten der Verstärkungsänderung ohne Farbwechsel“ (EWo) in den Phasen vor, während (während 1, während 2) und nach der Verstärkungsänderung für die Experimentalbedingung „Verstärkungsänderung mit verzögertem Farbwechsel“.	135
7.4	Mittelwerte und Standardabweichungen (in Klammern) der Radien für die Gruppen „Explizites Wissen, Verstärkungsänderung auf 0.8:1, gesamt“ (EW0.8g) und „Explizites Wissen, Verstärkungsänderung auf 0.8:1, ohne Bemerkten der Verstärkungsänderung ohne Farbwechsel“ (EW0.8o) in den Phasen vor, während (während 1, während 2) und nach der Verstärkungsänderung für Experimental- und Kontrollbedingung.	139
C.1	Signifikante Effekte der Varianzanalyse der eingeschränkten Stichprobe in Experiment I	193

C.2	Signifikante Effekte der Varianzanalyse der eingeschränkten Stichprobe in Experiment III	193
C.3	Signifikante Effekte der Varianzanalyse der eingeschränkten Stichprobe in Experiment IV	194
C.4	Signifikante Effekte der ersten Varianzanalyse der eingeschränkten Stichprobe in Experiment VI	194
D.1	F-Werte und p-Werte der signifikanten Kontrasteffekte der Radien zwischen den Experimentalbedingungen von vor zu während der Verstärkungsänderung aus der Varianzanalyse der Gesamtstichprobe (alle Kontraste $df(1,22)$)	195

Abbildungsverzeichnis

1.1	Der unbewusste (A) und bewusste (B) Modus, in denen motorische Handlungen ablaufen können. Die grau unterlegten Prozesse sind Prozesse, deren Inhalte der handelnden Person nicht bewusst sind (aus Willingham, 1998).	20
2.1	Versuchsaufbau von Experiment I.	28
2.2	Darstellung der Übungsphase. Die Versuchspersonen umfuhren den statischen weißen Kreis in kontinuierlichen Kreisbahnen.	29
2.3	Vier Screenshots der Synchronisationsphase. Die Versuchspersonen folgten dem Vorgabepunkt (türkis) mit dem Cursor (weißer Punkt) auf der von ihm vorgegebenen Kreisbahn. Die Abbildung zeigt eine Kreisumdrehung (vom linken zum rechten Bild)	30
2.4	Ablauf eines Durchgangs. Nachdem der Durchgang durch Bewegung des Cursors in die Startposition aktiviert wurde, begann die Synchronisationsphase. Die Versuchsperson verfolgte den Vorgabepunkt fünf Kreise lang. Anschließend folgte die Fortsetzungsphase. In dieser Phase trat in Durchgängen mit Transformationsänderung (untere Reihe) eine Veränderung der visumotorischen Beziehung auf. Ein Durchgang ohne Verstärkungsänderung ist in der oberen Reihe dargestellt. Die dargestellten Kreisbahnen entsprechen den Kreisbahnen des Cursors auf dem Monitor, wenn sich die Versuchspersonen nicht an die Verstärkungsänderung anpassen.	31

2.5	Werte des Verstärkungsfaktors g zu jedem Zeitpunkt der Fortsetzungsphase in Durchgängen mit Verstärkungsänderung. Alle Durchgänge wurden in die fünf Phasen vor, während und nach der Verstärkungsänderung sowie Auf- und Abschaltung der Verstärkungsänderung unterteilt. Die Dauer jeder dieser Phasen in Standardkreisen ist ebenfalls dargestellt.	32
2.6	Abbildung aus der Instruktion der Gruppe „Explizites Wissen“, die zur Verdeutlichung der Konsequenz der Verstärkungsänderung benutzt wurde.	34
2.7	Zerlegung der gezeichneten Kreise in vier Kreissegmente. Für jedes der Segmente werden Mittelwert der Radien r_i bestimmt.	37
2.8	Design der Varianzanalyse mit Messwiederholung von Experiment I.	39
2.9	Ergebnisse von Experiment I. Die mittleren Radien der gezeichneten Kreise in cm vor, während und nach der Verstärkungsänderung sind dargestellt für die Gruppe „Explizites Wissen“ (linke Seite) und „Kein explizites Wissen“ (rechte Seite) für die Experimentalbedingung („Mit Verstärkungsänderung“) und die Kontrollbedingung („Ohne Verstärkungsänderung“). Die Abbildung zeigt die Daten der Gesamtstichprobe.	42
2.10	Individuelle Anpassung des Radius während der Verstärkungsänderung aller Versuchspersonen (Vpn-Nummer) der Gruppen „Explizites Wissen“ (links) und „Kein explizites Wissen“ (rechts) in % (bezogen auf die Radien vor der Verstärkungsänderung).	46

3.1	Ablauf eines Durchgangs in Experiment II. Nachdem der Durchgang durch Bewegung des Cursors in die Startposition gestartet wurde, begann die Synchronisationsphase. Die Versuchsperson verfolgte den Vorgabepunkt fünf Kreise lang. Anschließend folgte die Fortsetzungsphase. In dieser Phase trat in Durchgängen mit Verstärkungsänderung und Farbwechsel (untere Reihe) sowie in Durchgängen mit Verstärkungsänderung und ohne Farbwechsel (zweite Reihe von unten) eine Veränderung der visumotorischen Beziehung auf. Durchgänge, in denen ein Farbwechsel ohne Verstärkungsänderung auftrat, sind in der zweiten Reihe von oben dargestellt. In der obersten Reihe wird ein Durchgang in der Kontrollbedingung beschrieben.	52
3.2	Werte des Verstärkungsfaktors g und Dauer der fünf Abschnitte der Fortsetzungsphase (in Standardkreisen) für die Bedingungen mit Verstärkungsänderung in Experiment II.	54
3.3	Design der Varianzanalyse mit Messwiederholung zur Analyse des Radius der gezeichneten Kreise in Experiment II.	56
3.4	Ergebnisse von Experiment II. Die mittleren Radien der gezeichneten Kreise in cm vor, während und nach der Verstärkungsänderung sind dargestellt für die Bedingungen „Verstärkungsänderung mit Farbwechsel“ (VÄ mit FW), „Verstärkungsänderung ohne Farbwechsel“ (VÄ ohne FW), „Farbwechsel ohne Verstärkungsänderung“ (FW ohne VÄ) und die Kontrollbedingung. Die Abbildung zeigt die Daten der Gesamtstichprobe.	59
3.5	Individuelle Anpassung des Radius während der Verstärkungsänderung der Versuchspersonen in Prozent (bezogen auf die Radien vor der Verstärkungsänderung) in den drei Experimentalbedingungen „Verstärkungsänderung mit Farbwechsel“, „Verstärkungsänderung ohne Farbwechsel“ und „Farbwechsel ohne Verstärkungsänderung“. Von der individuelle Anpassung in allen Experimentalbedingungen wurde die Veränderung in der Kontrollbedingung abgezogen. 63	

4.1	Ablauf eines Durchgangs in Experiment III. Nachdem der Durchgang durch Bewegung des Cursors in die Startposition aktiviert wurde, begann die Synchronisationsphase. Die Versuchspersonen verfolgte den Vorgabepunkt fünf Kreise lang. Anschließend folgte die Fortsetzungsphase. In dieser Phase trat in Durchgängen mit Verstärkungsänderung auf 1.1 (untere Reihe) sowie in Durchgängen mit Verstärkungsänderung auf 0.9 (mittlere Reihe) eine Veränderung der visumotorischen Beziehung auf. Kontrolldurchgänge sind in der oberen Reihe dargestellt.	69
4.2	Design der Varianzanalyse mit Messwiederholung zur Analyse des Radius der gezeichneten Kreise in Experiment III.	73
4.3	Ergebnisse von Experiment III. Die mittleren Radien der gezeichneten Kreise in cm vor, während und nach der Verstärkungsänderung sind dargestellt für die Bedingungen „Verstärkungsänderung auf 1.1:1“ , „Verstärkungsänderung auf 0.9:1“ und die Kontrollbedingung. Die Abbildung zeigt die Daten der Gesamtstichprobe. . .	76
4.4	Individuelle Anpassung des Radius während der Verstärkungsänderung der Versuchspersonen in Prozent (bezogen auf die Radien vor der Verstärkungsänderung) der Gruppen „Explizites Wissen“ und „Kein explizites Wissen“ in den beiden Experimentalbedingungen „Verstärkungsänderung auf 1.1:1“ und „Verstärkungsänderung auf 0.9:1“. Von der individuellen Anpassung in allen Experimentalbedingungen wurde die Veränderung in der Kontrollbedingung abgezogen.	80

5.1	Ablauf eines Durchgangs in den sechs Bedingungen von Experiment IV. Die oberste Reihe stellt die Bedingung „Farbwechsel ohne Verstärkungsänderung“ dar, Reihe 2 repräsentiert die Bedingung „Verstärkungsänderung auf 0.9:1 mit Farbwechsel“. In der dritten Reihe von oben ist die Bedingung „Verstärkungsänderung auf 1.1:1 mit Farbwechsel“ dargestellt. Die unteren drei Reihen repräsentieren die Bedingungen ohne Farbwechsel des Cursors. Reihe 4 zeigt die Kontrollbedingung, während Reihe 5 die Bedingung „Verstärkungsänderung auf 0.9 ohne Farbwechsel“ zusammenfasst. In der untersten Reihe ist die Bedingung „Verstärkungsänderung auf 1.1:1 ohne Farbwechsel“ dargestellt.	85
5.2	Design der Varianzanalyse mit Messwiederholung zur Analyse des Radius der gezeichneten Kreise in Experiment IV.	88
5.3	Die mittleren Radien der gezeichneten Kreise in cm vor, während und nach der Verstärkungsänderung sind dargestellt für die fünf Experimentalbedingungen und die Kontrollbedingung in Experiment IV für die Datenanalyse der Gesamtstichprobe.	91
5.4	Individuelle Anpassung des Radius während der Verstärkungsänderung der Versuchspersonen in Prozent (bezogen auf die Radien vor der Verstärkungsänderung) für die Bedingungen „Verstärkungsänderung auf 1.1:1 mit Farbwechsel“, „Verstärkungsänderung auf 1.1:1 ohne Farbwechsel“ und „Farbwechsel ohne Verstärkungsänderung“ (linke Abbildung) sowie „Verstärkungsänderung auf 0.9:1 mit Farbwechsel“, „Verstärkungsänderung auf 0.9:1 ohne Farbwechsel“ und „Farbwechsel ohne Verstärkungsänderung“ (rechte Abbildung). . .	95

6.1	Ablauf eines Durchgangs in Experiment V. Nach der Synchronisationsphase wurde in der Fortsetzungsphase in den Durchgängen mit Verstärkungsänderung (untere Reihe) das visuomotorische Verhältnis auf 1.2:1 verändert und nicht wieder auf 1:1 zurückgeführt. Im Anschluss an die Fortsetzungsphase mussten die Versuchspersonen ein Wort abschreiben (Schreibphase) und schließlich einen auf dem Monitor gezeigten Kreis abzeichnen (Nachttestphase).	103
6.2	Design der Varianzanalyse mit Messwiederholung für die Analyse der Bewegungsanpassung in Experiment V.	106
6.3	Design der Varianzanalyse mit Messwiederholung für die Analyse der Nacheffekte in Experiment V.	107
6.4	Ergebnisse der Analyse der Anpassung in der Gesamtstichprobe von Experiment V. Die mittleren Radien der gezeichneten Kreise in cm vor, während und nach der Verstärkungsänderung sind dargestellt für die Gruppe „Explizites Wissen“ (linke Seite) und „Kein explizites Wissen“ (rechte Seite) für die Experimentalbedingung („Mit Verstärkungsänderung“) und Kontrollbedingung („Ohne Verstärkungsänderung“) vor und während der Verstärkungsänderung.	109
6.5	Individuelle Anpassung des Radius während der Verstärkungsänderung der Versuchspersonen der Gruppen „Explizites Wissen“ (links) und „Kein explizites Wissen“ (rechts) in Prozent (bezogen auf die Radien vor der Verstärkungsänderung) für die Experimentalbedingung.	112
6.6	Ergebnisse der Analyse der Radien der in der Nachttestphase gezeichneten Kreise in cm. Die Radien in der Nachttestphase sind dargestellt für die Gruppe „Explizites Wissen“ (linke Seite) und „Kein explizites Wissen“ (rechte Seite) für die Experimentalbedingung („Mit Verstärkungsänderung“) und Kontrollbedingung („Ohne Verstärkungsänderung“) in den drei Nachttestbedingungen.	113

7.1	Ablauf eines Durchgangs in Experiment VI für die Gruppen mit Verstärkungsänderung auf 1.2:1. Die obere Reihe repräsentiert Durchgänge ohne Verstärkungsänderung. Die mittlere Reihe stellt Durchgänge ohne Farbwechsel dar, während in der unteren Reihe Durchgänge mit verzögertem Farbwechsel abgebildet sind. In der Gruppe mit explizitem Wissen wird in der Phase „während 2“ die Verstärkungsänderung durch den Farbwechsel des Cursors angezeigt. . . .	120
7.2	Design der Varianzanalyse mit Messwiederholung für die erste Analyse in Experiment VI.	124
7.3	Design der Varianzanalyse mit Messwiederholung für die zweite Analyse in Experiment VI.	124
7.4	Design der Varianzanalyse mit Messwiederholung für die dritte Analyse in Experiment VI.	125
7.5	Design der Varianzanalyse mit Messwiederholung für die vierte Analyse in Experiment VI.	127
7.6	Ergebnisse der ersten Analyse der Gesamtstichprobe in Experiment VI. Die mittleren Radien der gezeichneten Kreise in cm vor, während (während 1 und während 2) und nach der Verstärkungsänderung sind für die Gruppe „Explizites Wissen, Verstärkungsänderung auf 1.2:1“ (linke Seite) und „Kein explizites Wissen“ (rechte Seite) für die Experimentalbedingung und Kontrollbedingung dargestellt.	129
7.7	Ergebnisse der zweiten Analyse in Experiment VI. Die mittleren Radien der gezeichneten Kreise in cm vor, während (zwei Phasen während 1 und während 2) und nach der Verstärkungsänderung sind dargestellt für die Gruppe „Explizites Wissen, Verstärkungsänderung auf 1.2:1“ in den beiden Experimentalbedingungen und der Kontrollbedingung.	133

7.8	Ergebnisse der dritten Analyse in Experiment VI. Die mittleren Radien der gezeichneten Kreise in cm vor, während (zwei Phasen während 1 und während 2) und nach der Verstärkungsänderung sind dargestellt für die Gruppe „Explizites Wissen, Verstärkungsänderung auf 0.8:1“ in den beiden Experimentalbedingungen und der Kontrollbedingung.	137
7.9	Ergebnisse der vierten Analyse der Gesamtstichprobe in Experiment VI. Die relative Anpassung der Radien an die Verstärkungsänderung bezogen auf die perfekte Bewegungsanpassung ist dargestellt für die beiden Phasen während der Verstärkungsänderung (während 1, während 2) für die Gruppe „Explizites Wissen, Verstärkungsänderung auf 1.2:1“ (linke Seite) und „Explizites Wissen, Verstärkungsänderung auf 0.8:1“ (rechte Seite) für die beiden Experimentalbedingungen. Die relative Veränderung in der Kontrollbedingung wurde von den relativen Veränderungen der Experimentalbedingungen abgezogen.	140
7.10	Individuelle Anpassung des Radius während der Verstärkungsänderung der Versuchspersonen der Gruppen „Explizites Wissen, Verstärkungsänderung auf 1.2:1“ (links) und „Kein explizites Wissen“ (rechts) in Prozent (bezogen auf die Radien vor der Verstärkungsänderung).	141
7.11	Individuelle Anpassung des Radius während der Verstärkungsänderung der Versuchspersonen der Gruppen „Explizites Wissen, Verstärkungsänderung auf 0.8:1“ in Prozent (bezogen auf die Radien vor der Verstärkungsänderung).	142

Anhangsverzeichnis

A Instruktionen

Instruktion der Gruppe „Explizites Wissen“ (Experiment I)

Instruktion der Gruppe „Kein explizites Wissen“ (Experiment I)

B Nachbefragungen

Experiment I

Experiment II

Experiment III

Experiment IV

Experiment VI

C Varianzanalysen der eingeschränkten Stichproben

Experiment I

Experiment III

Experiment IV

Experiment VI

D Kontrasteffekte in Experiment IV

A Instruktionen

Instruktion der Gruppe „Explizites Wissen“

(Experiment I)

Liebe Versuchsperson,

in diesem Versuch wird es Ihre Aufgabe sein, mit Hilfe eines Stiftes Kreise zu zeichnen. Dabei wird die Position des Stiftes auf dem Tablett kontinuierlich auf dem Bildschirm vor Ihnen dargestellt. Ihr Ziel in diesem Experiment soll es sein, Kreise mit möglichst gleichmäßiger Geschwindigkeit und vor allem von KONSTANTER GRÖSSE auf dem Bildschirm zu produzieren.

Ablauf des Versuchs:

Die Untersuchung gliedert sich in drei Phasen. In der Übungsphase haben Sie Gelegenheit, sich mit der Funktionsweise des Stiftes vertraut zu machen. In der Instruktionsphase werden Sie detailliert über den Verlauf der eigentlichen Untersuchung informiert. In der Testphase ist es dann Ihre Aufgabe, Kreise von konstanter Größe zu produzieren.

Übungsphase

Im folgenden Abschnitt des Versuchs bekommen Sie die Gelegenheit, sich mit der Funktionsweise des Digitalisiertabletts und des Stiftes vertraut zu machen. Bitte nehmen Sie den Stift in Ihre rechte Hand. Mit Hilfe des vor Ihnen platzierten Digitalisiertabletts werden die Bewegungen des Stiftes in Bewegungen des weißen Punktes auf dem Bildschirm übertragen.

Ihre Aufgabe ist es, mit dem Stift auf dem Tablett den auf dem Bildschirm darge-

botenen Kreis in einer konstanten Geschwindigkeit nachzuzeichnen. Dabei ist es wichtig, dass diese Kreisbewegungen OHNE UNTERBRECHUNG und IM UHRZEIGERSINN ausgeführt werden. Sollten Sie zu schnell oder zu langsam zeichnen, wird Ihnen dies unmittelbar rückgemeldet. In diesem Fall startet die Übung erneut.

Nachdem Sie fünf Kreise gezeichnet haben, verschwindet der Kreis vom Bildschirm. Bitte zeichnen Sie ohne Pause weiterhin Kreise, bis ihnen auf dem Monitor das Ende der Übungsphase angezeigt wird.

Instruktionsphase

Die im Anschluss folgende Testphase besteht aus insgesamt 60 Durchgängen. Jeder dieser Durchgänge dauert ungefähr 20 Sekunden. Nach jedem Durchgang gibt es eine kurze Pause. Sie bestimmen selbst, wann der nächste Durchgang beginnen soll.

Ihre Aufgabe in jedem dieser Durchgänge ist es, KONTINUIERLICH KREISE VON KONSTANTER GRÖSSE auf dem Bildschirm zu produzieren.

Ablauf eines Durchgangs:

Um einen Durchgang zu starten, müssen Sie zunächst den Cursorpfeil auf das auf dem Bildschirm dargestellte gelbe Feld bewegen. Durch Herabdrücken des Stiftes wird dieses Feld aktiviert und die Synchronisationsphase des Durchgangs beginnt. In dieser Phase wird auf dem Bildschirm ein zweiter Punkt sichtbar, der beginnt, sich auf einer Kreisbahn zu bewegen. Ihre Aufgabe ist es, diesen Punkt mit dem durch Sie gesteuerten Punkt zu verfolgen. Dabei sollte sich der weiße Punkt so schnell wie der Punkt bewegen und eine möglichst ähnliche Kreisbahn beschreiben.

Nach fünf vollendeten Kreisen verschwindet der Punkt und die Synchronisationsphase ist beendet. Setzen Sie die zuvor durch den Punkt vorgegebene Kreisbahn kontinuierlich d.h. OHNE PAUSE fort und halten Sie Geschwindigkeit und Größe Ihres Kreises bei, bis der Durchgang beendet ist.

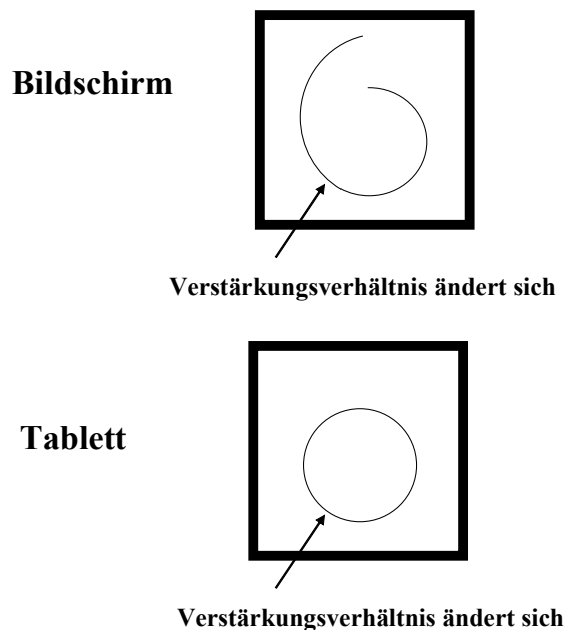
Die Weite einer auf dem Bildschirm zurückgelegten Strecke entspricht der Län-

ge einer auf dem Tablett gezeichneten Strecke. Somit entspricht auch der Radius eines gezeichneten Kreises dem Radius des auf dem Bildschirm dargestellten Kreises.

In einigen Durchgängen kann es passieren, dass sich zu einem zufällig ausgewählten Zeitpunkt nach Beendigung der Synchronisationsphase die Beziehung zwischen gezeichneter und auf dem Bildschirm dargestellter Strecke verändert. Eine auf dem Tablett gezeichnete Strecke wird dann auf dem Bildschirm 20 Prozent länger sein. Diese so genannte „Verstärkungsänderung“ zwischen der Bewegung des Stiftes und der Bewegung des Punktes wirkt sich auch auf die Größe der auf dem Monitor gezeichneten Kreise aus:

Bei konstanter Größe der gezeichneten Kreise werden die KREISE AUF DEM BILDSCHIRM GRÖßER!

Die Abbildung auf der nächsten Seite verdeutlicht das Problem:



Um das Ziel der Aufgabe zu erfüllen, nämlich immer gleich große Kreis auf dem Bildschirm zu zeichnen, muss beim Auftreten dieser Verstärkungsänderung der Radius der von Ihnen auf dem Tablett gezeichneten Kreise angepasst werden.

DIE VON IHNEN AUF DEM TABLETT GEZEICHNETEN KREISE MÜSSEN

KLEINER WERDEN!!

Das Ausmaß der Verstärkungsänderung ist in diesem Versuch sehr gering und wird normalerweise nicht bewusst wahrgenommen. Ihnen wird deshalb die Veränderung dieses Verstärkungsverhältnisses immer durch den Farbwechsel des Punktes von weiß nach rot angezeigt.

Die Aufschaltung der Verstärkungsänderung erfolgt außerdem relativ langsam (innerhalb einer Kreisumdrehung), so dass Sie genug Zeit dazu haben, den Radius der von Ihnen gezeichneten Kreise so zu verkleinern, dass sie trotz veränderter Bedingungen immer gleich große Kreise auf dem Bildschirm wahrnehmen.

Der erneute Farbwechsel des Cursors von rot zurück nach weiß zeigt schließlich an, dass die normale Beziehung zwischen dem auf dem Tablett gezeichneten Kreis und auf dem Monitor dargestellten Kreis wieder hergestellt wurde.

Haben Sie noch Fragen? Bitte wenden Sie sich an den Versuchsleiter.

Instruktion der Gruppe „Kein explizites Wissen“ (Experiment I)

Liebe Versuchsperson,

in diesem Versuch wird es Ihre Aufgabe sein, mit Hilfe eines Stiftes Kreise zu zeichnen. Dabei wird die Position des Stiftes auf dem Tablett kontinuierlich auf dem Bildschirm vor Ihnen dargestellt. Ihr Ziel in diesem Experiment soll es sein, Kreise mit möglichst gleichmäßiger Geschwindigkeit und vor allem von KONSTANTER GRÖSSE auf dem Bildschirm zu produzieren.

Ablauf des Versuchs:

Die Untersuchung gliedert sich in drei Phasen. In der Übungsphase haben Sie Gelegenheit, sich mit der Funktionsweise des Stiftes vertraut zu machen. In der Instruktionsphase werden Sie detailliert über den Verlauf der eigentlichen Untersuchung informiert. In der Testphase ist es dann Ihre Aufgabe, Kreise von konstanter Größe zu produzieren.

Übungsphase

Im folgenden Abschnitt des Versuchs bekommen Sie die Gelegenheit, sich mit der Funktionsweise des Digitalisiertabletts und des Stiftes vertraut zu machen. Bitte nehmen Sie den Stift in Ihre rechte Hand. Mit Hilfe des vor Ihnen platzierten Digitalisiertabletts werden die Bewegungen des Stiftes in Bewegungen des weißen Punktes auf dem Bildschirm übertragen.

Ihre Aufgabe ist es, mit dem Stift auf dem Tablett den auf dem Bildschirm dargebotenen Kreis in einer konstanten Geschwindigkeit nachzuzeichnen. Dabei ist es wichtig, dass diese Kreisbewegungen OHNE UNTERBRECHUNG und IM UHRZEIGERSINN ausgeführt werden. Sollten Sie zu schnell oder zu langsam zeichnen, wird Ihnen dies unmittelbar rückgemeldet. In diesem Fall startet die Übung erneut.

Nachdem Sie fünf Kreise gezeichnet haben, verschwindet der Kreis vom Bildschirm. Bitte zeichnen Sie ohne Pause weiterhin Kreise, bis ihnen auf dem Monitor

das Ende der Übungsphase angezeigt wird.

Instruktionsphase

Die im Anschluss folgende Testphase besteht aus insgesamt 60 Durchgängen. Jeder dieser Durchgänge dauert ungefähr 20 Sekunden. Nach jedem Durchgang gibt es eine kurze Pause. Sie bestimmen selbst, wann der nächste Durchgang beginnen soll.

Ihre Aufgabe in jedem dieser Durchgänge ist es, KONTINUIERLICH KREISE VON KONSTANTER GRÖSSE auf dem Bildschirm zu produzieren.

Ablauf eines Durchgangs:

Um einen Durchgang zu starten, müssen Sie zunächst den Cursorpfeil auf das auf dem Bildschirm dargestellte gelbe Feld bewegen. Durch Herabdrücken des Stiftes wird dieses Feld aktiviert und die Synchronisationsphase des Durchgangs beginnt. In dieser Phase wird auf dem Bildschirm ein zweiter Punkt sichtbar, der beginnt, sich auf einer Kreisbahn zu bewegen. Ihre Aufgabe ist es, diesen Punkt mit dem durch Sie gesteuerten Punkt zu verfolgen. Dabei sollte sich der weiße Punkt so schnell wie der Punkt bewegen und eine möglichst ähnliche Kreisbahn beschreiben.

Nach fünf vollendeten Kreisen verschwindet der Punkt und die Synchronisationsphase ist beendet. Setzen Sie die zuvor durch den Punkt vorgegebene Kreisbahn kontinuierlich d.h. OHNE PAUSE fort und halten Sie Geschwindigkeit und Größe Ihres Kreises bei, bis der Durchgang beendet ist.

Haben Sie noch Fragen? Bitte wenden Sie sich an den Versuchsleiter.

B Nachbefragungen

Experiment I

Nachbefragung der Gruppe „Explizites Wissen“

1. Hat Ihnen die Information über den Einsatz und die Länge der Verstärkungsänderung bei der Bearbeitung der Aufgabe geholfen?
2. Waren die Informationen über die Transformationsänderung zu allgemein?
3. Hätten Sie sich gewünscht, mehr Informationen über die Transformationsänderung zu erhalten?
4. Waren die Informationen über die Transformationsänderung zu spezifisch, so dass Sie bei der Bewältigung der Aufgabe gar keinen Nutzen aus diesen Informationen ziehen konnten?
5. Haben Sie weitere Kommentare, Kritik oder Anregungen zu diesem Versuch?

Nachbefragung der Gruppe „Kein explizites Wissen“

1. Ist Ihnen im Versuch etwas aufgefallen?
2. Ist Ihnen an den auf dem Monitor dargestellten Kreisen etwas aufgefallen?
3. Ist Ihnen an den von Ihnen gezeichneten Kreisen etwas aufgefallen?
4. Haben Sie immer gleich große Kreise auf dem Monitor gesehen?
5. Haben Sie immer gleich große Kreise gezeichnet?
6. Ist Ihnen aufgefallen, dass die auf dem Bildschirm dargestellten Kreise während des Versuchs ihre Größe verändert haben?
7. Ist Ihnen aufgefallen, die von Ihnen gezeichneten Kreise im Verlauf des Versuchs ihre Größe verändert haben?
8. Ist Ihnen aufgefallen, dass sich die Beziehung zwischen Bewegungen auf dem Digitalisiertablett und den Bewegungen auf dem Bildschirm im Verlauf des Versuchs verändert hat, so dass Sie kleinere Kreise zeichnen mussten, um auf dem Monitor gleich große Kreise wahrzunehmen?
9. Haben Sie weitere Kommentare, Kritik oder Anregungen zu diesem Versuch?

Experiment II

1. Ist Ihnen während des Versuchs irgendetwas aufgefallen?
2. Waren die Verstärkungsänderungen für sie wahrnehmbar? Falls ja: Waren sie immer, manchmal oder selten wahrnehmbar?
3. Wäre die Verstärkungsänderung ohne Kennzeichnung durch den Farbwechsel des Cursors für Sie wahrnehmbar gewesen?
4. In den Durchgängen mit Verstärkungsänderung: War Ihnen die Kennzeichnung der Verstärkungsänderung immer hilfreich bei der Anpassung ihrer Bewegungen?
5. Ist Ihnen in den Durchgängen ohne Verstärkungsänderung etwas aufgefallen?
6. Zu wie viel Prozent haben Sie sich auf die Kennzeichnung der Verstärkungsaufschaltung durch den Farbwechsel des Cursors verlassen? (0 bis 100)
7. Haben Sie bemerkt, dass sich auch in einigen Durchgängen, in denen keine Verstärkungsänderung angezeigt wurde, die Verstärkung verändert hat?
8. Ist Ihnen aufgefallen, dass sich in einigen Durchgängen mit angezeigter Verstärkungsänderung die Verstärkung gar nicht verändert hat?
9. Haben Sie weitere Kommentare, Kritik oder Anregungen zu diesem Versuch?

Experiment III

Nachbefragung der Gruppe „Explizites Wissen“

1. Ist Ihnen während des Versuchs etwas aufgefallen?
2. Hat Ihnen die Information über den Einsatz und die Länge der Verstärkungsänderung bei der Bearbeitung der Aufgabe geholfen?
3. Haben Sie bei angezeigter Verstärkungsänderung immer Ihre Bewegungen so angepasst, dass Sie gleich große Kreise auf dem Bildschirm wahrgenommen haben?
4. Haben Sie bei angezeigter Verstärkungsänderung wie in der Instruktion verlangt immer die von ihnen gezeichneten Kreise verkleinert?
5. Haben Sie bemerkt, dass Sie in einigen Durchgängen mit angezeigter Verstärkungsänderung größere Kreise zeichnen mussten, um auf dem Bildschirm immer gleich große Kreise wahrzunehmen?
6. Haben Sie weitere Kommentare, Kritik oder Anregungen zu diesem Versuch?

Nachbefragung der Gruppe „Kein explizites Wissen“

1. Ist Ihnen während des Versuchs etwas aufgefallen?
2. Ist Ihnen an den auf dem Monitor dargestellten Kreisen etwas aufgefallen?
3. Ist Ihnen an den von Ihnen gezeichneten Kreisen etwas aufgefallen?
4. Haben Sie immer gleich große Kreise auf dem Monitor gesehen? Falls nein, wurden diese Unterschiede durch Sie selbst produziert?
5. Haben Sie immer gleich große Kreise gezeichnet? Falls nein, wurden diese Unterschiede durch Sie selbst produziert?
6. Ist Ihnen aufgefallen, die von Ihnen gezeichneten Kreise im Verlauf des Versuchs ihre Größe verändert haben?
7. Ist Ihnen aufgefallen, dass sich die Beziehung zwischen Bewegungen auf dem Digitalisiertablett und den Bewegungen auf dem Bildschirm im Verlauf des Versuchs verändert hat, so dass Sie manchmal kleinere Kreise zeichnen mussten, um auf dem Monitor gleich große Kreise wahrzunehmen?
8. Haben Sie weitere Kommentare, Kritik oder Anregungen zu diesem Versuch?

Experiment IV

1. Ist Ihnen während des Versuchs irgendetwas aufgefallen?
2. Waren die Verstärkungsänderungen für sie wahrnehmbar? Falls ja: Waren sie immer, manchmal, selten wahrnehmbar?
3. Wäre die Verstärkungsänderung ohne Kennzeichnung durch den Farbwechsel des Cursors für Sie wahrnehmbar gewesen?
4. In den Durchgängen mit Verstärkungsänderung: War Ihnen die Kennzeichnung der Verstärkungsänderung immer hilfreich bei der Anpassung ihrer Bewegungen?
5. Haben Sie bei angezeigter Verstärkungsänderung wie in der Instruktion verlangt immer die von ihnen gezeichneten Kreise verkleinert?
6. Ist Ihnen in den Durchgängen ohne Verstärkungsänderung etwas aufgefallen?
7. Zu wie viel Prozent haben Sie sich auf die Kennzeichnung der Verstärkungsausschaltung durch den Farbwechsel des Cursors verlassen? (0 bis 100)
8. Haben Sie bemerkt, dass sich auch in einigen Durchgängen, in denen keine Verstärkungsänderung angezeigt wurde, die Verstärkung verändert hat? Falls ja, haben sie verschiedene Verstärkungsänderungen wahrgenommen?
9. Ist Ihnen aufgefallen, dass sich in einigen Durchgängen mit angezeigter Verstärkungsänderung die Verstärkung gar nicht verändert hat?
10. Haben Sie bemerkt, dass Sie in einigen Durchgängen mit angezeigter Verstärkungsänderung größere Kreise zeichnen mussten, um auf dem Bildschirm immer gleich große Kreise wahrzunehmen?
11. Haben Sie weitere Kommentare, Kritik oder Anregungen zu diesem Versuch?

Experiment VI

Nachbefragung der Gruppe „Explizites Wissen, Verstärkungsänderung auf 1.2:1“

1. Ist Ihnen während des Versuchs irgendetwas aufgefallen?
2. Waren die Verstärkungsänderungen für sie wahrnehmbar? Falls ja: Waren sie immer, manchmal, selten wahrnehmbar?
3. Wäre die Verstärkungsänderung ohne Kennzeichnung durch den Farbwechsel des Cursors für Sie wahrnehmbar gewesen?
4. Haben Sie bei angezeigter Verstärkungsänderung immer Ihre Bewegungen so angepasst, dass Sie gleich große Kreise auf dem Bildschirm wahrgenommen haben?
5. In den Durchgängen mit Verstärkungsänderung: War Ihnen die Kennzeichnung der Verstärkungsänderung immer hilfreich bei der Anpassung ihrer Bewegungen?
6. Haben Sie bei angezeigter Verstärkungsänderung wie in der Instruktion verlangt immer die von ihnen gezeichneten Kreise verkleinert?
7. Ist Ihnen in den Durchgängen ohne Verstärkungsänderung etwas aufgefallen?
8. Zu wie viel Prozent haben Sie sich auf die Kennzeichnung der Verstärkungsaufschaltung durch den Farbwechsel des Cursors verlassen? (0 bis 100)
9. Haben Sie bemerkt, dass sich auch in einigen Durchgängen, in denen keine Verstärkungsänderung angezeigt wurde, die Verstärkung verändert hat?
10. Ist Ihnen aufgefallen, dass sich in einigen Durchgängen die Verstärkung verändert hat, noch bevor dies durch den Farbwechsel des Cursors angezeigt wurde?
11. Haben Sie weitere Kommentare, Kritik oder Anregungen zu diesem Versuch?

Nachbefragung der Gruppe „Explizites Wissen, Verstärkungsänderung auf 0.8:1“

1. Ist Ihnen während des Versuchs irgendetwas aufgefallen?
2. Waren die Verstärkungsänderungen für sie wahrnehmbar? Falls ja: Waren sie immer, manchmal, selten wahrnehmbar?
3. Wäre die Verstärkungsänderung ohne Kennzeichnung durch den Farbwechsel des Cursors für Sie wahrnehmbar gewesen?
4. Haben Sie bei angezeigter Verstärkungsänderung immer Ihre Bewegungen so angepasst, dass Sie gleich große Kreise auf dem Bildschirm wahrgenommen haben?
5. In den Durchgängen mit Verstärkungsänderung: War Ihnen die Kennzeichnung der Verstärkungsänderung immer hilfreich bei der Anpassung ihrer Bewegungen?
6. Haben Sie bei angezeigter Verstärkungsänderung wie in der Instruktion verlangt immer die von ihnen gezeichneten Kreise vergrößert?
7. Ist Ihnen in den Durchgängen ohne Verstärkungsänderung etwas aufgefallen?
8. Zu wie viel Prozent haben Sie sich auf die Kennzeichnung der Verstärkungsausschaltung durch den Farbwechsel des Cursors verlassen? (0 bis 100)
9. Haben Sie bemerkt, dass sich auch in einigen Durchgängen, in denen keine Verstärkungsänderung angezeigt wurde, die Verstärkung verändert hat?
10. Ist Ihnen aufgefallen, dass sich in einigen Durchgängen die Verstärkung verändert hat, noch bevor dies durch den Farbwechsel des Cursors angezeigt wurde?
11. Haben Sie weitere Kommentare, Kritik oder Anregungen zu diesem Versuch?

Nachbefragung der Gruppe „Kein explizites Wissen“

1. Ist Ihnen während des Versuchs etwas aufgefallen?
2. Ist Ihnen an den auf dem Monitor dargestellten Kreisen etwas aufgefallen?
3. Ist Ihnen an den von Ihnen gezeichneten Kreisen etwas aufgefallen?
4. Haben Sie immer gleich große Kreise auf dem Monitor gesehen? Falls nein, wurden diese Unterschiede durch Sie selbst produziert?
5. Haben Sie immer gleich große Kreise gezeichnet? Falls nein, wurden diese Unterschiede durch Sie selbst produziert?
6. Ist Ihnen aufgefallen, dass die auf dem Bildschirm dargestellten Kreise während des Versuchs ihre Größe verändert haben?
7. Ist Ihnen aufgefallen, die von Ihnen gezeichneten Kreise im Verlauf des Versuchs ihre Größe verändert haben?
8. Ist Ihnen aufgefallen, dass sich die Beziehung zwischen Bewegungen auf dem Digitalisiertablett und den Bewegungen auf dem Bildschirm im Verlauf des Versuchs verändert hat, so dass Sie manchmal kleinere Kreise zeichnen mussten, um auf dem Monitor gleich große Kreise wahrzunehmen?
9. Haben Sie weitere Kommentare, Kritik oder Anregungen zu diesem Versuch?

C Varianzanalysen der eingeschränkten Stichproben

Tabelle C.1: Signifikante Effekte der Varianzanalyse der eingeschränkten Stichprobe in Experiment I

Effekt	df	F-Wert	p-Wert
Verstärkungsänderung	(1,15)	44.33	<.0001
Phase	(2,30)	20.15	<.0001
Phase x Gruppe	(2,30)	3.87	<.05
Gruppe x Verstärkungsänderung	(1,15)	7.17	<.05
Verstärkungsänderung x Phase	(2,30)	33.87	<.0001
Gruppe x Verstärkungsänderung x Phase	(2,30)	4.70	<.05

Tabelle C.2: Signifikante Effekte der Varianzanalyse der eingeschränkten Stichprobe in Experiment III

Effekt	df	F-Wert	p-Wert
Gruppe	(1,24)	14.72	<.001
Verstärkungsänderung	(2,48)	28.00	<.0001
Phase	(2,48)	17.38	<.0001
Phase x Gruppe	(2,48)	10.48	<.001
Gruppe x Verstärkungsänderung	(2,48)	17.16	<.0001
Verstärkungsänderung x Phase	(4,96)	22.65	<.0001
Gruppe x Verstärkungsänderung x Phase	(4,96)	10.59	<.0001

Tabelle C.3: Signifikante Effekte der Varianzanalyse der eingeschränkten Stichprobe in Experiment IV

Effekt	df	F-Wert	p-Wert
Verstärkungsänderung	(2,8)	5.10	<.05
Farbwechsel	(1,4)	12.53	<.05
Phase	(2,8)	13.95	<.01
Farbwechsel x Phase	(2,8)	8.89	<.01
Verstärkungsänderung x Phase	(4,16)	32.71	<.0001

Tabelle C.4: Signifikante Effekte der ersten Varianzanalyse der eingeschränkten Stichprobe in Experiment VI

Effekt	df	F-Wert	p-Wert
Verstärkungsänderung	(1,13)	203.89	<.01
Phase	(3,39)	35.95	<.0001
Verstärkungsänderung x Phase	(3,39)	79.21	<.0001

D Kontrasteffekte in Experiment IV

Tabelle D.1: F-Werte und p-Werte der signifikanten Kontrasteffekte der Radien zwischen den Experimentalbedingungen von vor zu während der Verstärkungsänderung aus der Varianzanalyse der Gesamtstichprobe (alle Kontraste $df(1,22)$)

	VÄ 1.1, FW	FW ohne VÄ	VÄ 0.9, FW	VÄ 1.1, ohne FW
FW ohne VÄ	52.38***			
VÄ 0.9, FW	123.37***	50.41***		
VÄ 1.1, ohne FW	22.18**	5.48*		
VÄ 0.9, ohne FW	104.99***	59.33***	21.33**	259.76***

*** $p < .0001$

** $p < .001$

* $p < .05$