

RWTH AACHEN

LEHRSTUHL FÜR ARBEITS- UND KOGNITIONSPSYCHOLOGIE

## **Masterarbeit**

Untersuchung der Interaktion zwischen der Handheld-Rückseite  
und einem entfernten Bildschirm in einer sensomotorischen  
Transformationsaufgabe

Gutachter: Univ.-Prof. Dr. Jochen Müsseler  
RWTH Aachen, Lehrstuhl für Arbeits- und Kognitionspsychologie  
Univ.-Prof. Dr. Jan Borchers  
RWTH Aachen, Lehrstuhl für Informatik 10  
(Medieninformatik und Mensch-Computer-Interaktion)

Vorgelegt von: Benedikt Langenberg

Studiengang: Psychologie M.Sc.

Abgabedatum: 8. Dezember 2017

## Zusammenfassung

Der Gebrauch eines Smartphones zur Steuerung eines Fernsehgeräts ist nur eines von vielen Beispielen, Smartphones im Alltag auf neue innovative Weise nutzbar zu machen. Die vorliegende Arbeit knüpft hieran an und untersuchte in einer sensomotorischen Transformationsaufgabe die Bedienung eines entfernten Bildschirms mittels der Rückseite eines Handhelds für zusätzliche Eingaben. In zwei Experimenten wurde der Einfluss von Handheld-Größe, Interaktionsbereich auf dem Bildschirm, visuellem Feedback sowie perspektivischen Veränderungen auf die Genauigkeit als auch die Geschwindigkeit bei der Transformation von Handheld zu Bildschirm untersucht. Es konnte gezeigt werden, dass Handheld-Größe und visuelles Feedback die Genauigkeit beeinflussten. Die Genauigkeit war zudem abhängig davon, ob Nutzer mit der linken oder der rechten Seite des Bildschirms interagierten. Es war auch relevant, ob die Nutzer zu Beginn eine Lernphase absolvierten, in der visuelles Feedback dargeboten wurde. Dies moderierte den Einfluss auf die Leistung von Interaktionsbereich und allgemeiner Nützlichkeit von Feedback, was für die Bildung internaler Modelle der Transformation spricht. Im Kontext perspektivischer Einflüsse konnte gezeigt werden, dass die Länge verschieden langer Strecken unterschiedlich präzise wahrgenommen wurde. Eine Veränderung der Perspektive in Form einer Variation des Abstandes des Nutzers vom Bildschirm hatte allerdings keinen Einfluss auf die Wahrnehmung der Größe von Strecken auf dem Bildschirm. Dies kann durch Wahrnehmungskonstanz erklärt werden, welche durch den Bildschirmrahmen als Referenz zur Größeneinschätzung verursacht worden sein könnte. In der vorliegenden Arbeit werden zudem Handlungsempfehlungen zum Design von Benutzeroberflächen im untersuchten Szenario mit Blick auf die gefundenen Ergebnisse ausgesprochen.

*Schlüsselwörter:* sensomotorische Transformation, proximaler und distaler Handlungseffekt, Handheld-Rückseite, visuelles Feedback

## Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei all denjenigen bedanken, die mich während der Anfertigung dieser Masterarbeit unterstützt und motiviert haben.

Zuerst möchte mich bei José Mínguez Garrigues, B.Sc., bedanken, der im Rahmen seiner Bachelorarbeit zwei der in meiner Arbeit verwendeten Touchscreens entwickelt hat und mich freundlicherweise bei der Herstellung des dritten unterstützt hat.

Besonderer Dank gilt darüber hinaus Christian Corsten, M.Sc., der mich von Beginn an unterstützt und mir stets mit Rat zur Seite gestanden hat.

Des Weiteren danke ich Dr. Kathrin Kraushaar, M.Sc., Jens Tiggelbeck, M.Sc., und Christian Böffel, M.Sc., für einen angeregten Austausch bei der Konzeption meiner Arbeit.

Als nächstes danke ich Prof. Dr. Jochen Müsseler und Prof. Dr. Jan Borchers für die Möglichkeit, meine Masterarbeit an ihren Lehrstühlen zu verfassen.

Zuletzt möchte ich meinen Eltern und meiner Partnerin Maryvonne Granowski für die kontinuierliche Unterstützung während meines Studiums danken.

### Abbildungsverzeichnis

1	Bedienung eines entfernten Fernsehgerätes mittels eines Smartphones (Corsten, Cherek, Karrer & Borchers, 2015). . . . .	4
2	Proximaler und distaler Handlungseffekt (Müsseler & Sutter, 2012). . . .	6
3	Einige Bahntransformationen (Heuer, 1983). . . . .	8
4	Feedback- und Feedforward-Kontrolle (Konczak, 2008). . . . .	10
5	Aufbau (a) sowie eine der Experimentalbedingungen (b) aus der Arbeit von Ladwig, Sutter und Müsseler (2012). . . . .	14
6	Die verwendeten Handhelds in Draufsicht (a), Seitenansicht (b) und einer Ansicht von unten (c). Verwendet wurden die Größen 5, 7 und 9 Zoll. . .	27
7	Aufbau des ersten Experiments. Grün gekennzeichnet ist das Handheld, rot die Homing-Taste. Die Teilnehmer saßen in 3 m Entfernung zum Fernsehgerät. . . . .	28
8	Ablauf des ersten Experiments ohne Feedback. Zur Verdeutlichung, wie auf der Unterseite getippt wurde, ist das Handheld in (b) und (c) transparent dargestellt. . . . .	30
9	Ablauf des ersten Experiments mit Feedback. Zur Verdeutlichung, wie auf der Unterseite getippt wurde, ist das Handheld in (b) und (c) transparent dargestellt. . . . .	30
10	Die 16 möglichen Positionen, an denen ein Target im ersten Experiment präsentiert wurde. Die Farben zeigen die Klassifikation in Ecke (orange), Mitte (blau) und Rand (grün). Im schraffierten Bereich wurden keine Targets präsentiert, damit der Finger auf dem Handheld nicht zu nah an den Rand gelangte. . . . .	32
11	Mittlerer räumlicher Fehler im ersten Experiment in Abhängigkeit von Handheld-Größe, Halbfeld bzw. Feedback-Bedingung. Fehlerbalken zeigen das Konfidenzintervall nach Cousineau (2005) und Morey (2008). . . . .	34



- 12 Mittlerer räumlicher Fehler im ersten Experiment in Abhängigkeit von (a) Bereich und Halbfeld, (b) Handheld-Größe, Bereich und Halbfeld sowie (c) Feedback-Bedingung, Bereich und Handheld. Als abhängige Variable diente die Differenz des räumlichen Fehlers zwischen dem linken und rechten Halbfeld. Fehlerbalken zeigen das Konfidenzintervall nach Cousineau (2005) und Morey (2008). . . . . 36
- 13 Mittlerer räumlicher Fehler im ersten Experiment in Abhängigkeit von (a) Feedback-Zeitpunkt und Feedback-Bedingung sowie (b) Feedback-Zeitpunkt und Bereich. Fehlerbalken zeigen das Konfidenzintervall nach Cousineau (2005) und Morey (2008). . . . . 38
- 14 Mittlerer räumlicher Fehler im ersten Experiment für signifikante Interaktionen in Abhängigkeit von Feedback-Zeitpunkt, Feedback-Bedingung, Handheld-Größe und Halbfeld. Abbildung (a) zeigt den Zusammenhang für die Gruppe, die zuerst Feedback bekam, (b) für die Gruppe, die zuerst kein Feedback bekam. In beiden Abbildungen diente die Differenz des räumlichen Fehlers zwischen dem linken und rechten Halbfeld als abhängige Variable. Fehlerbalken zeigen das Konfidenzintervall nach Cousineau (2005) und Morey (2008). . . . . 41
- 15 Mittlere Bewegungszeiten im ersten Experiment in Abhängigkeit von Handheld-Größe, Bereich, Halbfeld, Feedback-Bedingung bzw. Feedback-Zeitpunkt. Fehlerbalken zeigen das Konfidenzintervall nach Cousineau (2005) und Morey (2008). . . . . 43
- 16 Mittlere Bewegungszeiten im ersten Experiment in Abhängigkeit von (a) Bereich und Halbfeld sowie (b) Feedback-Zeitpunkt, Bereich und Feedback-Bedingung. In (a) diente die Differenz der Bewegungszeiten zwischen dem linken und rechten Halbfeld als abhängige Variable, in (b) wiederum die Differenz der Bewegungszeiten zwischen den Durchgängen mit Feedback und den Durchgängen ohne Feedback. Fehlerbalken zeigen das Konfidenzintervall nach Cousineau (2005) und Morey (2008). . . . . 46

17	Aufbau des zweiten Experiments. Grün gekennzeichnet ist das Handheld, rot die Homing-Taste. Die Teilnehmer saßen in 2, 3 oder 4 m Entfernung zum Fernsehgerät. . . . .	56
18	Ablauf des zweiten Experiments. Zur Verdeutlichung, wie auf der Unterseite getippt wurde, ist das Handheld in (b), (c), (d) und (e) transparent dargestellt. . . . .	58
19	Die drei möglichen Abstände, die zwischen den beiden präsentierten Targets im zweiten Experiment liegen konnten. . . . .	59
20	Mittlerer räumlicher Fehler im zweiten Experiment in Abhängigkeit der Strecke. Fehlerbalken zeigen das Konfidenzintervall nach Cousineau (2005) und Morey (2008). . . . .	60
21	Die untersuchten Smartphone-Hüllen von Corsten, Cherek, Karrer und Borchers (2015). A bot keinerlei haptisches Feedback, B wies einen Rahmen auf, C wies einen Rahmen und eine geringe Anzahl von Noppen auf, D hatte einen Rahmen und eine hohe Anzahl von Noppen, E wies einen Rahmen mit einem groben Raster auf, F hatte einen Rahmen und ein engmaschiges Raster. . . . .	68

**Inhaltsverzeichnis**

<b>Zusammenfassung</b>	ii
<b>Danksagung</b>	iii
<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
Handlungseffekte und sensomotorische Transformation . . . . .	3
Visuelles und propriozeptives Feedback . . . . .	8
Adaptation in der sensomotorischen Transformation . . . . .	15
Physiologische Determinanten . . . . .	17
Ausarbeitung der Fragestellung . . . . .	20
<b>Experiment 1</b>	<b>25</b>
Methode . . . . .	25
Stichprobe . . . . .	25
Apparatur und Stimuli . . . . .	25
Versuchsablauf . . . . .	28
Design . . . . .	31
Ergebnisse . . . . .	32
Räumlicher Fehler . . . . .	33
Bewegungszeit . . . . .	42
Diskussion . . . . .	47
<b>Experiment 2</b>	<b>55</b>
Methode . . . . .	55
Stichprobe . . . . .	55
Apparatur und Stimuli . . . . .	55
Versuchsablauf . . . . .	56
Design . . . . .	58
Ergebnisse . . . . .	59
Räumlicher Fehler . . . . .	60

Bewegungszeit . . . . .	60
Diskussion . . . . .	61
<b>Allgemeine Diskussion</b>	<b>64</b>
<b>Literatur</b>	<b>69</b>
<b>Anhang</b>	<b>74</b>

Untersuchung der Interaktion zwischen der Handheld-Rückseite und einem entfernten Bildschirm in einer sensomotorischen Transformationsaufgabe

Die Interaktion mit Smartphones und Handhelds<sup>1</sup> ist ein täglicher Bestandteil unseres Lebens. Sie finden im Alltag vieler Menschen große Verwendung und werden neben dem Telefonieren für eine Vielzahl anderer Tätigkeiten, wie der Wiedergabe von Medien und dem Abruf aktueller Nachrichten, genutzt. Die Bedienung von Touchscreens unterscheidet sich jedoch grundlegend von konventionellen Eingabegeräten auf der Basis von spürbaren Tasten. Aufgrund der hohen alltäglichen Relevanz gibt es eine Vielzahl von Forschungsarbeiten, welche die Bedienung von Touchscreens untersuchten und mit herkömmlichen Eingabegeräten verglichen – erste Forschungsbeiträge dazu gab es bereits in den 1960er Jahren (für eine Übersicht siehe Buxton, 2007). Doch trotz der starken Präsenz von Touchscreens im Alltag unterliegt die Interaktion mit diesen besonderen Einschränkungen. Ein Beispiel hierfür sind unterschiedliche Elemente einer Benutzeroberfläche, welche derselben Interaktion bedürfen. Das Verschieben eines Bildausschnittes auf einem Smartphone etwa verlangt dieselbe Eingabe wie das Verschieben eines Objektes in selbigem Bildausschnitt. Die Geste kann jedoch nur einer Handlung zugeordnet werden. Gerade solchen Einschränkungen widmeten sich in der Vergangenheit bereits viele Arbeiten. Ihr Ziel war es, ständig neue Möglichkeiten aufzuzeigen, Touch-Eingaben auf völlig neue Art und Weise in verschiedensten Kontexten nutzbar zu machen.

Eine Lösungsmöglichkeit stellt die Einführung von Gesten dar. Roth und Turner (2009) etwa arbeiteten Gesten aus, um den beschriebenen Konflikt aufzulösen ohne die Notwendigkeit einer Änderung der technischen Gegebenheiten. Ein anderer Ansatz, solchen Konflikten zu begegnen, ist die Zuhilfenahme neuer Eingabemodalitäten und -dimensionen. Heo und Lee (2011) entwickelten einen druckempfindlichen Touchscreen und ermöglichten hiermit neue Interaktionsmöglichkeiten, wie das Umblättern mehrerer Seiten durch nur ein einziges stärkeres Wischen auf einem e-Book-Reader. Auch

---

<sup>1</sup> Oberbegriff für Smartphones, Tablets und sonstige Touchscreen-basierte Geräte in einer Größe von 5 bis 10 Zoll.

Buschek, Schoenleben und Oulasvirta (2014) konzipierten eine neue Methode. Sie versahen eine Handheld-Rückseite mit einer Touch-empfindlichen Oberfläche und implementierten eine Tastatur auf dieser. So erschlossen sie die ungenutzte Fläche auf der Rückseite als zusätzliche Eingabemethode, die gebraucht werden kann, während das Tablet beidhändig gehalten wird.

Andere Arbeiten untersuchen die Einbettung und Nutzung von Touchscreens in neuen Umgebungen. Im Kontext von Smart-TVs etwa ist die Bedienung eines entfernten Fernsehgerätes durch ein Handheld eine interessante Art der Manipulation von Inhalten der Benutzeroberfläche, die neue Potentiale der Interaktion erschließt. Corsten, Cherek, Karrer und Borchers (2015) untersuchten etwa eine solche Interaktion, bei der der Inhalt eines Smartphone-Displays auf ein Fernsehgerät projiziert wurde, um eine größere Darstellung zu ermöglichen, wobei der Smartphone-Touchscreen weiterhin als Eingabemethode fungierte.

Es existieren darüber hinaus weitere Arbeiten, welche die beiden Ansätze, neue Arten der Eingabe bzw. neue Anwendungskontexte zu konzipieren, kombinieren. Eine entsprechende Anwendung ist das Bedienen eines Videospiele auf einem Fernsehgerät durch ein Handheld. Als Beispiel sei ein Videospiele wie *Super Mario Land* genannt (Nintendo K.K., 1990). Dieses Spiel ist einem breiten Publikum bekannt und es ist die Aufgabe des Spielers, einen Avatar durch eine virtuelle Umgebung zu bewegen und Gegnern auszuweichen oder sie etwa durch das Werfen von Geschossen zu besiegen. Während das Handheld beidhändig im Querformat festgehalten würde, könnte mit der Vorderseite die Bewegung des Avatars gesteuert werden, während die Rückseite für andere Interaktionen dienen würde, wie dem Abfeuern genannter Geschosse. Der Berührungspunkt auf der Rückseite würde hierbei die Flugrichtung des Geschosses definieren. Besonders für Anwendungen, in denen eine große Zahl verschiedenartiger Eingaben verlangt ist, wären solche Interaktionen von Vorteil.

Die vorliegende Arbeit soll eben diese Form der Interaktion zwischen Nutzer und einem fernen Bildschirmmittels eines Handhelds genauer untersuchen. Es soll ein Interaktionsszenario ausgearbeitet werden, bei dem die Handheld-Rückseite als

zusätzliche Eingabe fungiert, um die Inhalte auf einem entfernten Bildschirm zu manipulieren. Diese Form der Interaktion, bei der die Bewegungen der Hände auf den Bildschirm transformiert werden, um einen entfernten Effekt zu erzielen, nennt sich *sensomotorische Transformation*. Das Ziel dieser Arbeit ist es, den Einfluss begünstigender Variablen, wie der Handheld-Größe, visuellen Feedbacks und perspektivischer Veränderungen, auf diese Transformation zu erforschen. Besonderes Augenmerk soll dabei auf der Betrachtung involvierter psychologischer und kognitiver Mechanismen liegen, welche hierbei wirken. Das auszuarbeitende experimentelle Szenario soll zu diesem Zweck auf Basis bisheriger Forschungsarbeiten von sonstigen Einflussgrößen, wie etwa physiologischen und anderen nicht-kognitiven, weitestgehend abstrahieren, um jene Prozesse zu untersuchen.

### **Handlungseffekte und sensomotorische Transformation**

Zur Identifizierung relevanter Größen, welche die sensomotorische Transformation, welche bei der Nutzung der Rückseite eines Handhelds zur Bedienung eines entfernten Displays vollzogen wird, begünstigen, ist ein genaueres Verständnis dieser Transformation unabdingbar. Hierzu ist es hilfreich Arbeiten heranzuziehen, welche solche Konzepte bereits untersuchten. In der Arbeit von Corsten et al. (2015) bedienten Nutzer ebenfalls ein Fernsehgerät mit einem Smartphone. Der Hintergrund war ein Szenario, in dem Inhalte des Smartphones aus Gründen des Komforts vergrößert auf dem Fernsehgerät angezeigt werden. Bei der Bedienung sahen Nutzer nun ausschließlich auf das Fernsehgerät, während sie die Eingaben wiederum auf dem Smartphone tätigten. Zur Erhöhung der Genauigkeit, entwickelten die Autoren eine Hülle für die Rückseite des Smartphones, welche in einem Raster angeordnete kleine Noppen aufwies. Wenn die Probanden nun ein Element der Benutzeroberfläche auf dem Fernsehgerät auslösen wollten, suchten sie zunächst mit dem Zeigefinger eine Noppe auf der Rückseite, die jenem Punkt auf der Vorderseite am nächsten lag, welcher dem intendierten Bedienelement auf dem Fernsehgerät entsprach. Den entsprechenden Punkt auf der Vorderseite lösten sie nun mit dem Daumen aus (siehe Abbildung 1). Der Zweck

dieser Hülle war es, ein einfaches Hilfsmittel zu entwickeln, das die Genauigkeit bei der Interaktion erhöht, ohne dass Änderungen an der Software, etwa die Implementierung visuellen Feedbacks, oder den sonstigen Gegebenheiten vorgenommen werden müssen.

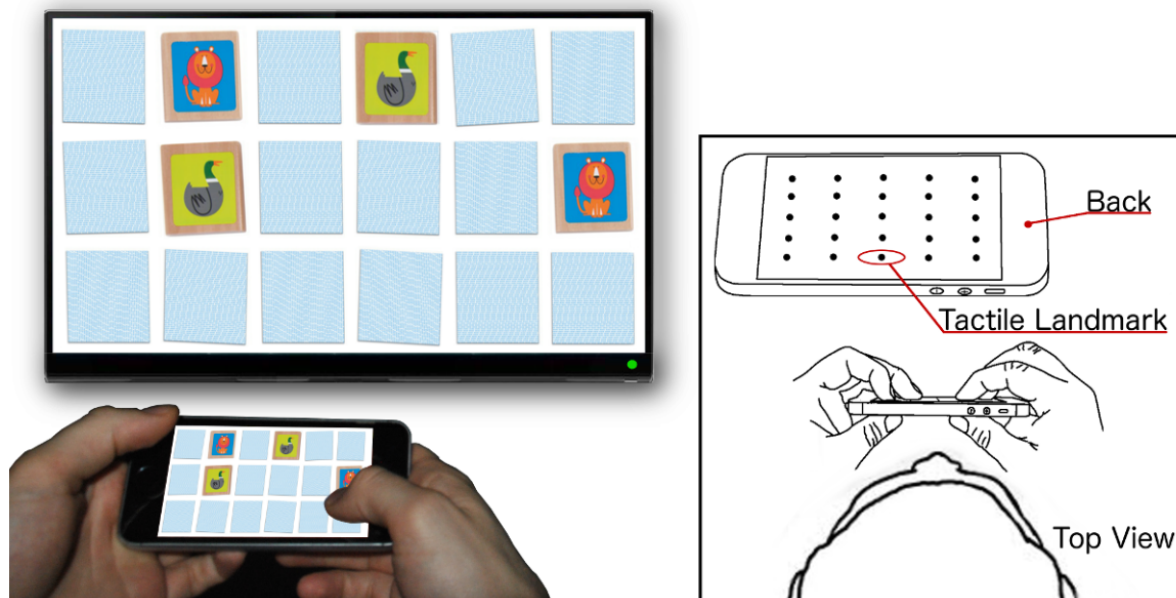


Abbildung 1. Bedienung eines entfernten Fernsehgerätes mittels eines Smartphones (Corsten, Cherek, Karrer & Borchers, 2015).

Weiteren Aufschluss über die vorstattengehende Interaktion gibt die Zerlegung der Handlung in kleinere Bestandteile, denn hier kann die Wirkung zweier Prozesse nachgewiesen werden. Zum einen ist es das Ziel des Nutzers, Inhalte auf dem Fernsehgerät zu manipulieren, denn auf diesen blickt er ständig, zum anderen steuert er das Fernsehgerät nicht durch direkte Eingabe, sondern durch eine Interaktion mit dem Smartphone. Müsseler und Sutter (2012) führen diese Differenzierung in ihrer Übersichtsarbeit genauer aus. Das Ergebnis dieser beiden Koordinationsprozesse wird als *proximaler* bzw. *distaler* Handlungseffekt bezeichnet und die Übersetzung des einen in den anderen als sensomotorische Transformation. Relevant für die Zielerreichung ist zumeist der distale. Beim Werkzeuggebrauch geht es schließlich nicht um das Bewegung der Hand als Selbstzweck, sondern um das Hinwirken auf einen Effekt, den es mit dem Werkzeug zu erzielen gilt. Letztere Aussage trifft auch auf die Steuerung eines Fernsehgerätes durch ein Smartphone zu: Das Ziel ist die Manipulation der Inhalte auf



dem Fernsehgerät. Die von Müsseler und Sutter (2012) entnommene Abbildung 2 stellt die beiden wirkenden Regelungsprozesse sehr anschaulich dar. Hierin wird zunächst unterschieden zwischen *intern* – alle Prozesse und Abläufe innerhalb bzw. mittels des Körpers – und *extern* – Prozesse und Abläufe außerhalb und fern des Körpers. Die gepunktete und die gestrichelte Linie stehen für den proximalen bzw. distalen Effekt der Handlung, welcher über verschiedene Feedback-Modalitäten rückgemeldet wird. Die Terminologie *Effektor* bezieht sich auf das ausführende Organ bzw. Werkzeug. Das Zusammenführen der beiden Handlungseffekte wird wiederum als *multisensorische Integration* bezeichnet. Im Kontext von Corsten et al. (2015) wäre der interne Effektor die Hand und der externe das Smartphone bzw. die Software, die die Transformation vornimmt. Der proximale Handlungseffekt wäre das Feedback über die Bewegung der Hand und der distale das sich verändernde Bild auf dem Fernsehgerät.

Es ist weiterhin wichtig, verschiedene Einflussfaktoren im Hinblick auf die multisensorische Integration zu untersuchen, um Wissen hierüber auf das zu entwickelnde Untersuchungsszenario anzuwenden. Müsseler und Sutter (2012) formulierten drei Gruppen solcher Faktoren: (1) Übereinstimmung bzw. Nicht-Übereinstimmung der Bewegungsrichtung von Effektor und Werkzeug, (2) zwischen proximalem und distalem Effekt wirkende Verstärkungsfaktoren und (3) perspektivische Verzerrungen (nur eine Auswahl, für weitere siehe Müsseler & Sutter, 2012). Während Verstärkungsfaktoren und perspektivische Verzerrungen Thema eines folgenden Kapitels sind, soll nun die Bedeutung der Übereinstimmung der Bewegungsrichtung von Effektor und Werkzeug diskutiert werden. Diese Thematik erforschten Kunde, Müsseler und Heuer (2007). Hierzu nutzten sie ein Paradigma, welches den Einfluss von Kompatibilitätseffekten auf den Werkzeuggebrauch untersucht. Den Hintergrund für diese Untersuchung stellt die Laparoskopie dar, eine operative Methode der Medizin, bei der durch ein längliches Werkzeug mikroinvasiv durch die Bauchdecke operiert wird. Hierbei wird die Bewegungsrichtung des Werkzeugs durch die Bauchdecke invertiert – Bewegungen der Hand nach links bedeuten eine Auslenkung des Werkzeugs nach rechts und andersherum. Diese Situation wurde von den Autoren

nachgebildet. Zwei links bzw. rechts angeordnete Lampen dienten dabei als Stimuli, wobei immer nur eine Lampe aufleuchtete. Ein Werkzeug musste in Abhängigkeit der aufleuchtenden Lampe nach links bzw. rechts ausgelenkt werden. Hierbei gab es zwei mögliche Zuordnungen: Entweder erlaubte die Vorrichtung ein direktes Auslenken, d.h. das Werkzeug bewegte sich in dieselbe Richtung wie die Hand, oder sie erlaubte eine invertierte Auslenkung – Hand und Werkzeug liefen in entgegengesetzte Richtungen. Zudem wurden die Teilnehmer auf zwei verschiedene Weisen instruiert: Entweder sollten sie das Werkzeug in Richtung der Lampe oder von dieser weg bewegen. Es zeigte sich ein zeitlicher Vorteil, wenn das Werkzeug in Richtung der aufleuchtenden Lampe ausgelenkt werden sollte, ungeachtet der potentiell inversen Bewegungsrichtung der Hand. Dies ist ein Indiz dafür, dass nicht die Hand, sondern das Werkzeug selbst die relevante Größe ist.

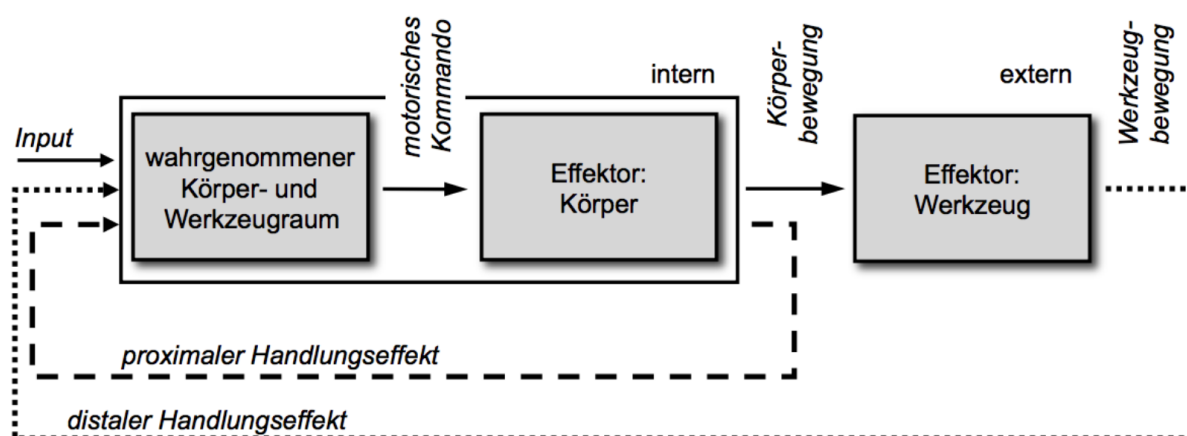


Abbildung 2. Proximaler und distaler Handlungseffekt (Müsseler & Sutter, 2012).

Die Fähigkeit des Menschen, den Effekt des Werkzeugs in den Vordergrund zu stellen, ist nahezu einzigartig. Neben ihm und einigen Affenarten sind nur wenige Spezies hierzu in der Lage (z.B. wenige Krähenarten, siehe hierzu Kenward, Weir, Rutz & Kacelnik, 2005). Der Grund für diese Fähigkeit kann hier auf neuronaler Ebene gefunden werden. In Experimenten mit Makaken-Affen (Maravita & Iriki, 2004) konnte gezeigt werden, dass es nicht nur eine statische Repräsentation der Hand gibt, vielmehr wird beim Werkzeuggebrauch dieses auf neuronaler Ebene repräsentiert und in das *Körperschema* integriert. Das Werkzeug wird sozusagen der verlängerte Arm des Benutzers.

Für ein tieferes Verständnis sensomotorischer Transformation und eine breitere Grundlage für die Untersuchung dieser in der zu Beginn aufgeworfenen praktischen Fragestellung bietet sich eine weitere Differenzierung an. In einem etwas anwendungsorientierteren, ergonomischen Ansatz unterteilten Douglas und Mithal (1997) Eingabegeräte in *isometrisch* und *isotonisch*. Isometrische Eingabegeräte werden über Kraft bedient. Ein typisches Beispiel sind Trackpoints von Laptop-Tastaturen: je stärker der Knopf ausgelenkt wird, desto schneller bewegt sich der Cursor. Isotonische Eingabegeräte hingegen werden durch Fingerbewegungen auf einer Pad-Oberfläche gesteuert. Hier gibt es absolute Modi – Cursor und Finger legen dieselbe Strecke zurück –, oder relative – zwischen Cursor- und Fingerbewegung gibt es eine lineare Relation. Einen psychometrischen Ansatz hingegen lieferte Heuer (1983). Er definierte die zwei Kategorien *Bahntransformation* und *räumlich-zeitliche Transformation*. Die Bahntransformation beschreibt die räumliche Relation zwischen etwa Cursor und Finger. Eine einfache Variante besteht beispielsweise, wenn sich Cursor und Finger in dieselbe Richtung bewegen (siehe Abbildung 3a). Eine schwierigere Variante liegt vor, wenn sich der Finger linear in eine Richtung und der Cursor um  $90^\circ$  versetzt bewegt (z.B. wenn der Computer-Monitor um  $90^\circ$  gedreht wird, siehe Abbildung 3b). Wiederum eine andere Variante besteht, wenn sich der Cursor auf einer kreisförmigen Bahn bewegt, während sich der Finger auf einer linearen Bahn bewegt (siehe Abbildung 3c). Die räumlich-zeitliche Transformation beschreibt hingegen die räumlich-zeitliche Beziehung zwischen Finger und Cursor. Bei einer einfachen proportionalen Transformation verhält sich die räumliche Relation zwischen Finger und Cursor konstant über die Zeit – möglicherweise mit einem konstanten Verstärkungsfaktor. Dies bedeutet, bei konstanter Geschwindigkeit des Fingers bleibt auch der Cursor konstant schnell. Ein anderes Beispiel ist eine Integral-Transformation. Hier ist der Verstärkungsfaktor zwischen Finger und Cursor ein Integral über die Zeit, d.h. bei konstanter Geschwindigkeit des Fingers wird der Cursor über die Zeit immer schneller. Eine sehr gute Übersicht über die genannten Unterscheidungen ist der Arbeit von Sutter (2006) zu entnehmen.

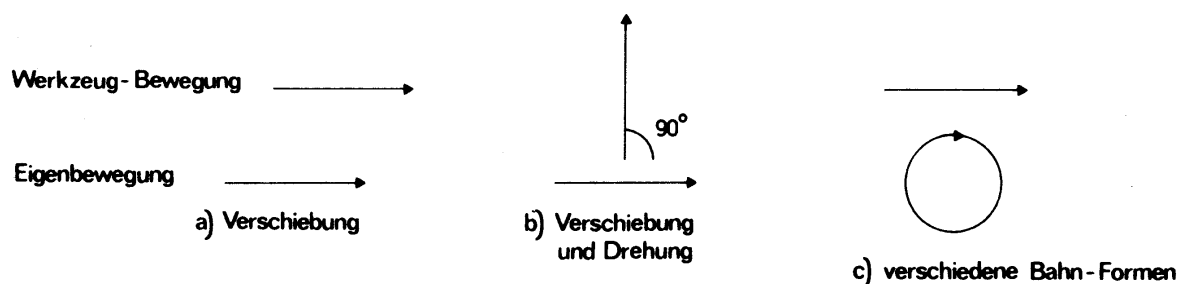


Abbildung 3. Einige Bahntransformationen (Heuer, 1983).

Eine Einbettung dieser theoretischen Überlegungen in die Praxis gab Sutter (2007). Sie untersuchte die genannten Beispiele für isometrische und isotonsische Eingabegeräte – Touchpad und Trackpoint am Laptop – genauer. Novizen und Experten übten den Umgang mit den beiden Methoden und es zeigte sich für beide Gruppen, dass das Touchpad eine schnellere Eingabe erlaubte. Zur Untersuchung der Thematik wurde ein Aufgabentyp verwendet, der auf der Arbeit von Fitts (1954) basiert, welcher eine bedeutende psychometrische Gesetzmäßigkeit aufdeckte: Die Bewegungszeit ist abhängig von der Bewegungsamplitude und der Zielgröße. Diese Gesetzmäßigkeit wurde später unter anderem von MacKenzie (1992) präzisiert und konnte in vielen Arbeiten bestätigt werden. Auch im Kontext von Interaktionen mit einem Tablet, das mit beiden Händen gehalten wird, ist dieser Zusammenhang von großer Bedeutung. Die durch den Griff induzierte Ausgangslage der Finger stellt hier den Startpunkt dar und das anzutippende Element auf dem Tablet das Ziel. Eine ähnliche Relation liegt also nahe und muss beim Design von Benutzeroberflächen in Bezug auf die zeitliche Effizienz dringend berücksichtigt werden.

### Visuelles und propriozeptives Feedback

Die Relevanz und Nützlichkeit von Feedback beim Erlernen von Handheld-Interaktionen und somit spezifischen motorischen Fähigkeiten wurde von einer Vielzahl von Arbeiten untersucht. Das von Löchtfeld, Hirtz und Gehring (2013) entwickelte Konzept zur Nutzung des Zeigefingers als ergänzende Eingabemodalität auf der Smartphone-Rückseite ist nur eines von vielen Beispielen. Nutzer interagierten in

einem Versuchsszenario mit einem Smartphone und konnten Zeigefinger auf der Rückseite und Daumen auf der Vorderseite zugleich nutzen. Um die Genauigkeit des Zeigefingers zu erhöhen, wurde den Nutzern stets der letzte berührte Punkt auf dem Display angezeigt. Das von den Autoren entwickelte Konzept war in der Eingabe zwar langsamer als eine herkömmliche Interaktion, jedoch war es stets genauer.

Eine Erklärung für die Vielseitigkeit und Variabilität der Nützlichkeit für Feedback gibt Konczak (2008). Er beschreibt Feedback als einen Ist-Soll-Vergleich und Prozess der Regelung von Motorik. Solche Regelungen werden auch *Closed-Loop*-Prozesse genannt und erhalten Information aus dem afferenten System des Körpers (siehe Abbildung 4A). Die afferente Information benötigt jedoch zum einen Zeit, um zum Gehirn zu gelangen, und zum anderen, um verarbeitet zu werden. Hiermit lassen sich Effekte wie die beschriebenen von Löchtfeld et al. (2013) erklären, denn die längeren Bewegungszeiten könnten durch eine verzögerte Übermittlung des Feedbacks sowie dessen Verarbeitung verursacht sein. Ähnliche Beobachtungen können bei schnellen und hoch automatisierten Bewegungen gemacht werden, bei denen die Anwesenheit von Feedback kontraproduktiv wirken kann. Auch können kleine Oszillationen in der Bewegung die Folge sein, da die Information, die das Gehirn erhält, stets leicht verzögert wahrgenommen wird. Bei der Initiierung einer Handlungskorrektur ist das Feedback womöglich nicht mehr aktuell und es bedarf beispielsweise einer kleineren Korrektur als der initiierten. Bloße Steuerungsprozesse, auch *Open-Loop*-Prozesse oder *Feedforward*-Kontrolle genannt, können also auch Vorteile aufzeigen, da diese keines Feedbacks bedürfen (siehe Abbildung 4B). Die fehlende oder nur verspätete Korrekturmöglichkeit stellt allerdings naturgemäß auch einen Nachteil dar, denn diese ist erst nach der Handlung möglich.

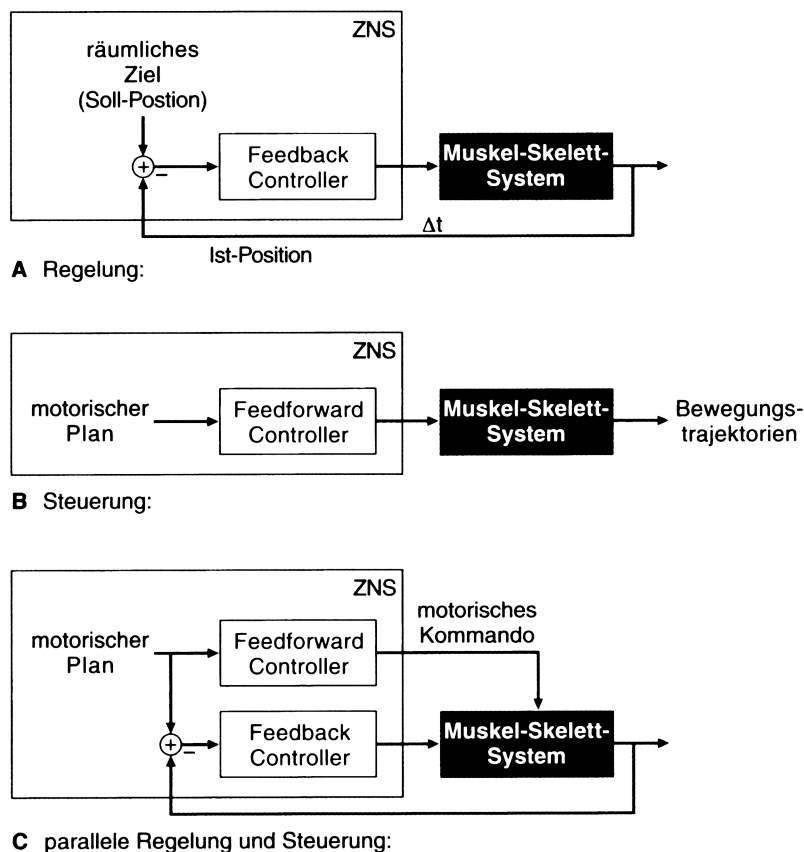


Abbildung 4. Feedback- und Feedforward-Kontrolle (Konczak, 2008).

Eine andere Feedback-Modalität machten sich Corsten et al. (2015) zu Nutze. In dem bereits beschriebenen Untersuchungsszenario bedienten die Nutzer ein Fernsehgerät mit einem Smartphone, ohne auf letzteres zu blicken bzw. ohne visuelles Feedback über die Lage der Hände und Finger zu erhalten. Um die Genauigkeit bei der Bedienung auf der Vorderseite weiter zu optimieren, konzipierten die Autoren eine Hülle, die auf einfache Weise auf der Rückseite des Smartphones angebracht werden konnte und durch spürbare Noppen eine Orientierung bot. Die Genauigkeit der Eingaben konnte auf diese Weise gegenüber der Eingabe ohne die entwickelte Hülle signifikant verbessert werden. Corsten et al. (2015) postulierten, dass der Grund für diesen Leistungsvorteil *propriozeptives* Feedback sei – eine Rückmeldung der Hand, die Auskunft über die relative Lage des Daumens zum Finger gibt und es somit erlaubt, ohne visuelle Kontrolle jenen Punkt auf der Vorderseite zu treffen, der dem Daumen am nächsten liegt. Die Autoren berichteten weiter, dass insbesondere in der Nähe des

spürbaren Rahmens der entwickelten Hülle die Leistung überlegen war. Auch dies kann auf Propriozeption zurückgeführt werden, denn das Ertasten des Rahmen stellt eine nützliche Referenzinformation dar.

*Propriozeption* wurde erstmals von Sir Charles Bell (1774–1842) als Bewegungs- und Lagesinn beschrieben und später von Sir Charles Sherrington (1857–1952) benannt (Cole, 2006). Sie basiert auf einer Reihe von Rezeptoren, welche sich überall im Körper befinden, und wird zum Körperempfinden gezählt, welches Informationen über das Körperinnenleben vermittelt (Schröger, Kaernbach & Schönwiesner, 2008). Diese Rezeptoren geben Auskunft über eine Vielzahl von Parametern unseres Körpers, wie etwa der Spannung von Muskeln und Sehnen sowie der Gelenkstellung. Genauer sind Muskelspindeln und Golgi-Sehnenorgane für Länge und Dehnung verantwortlich sowie Ruffini- und Pacini-Körperchen für die Winkelstellung der Gelenke (für ein genaueres Bild siehe auch Moyes & Schulte, 2008). Ihre Hauptaufgaben sind vor allem (1) Reflexe zur Stabilisierung der Geh- und Stützmotorik bei einer ungewollten passiven Änderung und (2) willkürliche motorische Kontrolle als eine Art interne Feedback-Modalität (Wolf, Müller-Tomfelde, Cheng & Wechsung, 2012).

Um die essentielle Bedeutung von Propriozeption deutlich zu machen, sei an dieser Stelle als Beispiel der Fall des Ian Waterman (Cole, 2006) genannt. Ian Waterman erkrankte in den 1980er Jahren an einer Virusinfektion, die sehr schnell voranschritt. Hierdurch wurde sein afferentes Nervensystem abwärts des Halses geschädigt, wodurch er seinen Berührungssinn und Propriozeption verlor, während Temperatur- und Schmerzempfinden erhalten blieben. Weil sein Gehirn nun keine Information mehr über seine Muskelstellungen erhielt, kam es zunächst zu einem Verlust jeglicher Bewegungsfähigkeit. Durch Beobachten seiner Bewegungen gelang es ihm die fehlende afferente Information auszugleichen und so unter anderem das Laufen erneut zu erlernen. So gelang durch ständige visuelle Kontrolle und motorische Erinnerungen über relevante Muskelpartien der erneute Aufbau einer Art Regelkreis und er konnte wieder laufen.

Die genannten beispielhaften Feedback-Modalitäten – visuell und propriozeptiv – üben gesondert bereits einen bedeutsamen Einfluss auf die Leistung in motorischen Aufgaben aus. Darüber hinaus gibt es weiterführende Arbeiten, die Situationen untersuchen, in denen multisensorisches Feedback gegeben wird, d.h. unterschiedliche sensorische Modalitäten zur selben Zeit verarbeitet werden. Van Beers, Wolpert und Haggard (2002) geben einen Überblick über eine Vielzahl von Arbeiten, die bei einer multisensorischen Verarbeitung eine Dominanz der visuellen Information bei gleichzeitig dargebotener propriozeptiver Information festgestellt haben. Um diesen Zusammenhang genauer zu untersuchen, bedienten sie sich eines Adaptationsparadigmas. Die Teilnehmer sollten die Position ihrer Hand basierend auf visuellem bzw. propriozeptivem Feedback schätzen. Hierbei wurde entweder kein Feedback oder verzerrtes Feedback dargeboten, d.h. die wahrgenommene Lage der Hand war stets um einen Faktor verschoben. Verglichen wurde die Leistung in einem Prä- und einem Post-Test ohne Feedback, zwischen denen eine Adaptationsphase mit verzerrtem Feedback lag. Der Ansatz hierbei ist, dass im Post-Test die Adaption noch immer präsent sein sollte, wenn diese zuvor zuverlässig gelernt wurde. Die Differenz zwischen Prä- und Post-Test, in denen keine Adaptation notwendig ist, kann also als Indikator für eben jene Anpassung genutzt und als Adaptationsleistung betrachtet werden. Die Autoren konnten zeigen, dass in ihrem speziellen Versuchsaufbau die Tiefeneinschätzung der Position der Hand eher auf Propriozeption beruhte. Sie erklärten diesen Effekt mit dem *Optimalen Integrationsmodell* (engl. Optimal Integration Model, OIM), auf dessen Basis das Gehirn Gewichtungen von Information verschiedener Modalitäten vornimmt, welche sich hinsichtlich ihrer Qualität unterscheiden.

Den Ansatz des OIM griffen auch Wolf et al. (2012) auf. Sie stellten Nutzern eine Aufgabe, bei der ein Tablet beidhändig festzuhalten war, welches auf der oberen Seite ein Display und beidseitig eine touch-empfindliche Oberfläche hatte. Nun wurden blaue Kreise in Fingerkuppengröße auf der Vorderseite präsentiert, welche entweder auf der Vorder- oder der Rückseite angetippt werden sollten. Im Falle einer Interaktion auf der Rückseite wurde entweder kein Feedback oder visuelles Feedback in Form von roten



Kreisen gezeigt, welche den getroffenen Punkt markierten. Die Ergebnisse zeigten, dass es in der gestellten Aufgabe für die Interaktion auf der Rückseite keinen Unterschied machte, ob hierfür visuelles Feedback auf der Vorderseite dargeboten wurde oder nicht. Hieraus schlussfolgerten die Autoren, dass Propriozeption in spezifischen Kontexten die Abwesenheit von visuellem Feedback kompensieren könnte.

Eine Arbeit, welche einen gegenteiligen Effekt attestiert, lieferten Ladwig, Sutter und Müsseler (2012). Sie entwickelten ein Szenario, in dem in einer ersten Phase eine lineare Strecke auf einem Grafiktablet entlang einer eingelassenen Rille mit einem Stift zurückgelegt werden musste (proximaler Effekt), wobei die Nutzer ihre Hände nicht sehen konnten. Gleichzeitig war auf einem Bildschirm ein Cursor zu sehen, welcher sich in einer definierten Relation zum Stift bewegte (distaler Effekt, siehe Abbildung 5a). Diese Relation konnte entweder nicht verzerrt, d.h. Cursor und Stift bewegten sich gleich schnell, oder verzerrt sein, d.h. der Cursor bewegte sich schneller oder langsamer als der Stift (siehe Abbildung 5b). Durch die Variation dieses Umsetzungsfaktors konnten die zurückgelegten Strecken von Stift und Cursor entweder gleich oder unterschiedlich lang sein. Die Bewegung war abgeschlossen, wenn der Cursor von einem definierten Start- zu einem Endpunkt bewegt wurde, wobei die Distanz zwischen ihnen variiert wurde. In der zweiten Phase gab es nun zwei Bedingungen. Ausgehend vom Endpunkt der zuvor gezeichneten Strecke sollten die Probanden ohne visuelles Feedback entweder (1) die mit dem Stift gezeichnete Strecke auf der Grundlage wahrgenommenen propriozeptiven Feedbacks aus der ersten Phase zurückfahren bzw. replizieren oder (2) die auf dem Bildschirm gesehene vom Cursor zurückgelegte Strecke auf der Grundlage des wahrgenommenen visuellen Feedbacks. Hiernach wurde die Differenz der in der ersten Phase wahrgenommenen und in der zweiten Phase replizierten Strecke berechnet. Diese wird als Nacheffekt bezeichnet und gilt als Maß für die wahrgenommene irrelevante sensorische Modalität, welche verarbeitet wurde, obwohl dies für die Aufgabe nicht notwendig war. Es zeigte sich, dass auch in jener Bedingung, in der die mit dem Stift auf dem Tablet motorisch zurückgelegte Strecke repliziert werden sollte, eine Tendenz bezüglich der Länge zur Cursor-Strecke bestand. Andersherum galt dies nicht.

Dies zeigt, dass in Abhängigkeit der Aufgabe auch eine visuelle Dominanz bzw. Dominanz des distalen Handlungseffekts nachgewiesen werden kann.

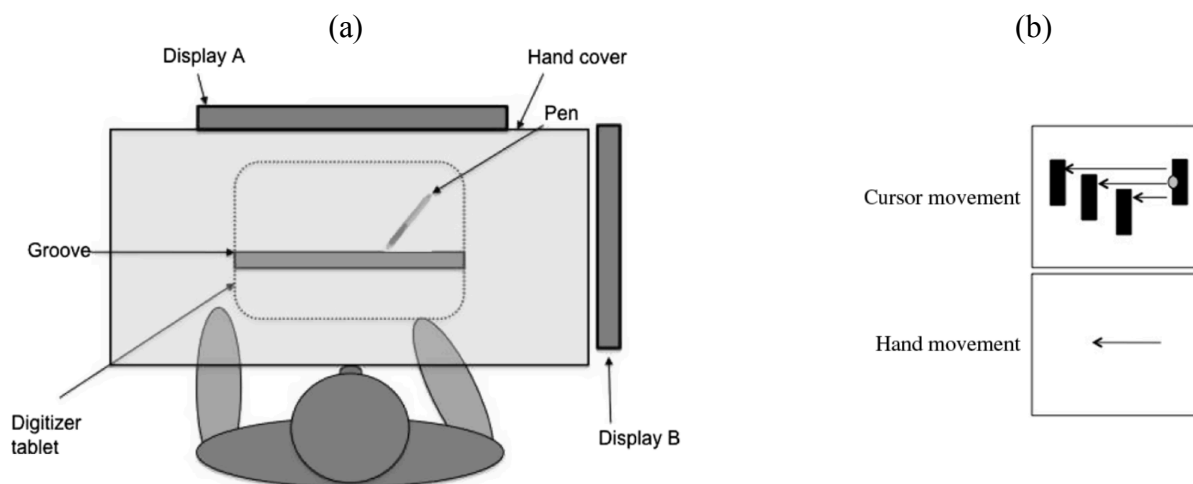


Abbildung 5. Aufbau (a) sowie eine der Experimentalbedingungen (b) aus der Arbeit von Ladwig, Sutter und Müsseler (2012).

Der Zeitpunkt des Feedback ist neben der Modalität ebenfalls von großer Bedeutung. Klassisch wird zwischen kontinuierlichem, also dauerhaft während der Bewegung, und terminalem, also nach der Bewegung, stattfindendem Feedback unterschieden. Die Fragen nach einem Unterschied zwischen genannten Kategorien hinsichtlich ihres Effekts auf die Leistung beim Erlernen motorischer Fähigkeiten ist etwa im Kontext von simulationsbasiertem Training besonders interessant. Simulationen haben den besonderen Vorteil, dass sie kostengünstig und risikoarm umgesetzt werden können. Letzteres Argument macht sie sehr wertvoll im Rahmen von neuen Operationsmethoden im medizinischen Umfeld, da hierbei keine Personen zu Schaden kommen können. Walsh, Ling, Wang und Carnahan (2009) widmeten sich der Fragestellung, ob kontinuierliches und terminales Feedback in verschiedener Weise den Erwerb solcher Methoden begünstigen. In einer solchen Simulation lernten Nutzer das Bedienen eines Endoskops mit bzw. ohne Feedback. Im Ergebnis zeigte sich, dass die beiden Gruppen sich hinsichtlich eines Prä-, Post- und Retention-Tests nicht unterschieden. In einem Transfertest schnitten jene, welche mit einem terminalen Feedback arbeiten, allerdings besser ab.

## Adaptation in der sensomotorischen Transformation

In vorherigen Kapiteln wurden neben der Übereinstimmung der Bewegungsrichtung von proximalem und distalem Handlungseffekt weitere Einflussfaktoren in Bezug auf die multisensorische Integration nach Müsseler und Sutter (2012) angesprochen. Zwischen den Handlungseffekten wirkende Verstärkungsfaktoren und perspektivische Verzerrungen spielen eine wesentliche Rolle in sensomotorischen Transformationsaufgaben. Vindras und Viviani (2002) führten eine Erhebung mittels einer Adaptationsaufgabe durch. Dabei sollten Nutzer einen Stift auf einem Tablet über eine definierte Distanz bewegen. Nach Abschluss der Bewegung wurde ihnen nicht-wahrheitsgemäßes terminales Feedback gegeben, d.h. die rückgemeldeten Distanzen waren zu lang oder zu kurz. Vor und nach der Adaptationsphase, welche ausschließlich mit der rechten Hand durchgeführt wurde, wurden Prä- und Post-Leistung für die linke sowie die rechte Hand erhoben. Die Nacheffekte zeigten, dass es eine Anpassungsleistung der rechten Hand stattgefunden hatte. Diese Anpassung zeigte sich darüber hinaus sogar für die untrainierte linke Hand.

Eine Erklärung für die Präsenz der beschriebenen Adaptation und für diese Transferleistung von der rechten auf die linke Hand kann in der Arbeit von Heuer und Hegele (2008) gefunden werden. Die Autoren postulierten, dass bei Adaptationsprozessen ein *internales* oder *mentales Modell* über die Transformation gebildet wird. Dies geschieht sowohl wissentlich als auch unwissentlich. Diese Annahme stützen sie auf eine eigens durchgeführte ähnliche Untersuchung, welche den Einfluss von terminalem und kontinuierlichem Feedback auf die visuomotorische Adaptationsleistung analysiert. In ihrem speziellen Paradigma wies lediglich die terminale Feedback-Gruppe Nacheffekte auf. Diese Ergebnisse führten zu der Annahme, dass es zwar Handlungen gibt, bei denen eine Closed-Loop-Kontrolle mittels visuellem Feedback unabkömmlich ist – vor allem bei sehr komplexen Handlungen –, dass diese Form des Feedbacks jedoch auch der Adaptation im Weg stehen kann. Die Anwesenheit kontinuierlichen Feedbacks macht es überflüssig, eine Transformation zu lernen. Hingegen müssen Nutzer, wenn terminales Feedback implizit oder explizit vorhanden

ist, ein Modell darüber anlegen, wie diese Transformation funktioniert. Ansonsten wird es ihnen nicht möglich sein, ihre Leistung zu verbessern.

Eine Arbeit, auf die vorgestellte Prinzipien zur Verzerrung sensomotorischer Transformation anwendbar sind, stellt jene von Gilliot, Casiez und Roussel (2014) dar. Hier wurde hinterfragt, inwieweit die Abmessungen des Touchpads eines Laptops einen Einfluss auf die Transformationsleistung haben. Manipuliert wurden hierbei zum einen das Seitenverhältnis und zum anderen die Größe des Touchpads. Insbesondere der Einfluss des Seitenverhältnisses ist im Kontext von Adaptationsprozessen eine interessante Fragestellung. Stimmt dieses nicht mit dem Bildschirm überein, kann durchaus von einer räumlichen Verzerrung gesprochen werden. Das Ergebnis war, dass das Seitenverhältnis Einfluss auf die Transformationsleistung hatte. Stimmt dieses mit dem Bildschirm überein, war die Leistung am besten. Das Größenverhältnis hatte ebenfalls Einfluss auf die Leistung. Wenn der Bildschirm kleiner war als das Touchpad, war die Leistung schlechter im Vergleich dazu, wenn der Bildschirm genauso groß oder größer war. Zwischen letzteren beiden Verhältnissen gab es keinen signifikanten Unterschied. Ein hervorzuhebender weiterer Aspekt der Untersuchung ist das hier genutzte Feedback. Die Autoren variierten das Feedback insofern, dass es den Nutzern in einer von drei Bedingungen selbst überlassen war, ob sie zur Kontrolle auf das Touchpad sahen oder nicht. In der zweiten Bedingung war es den Nutzern durch eine entsprechende Brille unmöglich, auf das Touchpad zu sehen. Wiederum in der dritten Bedingung konnten die Nutzer nicht auf das Touchpad blicken, durften jedoch die nicht-dominante Hand nutzen, um die Ränder des Touchpads vor der eigentlichen Interaktion zu ertasten. Mit visuellem Feedback agierten Nutzer am präzisesten. Außerdem war die Zuhilfenahme der nicht-dominanten Hand, die ein propriozeptives Feedback ermöglichte, in Abhängigkeit von der Gerätegröße bei abwesendem visuellem Feedback von Vorteil. Im Gegensatz zu den Ergebnissen von Corsten et al. (2015) zeigten die Nutzer die beste Leistung in der Mitte des Touchpads.

Auch in Bezug auf die Manipulation der Größe bei konstantem Seitenverhältnis in der Arbeit von Gilliot et al. (2014) könnte man von einer Verzerrung sprechen. Für die Tatsache, dass es keinen Leistungsunterschied gab, wenn der Bildschirm genauso groß oder größer als das Touchpad war, liefert Müsseler (2008) eine mögliche Erklärung. Bei der visuellen Wahrnehmung treten Phänomene der *Wahrnehmungskonstanz* auf. In einer dynamischen Umwelt erzeugen Objekte aus verschiedenen Perspektiven unterschiedliche retinale Abbilder im Auge. Eine Leistung des menschlichen Wahrnehmungsapparates liegt darin, dass diese dennoch als dieselben bzw. als *konstant* wahrgenommen und erkannt werden. Ein Beispiel für ein solches Phänomen stellt die *Größenkonstanz* dar, die perspektivische Verzerrungen korrigiert. Sehen wir einen Gegenstand aus verschiedenen Entfernungen, wird seine Größe dennoch immer gleich geschätzt. Grund hierfür sind relative Anhaltspunkte in der Umgebung, mit denen wir den Gegenstand in Relation setzen können. Im Fall der Arbeit von Gilliot et al. (2014) könnte eben jenes Prinzip gewirkt haben. Der anzutippende Punkt auf dem Touchpad könnte mit dem Rahmen des Touchpads in Relation gesetzt worden sein. Dies könnte zu einer unverändert präzisen Schätzung geführt.

### **Physiologische Determinanten**

Eine wichtige Rolle bei der Bedienung von Handhelds mittels Touchscreens spielen physiologische und anatomische Aspekte. Bergstrom-Lehtovirta und Oulasvirta (2014) untersuchten diese Zusammenhänge genauer, indem Sie Probanden eine Aufgabe stellten, bei der sie ein Smartphone einhändig festhielten und mit dem Daumen auf der Vorderseite Eingaben tätigen sollten. Die Autoren beschrieben, dass bisherige Forschung bzgl. solcher Zusammenhänge grundsätzlich in drei Bereiche unterteilt werden könnten: (1) Entwicklung neuer Anordnungen und Platzierung von Elementen auf der Benutzeroberfläche, (2) Evaluation von Effekten der Elementplatzierung auf den Griff der Hand und die Leistung sowie (3) die Adaptation von Interfaces an den Griff der Hand. Am zuletzt Genannten setzten auch die Autoren an und erarbeiteten ein Modell, um den erreichbaren Raum des Daumens zu beschreiben. Hierzu zogen sie Variablen wie

die Größe der Oberfläche des Handhelds, die Handgröße und die Position des Zeigefingers auf der Rückseite heran. Das auf diese Weise entwickelte Modell war in der Lage, in einer weiteren Validierungsstudie mit ausschließlich weiblichen Probandinnen, den erreichbaren Raum des Daumens auf einem Smartphone effektiv vorherzusagen. Darauf basierend argumentierten die Autoren, dass das Modell nicht nur zum Design von Benutzeroberflächen, sondern auch als ein Instrument zur Messung der Güte in Bezug auf die Erreichbarkeit der Elemente genutzt werden könne.

Wie nützlich solche biomechanischen Zusammenhänge sind, konnten auch Hakoda, Fukatsu, Shizuki und Tanaka (2015) zeigen. In einer Arbeit untersuchten sie die erreichbare Fläche des Zeigefingers auf der Rückseite eines Smartphones. Mit dem Wissen hierüber entwickelten sie im Anschluss eine spürbare Taste auf der Rückseite, lokalisiert an der optimalen Position, welche als Ergänzung zu Touch-Eingaben auf der Vorderseite fungierte. Die Autoren postulierten, dass eine solche Taste vor allem nützlich sei, wenn das zu bedienende Gerät besonders groß sei und es deshalb schwer falle, mit dem Daumen alle Bereiche abzudecken. So könne die Taste beispielsweise als eine Art Feststelltaste genutzt werden, wie sie auch auf Tastaturen zu finden ist. Diese könne dann zwischen verschiedenen Modi wechseln und es ermöglichen, dieselbe Eingabe auf der Vorderseite auf verschiedene Elemente der Benutzeroberfläche anzuwenden.

Das zuvor bereits beschriebene Konzept von Löchtefeld et al. (2013) widmete sich nicht nur dem Einfluss von Feedback, sondern leistete ebenfalls einen Beitrag zur Untersuchung der limitierten Reichweite des Daumens bei einhändiger Smartphone-Bedienung. Ihr Ansatz kombinierte die Eingabe auf Vorder- und Rückseite, sodass jene Bereiche, welche nicht durch den Daumen erreicht werden konnten, wiederum mit Hilfe des Zeigefingers auf der Rückseite abgedeckt werden konnten.

Neben Überlegungen über die Erreichbarkeit von Bedienelementen beeinflussen physiologische Eigenschaften der Hand viele weitere Aspekte, wie die Art und Weise der möglichen Interaktion mit Handhelds. Bedient eine Person ein größeres Handheld oder Tablet, so interagiert die Ausführbarkeit von Gesten stets mit biomechanischen Merkmalen der Hand, da diese neben der Ausführung der Geste auch immer das

Handheld festhalten muss. Auch Wolf, Schleicher und Rohs (2014) argumentierten, dass dieser Tatsache Rechnung getragen werden müsse, wenn Nutzer Handhelds anstelle von freistehenden Touchscreens, wie das Touchpad eines Laptops, bedienen. In ihrer Arbeit untersuchten sie verschiedene Gesten, wie Tippen, Drücken, Ziehen und Wischen, auf der Vorderseite eines beidhändig gehaltenen Tablets mittels Daumen und auf der Rückseite mittels der Finger. Die Ergebnisse zeigten, dass Gesten der Vorderseite nicht einfach auf die Rückseite übertragen werden konnten, auf der die Gesten stets etwas kürzer ausfielen und länger dauerten.

Neben der Untersuchung der Beziehung zwischen dem Festhalten von Handhelds und der Entwicklung neuer innovativer Eingabemethoden gibt es darüber hinaus Arbeiten, welche sich mit der Texteingabe mittels einer Touch-empfindlichen Oberfläche auf der Handheld-Rückseite beschäftigen. Schoenleben und Oulasvirta (2013) erforschten ein Konzept, das eine Zehnfinger-Eingabe auf der Rückseite eines Tablets ermöglichte. Hierbei wurde das Tablet im Querformat festgehalten und eine zweigeteilte Zehnfinger-Tastatur (Dvorak- oder QWERTY-Tastaturbelegung<sup>2</sup>) wurde auf der Rückseite auf eine Weise implementiert, dass die Finger während des Greifens genau wie bei einer herkömmlichen Tastatur auf den Tasten lagen (siehe auch Scott et al., 2010). Kombiniert wurde dies mit einem adaptiven Ansatz, der die Verortung eines Buchstaben näher zum tippenden Finger holte, wenn das System die Eingabe als korrekte Zuordnung zum entsprechenden Buchstaben erkannte. Nach dem Tippen wurde die Tastatur also modifiziert und die Position des entsprechenden Buchstaben wurde für die weiteren Eingaben leicht korrigiert. Auf diese Weise konnten Genauigkeit und Schnelligkeit der Eingabe nach einer Trainingsphase stark gesteigert werden, wengleich eine physikalische Tastatur noch immer besser war.

---

<sup>2</sup> Die Dvorak-Tastaturbelegung ist eine ergonomische Alternative zur herkömmlichen QWERTY-Tastatur, welche unter anderem den Ansatz verfolgt, die Buchstaben besser über die Tastatur zu verteilen, sodass sich Hände und Finger effizienter abwechseln (z.B. Dvorak, 1943).

Auf den Ansatz von Schoenleben und Oulasvirta (2013) bauten Buschek et al. (2014) auf. Sie kombinierten eine ähnliche „gefaltete“ Tastatur auf der Tablet-Rückseite mit einem Machine-Learning-Ansatz. Diese berücksichtigte neben Varianzen während des Tippens auch die Anatomie bzw. die Bewegungsreichweite der Finger. Durch eine hierarchische Cluster-Methode war es damit möglich, im Vergleich zu bisherigen „naiven“ Konzepten, eine noch höhere Genauigkeit zu erreichen.

### **Ausarbeitung der Fragestellung**

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit soll die Interaktion bei der Bedienung eines entfernten Displays durch ein Handheld untersucht werden. Von Interesse ist das Verhalten bei der Nutzung der Rückseite des Handhelds für diese Interaktion. Herausgearbeitet werden soll insbesondere die Genauigkeit der Eingabe in Abhängigkeit von kognitiven Variablen und Mechanismen der sensomotorischen Transformation, durch die Inhalte auf dem Bildschirm Bereichen auf dem Handheld zugeordnet werden.

Als Inspiration für die geplante Untersuchung soll die bereits beschriebene Arbeit von Corsten et al. (2015) dienen, denn die dort verwendete Aufgabe kann als sensomotorische Transformation verstanden werden. Zwar war es die Aufgabe der Teilnehmer, den entfernten Bildschirm durch die Smartphone-Vorderseite zu steuern, doch verwendeten die Autoren eine auf der Rückseite angebrachte Hülle mit Noppen, die als Orientierung diente. Der Prozess der Bedienung beinhaltet nun zwei Vorgänge. Zum einen ist dies die Zuordnung von einem Punkt auf der Rückseite des Smartphones auf den entsprechenden Punkt auf dem Bildschirm. Hierbei handelt es sich um eine sensomotorische Transformationsleistung. Zum anderen findet eine Übertragung der Position des Zeigefingers, der auf dem entsprechenden Punkt auf der Rückseite verweilt, auf die Vorderseite statt, wo der Daumen den Touch auf dem Display auslöst. Beide Vorgänge bergen Fehlerquellen und verursachen Ungenauigkeiten in der Interaktion. Als Hinweis sei erwähnt, dass die Autoren dem zuletzt genannten Prozess eine weitere Arbeit widmeten (siehe Corsten, Link, Karrer & Borchers, 2016), in der sie unter anderem den Einfluss der Smartphone-Dicke auf den räumlichen Fehler bei der



Übertragung von Rück- auf Vorderseite untersuchten. In Bezug auf den erst genannten Prozess kann formuliert werden, dass dies einer Bedienung des Bildschirms mittels der Smartphone-Rückseite sehr stark ähnelt. In Anlehnung an Corsten et al. (2015) sollen nun im Folgenden die zu untersuchenden Fragestellungen und konkrete Hypothesen zu diesen ausgearbeitet werden. Darüber hinaus sollen Anforderungen an das Szenario formuliert werden, um diese Hypothesen zu prüfen.

In einer *ersten Fragestellung* soll der Einfluss von Handheld-Größe sowie Handheld-Bereich auf die Leistung in der Interaktion untersucht werden. Hier sollten physiologische Mechanismen wirken. Es wurden bereits eine Reihe von Arbeiten beschrieben, welche den Einfluss von Hand- bzw. Fingergröße sowie des Griffs der Hand auf die Aufgabenleistung haben kann. Diese Arbeit soll von diesen Variablen weitestgehend abstrahieren. Im Fokus soll die Frage stehen, ob verschiedene Handheld-Größen Einfluss auf kognitive Prozesse haben, welche die Leistung bei der Bedienung beeinflussen. Eine Anforderung an Apparatur und Aufgabe ist es daher, dass das verwendete Handheld im Querformat und nur mit der nicht-dominanten Hand festgehalten werden sollte. Die dominante Hand wird dann zur Interaktion genutzt und stützt das Handheld nicht zusätzlich. Auf diese Weise kann die Hand das Handheld frei bedienen und wird in ihrer Reichweite nicht eingeschränkt. In Bezug auf den Interaktionsbereich auf dem Tablet ist es wahrscheinlich, dass die Distanz zwischen Start- und Endpunkt Einfluss haben wird. Gemäß Fitts (1954) sollte die Bewegungszeit mit der Distanz größer werden. Dies könnte auch Einfluss auf die Genauigkeit haben, denn Nutzer könnten für eine Angleichung der Bewegungszeiten zwischen den Interaktionsbereichen größere Ungenauigkeiten in Kauf nehmen. Dieses Phänomen kann durch eine Art Kompromiss zwischen Geschwindigkeit und Genauigkeit erklärt werden (*Speed-Accuracy Tradeoff*, z.B. Wickelgren, 1977). Um dies zu verhindern, ist eine weitere Anforderung an Apparatur und Aufgabe, dass Hand und Finger immer am selben Ort starten, der dieselbe Entfernung zu allen Bereichen auf dem Handheld aufweist. Hierzu soll eine räumlich zentral gelegene Taste als eine Art „Homing“ dienen, d.h. ein Ausgangspunkt, zu dem immer wieder zurückgekehrt wird. Wiederum eine

weitere Störvariable könnte in der Propriozeption begründet liegen. Corsten et al. (2015) berichteten in ihrer Arbeit, dass die Genauigkeit vor allem am Rand der Interaktionsfläche gut aufgelöst war. In ihrer Aufgabe war es den Nutzern erlaubt, den Finger auf der Smartphone-Rückseite über die Fläche zu bewegen, bis sie den gewünschten Punkt erreicht hatten. Es könnte also sein, dass Rand oder Rahmen der Hülle ertastet wurden, welche im Folgenden dann als Referenz dienen konnten. Eine Anforderung an das Szenario muss also sein, dass Interface-Elemente nicht zu nah am Rand platziert werden. Einen Leitfaden dafür liefern Wang und Ren (2009). Sie berichteten, dass der typische Durchmesser der Fläche des Zeigefingers, die bei Touch-Eingaben aufliegt, im Mittel 24.8 mm beträgt. Ein entsprechender Bereich am Rand soll also ungenutzt bleiben.

Hinsichtlich der Art des Einflusses von Handheld-Größe und Interaktionsbereich gibt es mehrere mögliche Hypothesen. Da physiologische Aspekte und auch propriozeptives Feedback durch den Versuchsaufbau ausgeschlossen werden, sollten die Ergebnisse in Bezug auf den Interaktionsbereich allerdings ein anderes Muster als die Arbeit von Corsten et al. (2015) zeigen, welche eine höhere Präzision am Rand der Geräte feststellten. Einen wahrscheinlicheren Ausgang lassen Gilliot et al. (2014) erahnen. In ihrer Arbeit, welche sich in einigen Aspekten deutlich von Corsten et al. (2015) unterschied, wiesen sie nach, dass die Größe des Touchpads eines Laptops – wenn dieses kleiner als der Bildschirm war – keinen Einfluss auf die Leistung hatte. Diese Annahme liegt auch dieser Arbeit zu Grunde.

Eine *zweite Fragestellung* widmet sich der Bedeutung von Feedback für die Bedienung. Hierin unterscheiden sich die Arbeiten von Gilliot et al. (2014) und Corsten et al. (2015) ebenfalls. Die beiden Arbeiten haben zwar gemein, dass den Nutzern durch das Ertasten propriozeptives Feedback ermöglicht wurde, was durch die zuvor formulierten Anforderungen nahezu ausgeschlossen werden sollte. Sie unterscheiden sich allerdings stark hinsichtlich des verwendeten visuellen Feedbacks. Im Kontrast zur Arbeit von Corsten et al. (2015) verwendeten Gilliot et al. (2014) eine Form von kontinuierlichem Feedback. Wenn Nutzer mit dem Finger auf das Touchpad drückten,

wurde auf dem Laptopbildschirm ein Feedback über den getroffenen Punkt in Form eines Kreises gegeben. Zwar bewegte sich dieser Kreis nicht, wenn der Finger ohne Absetzen auf dem Touchpad bewegt wurde, doch da mehrere Versuche erlaubt waren und auf dem Bildschirm nach Absetzen und erneutem Tippen ein Update des Feedbacks präsentiert wurde, kann hier von kontinuierlichem Feedback gesprochen werden. Die vorliegende Arbeit verbindet diese beiden Ansätze, indem sie ein ähnliches Szenario wie Corsten et al. (2015) untersucht und hierbei, inspiriert durch Gilliot et al. (2014), Feedback präsentiert. Ein feiner Unterschied besteht allerdings darin, dass im Kontrast zu Gilliot et al. (2014) ein terminales Feedback jeweils nach der Interaktion genutzt werden soll. Der Hintergrund dieser Entscheidung liegt in der Natürlichkeit dieses Feedbacks im Kontext der Bedienung. Wenn ein Element auf dem Bildschirm durch ein Tippen auf dem Handheld ausgewählt werden soll, gibt es hierüber – unter Ausschluss von Zieh- und Wischgesten – kein Feedback während des Zuordnungsvorgangs. Erst nachdem auf die Oberfläche des Handhelds getippt wurde, gibt es ein Feedback: getroffen oder nicht getroffen.

In Bezug auf den Einfluss terminalen visuellen Feedbacks prognostiziert die vorliegende Arbeit zunächst, dass die Anwesenheit von Feedback die Leistung unterstützen sollte. Eine komplexere Frage widmet sich der Bildung mentaler Modelle durch vorhandenes Feedback. Genauer formuliert: Profitieren Nutzer langfristig von Feedback? Aufgrund der Beiträge bzgl. der Bedeutung von terminalem Feedback von Walsh et al. (2009) sowie Heuer und Hegele (2008) – um nur zwei zu nennen – geht diese Arbeit davon aus, dass Feedback die Bildung mentaler Modelle begünstigt. Ein solcher Effekt wäre sehr bedeutend. Sollte es solche günstigen langfristigen Effekte geben, könnte dies auf reale Interaktionen übertragen und etwa eine Trainingsphase mit Feedback eingeführt werden, um hiernach darauf gänzlich zu verzichten.

Die *dritte Fragestellung* diskutiert, ob perspektivische Veränderungen einerseits Einfluss auf die Einschätzung der Größe der Inhalte auf dem Bildschirm und andererseits Einfluss auf die Leistung der sensomotorischen Transformation haben. Genauer sollen zwei Einflüsse erforscht werden: Ob die Entfernung zum Bildschirm einen Einfluss auf

die Größeneinschätzung der Elemente der Benutzeroberfläche hat und ob unterschiedlich große Elemente verschieden groß wahrgenommen werden. Antworten auf diese Fragen könnten Designempfehlungen für Benutzeroberflächen motivieren. Sollte erst genannter Aspekt einen Einfluss haben, wäre anzuraten den Bildschirm immer aus derselben Entfernung zu bedienen. Für zweiten Aspekt wäre die Empfehlung, Bedienelemente so zu gestalten, dass ihre Größe weder unter- noch überschätzt wird.

Für die beschriebene Fragestellung stehen sich zwei Hypothesen gegenüber. Zunächst könnte argumentiert werden, dass Inhalte auf einem Bildschirm aus verschiedenen Perspektiven bzw. Entfernungen aufgrund von Wahrnehmungskonstanz gemäß Müsseler (2008) stets gleich wahrgenommen werden. Sollten jedoch andere Effekte auftreten und Bedienelemente in Abhängigkeit der Perspektive unterschiedliche wahrgenommen werden, könnte dies eine Folge von Adaptation an die Wahrnehmung sein, welche sich durch die Distanz zum Bildschirm verändert. Auch in Bezug auf die wahrgenommene Größe von verschieden großen Inhalten kann eine Argumentation gemäß der Wahrnehmungskonstanz geführt werden. Sollte diese dominieren, sollten alle Inhalte stets gleich genau beurteilt werden. Aufgrund der Anwesenheit von zwei möglichen Hypothesen und der Tatsache, dass die Effekte und Hypothesen nicht für das spezielle vorliegende Paradigma aufgestellt wurden, formuliert die vorliegende Arbeit keine gerichtete Hypothese. Vielmehr soll die Fragestellung explorativen Charakters sein, um weitere Forschung anzuregen.

## Experiment 1

Zur Untersuchung der drei aufgeworfenen Fragestellungen wurden zwei Experimente durchgeführt. Das erste Experiment widmete sich der Analyse der ersten beiden Fragestellungen. Hierzu wurde der Einfluss der Handheld-Größe auf die sensomotorische Transformationsleistung betrachtet sowie die Frage, ob sich die Transformation von verschiedenen Bereichen der Handheld-Rückseite auf das Fernsehgerät unterscheidet. Darüber hinaus wurde die Bedeutung von Feedback im Kontext der Bedienung entfernter Bildschirme mittels der Handheld-Rückseite untersucht.

### Methode

**Stichprobe.** Am ersten Experiment nahmen 32 Teilnehmer (24 weiblich, 8 männlich) mit einem durchschnittlichen Alter von 23.22 Jahren ( $SD = 4.90$ ) und einer Altersspanne von 18 bis 38 Jahren teil. Es handelte sich um Studierende. Alle Teilnehmer waren rechtshändig, hatten keine kognitiven oder visuellen Vorerkrankungen und besaßen normale oder korrigiert-normale Sehschärfe. Sie wurden durch Süßigkeiten und Versuchspersonenstunden im Rahmen des Psychologiestudiums entlohnt.

**Apparatur und Stimuli.** Das Experiment wurde auf einem Macintosh-Computer durchgeführt. An diesen war ein Fernsehgerät der Marke Hannspree, Modell SE40LMNB, angeschlossen, welches eine Bildschirmdiagonale von 40 Zoll mit einer Auflösung von  $1920 \text{ px} \times 1080 \text{ px}$  und einem Seitenverhältnis von  $16 : 9$  aufwies. Als Eingabegeräte wurden drei Handhelds mit Touchscreens der Größe 5, 7 und 9 Zoll genutzt, welche ebenfalls ein Seitenverhältnis von  $16 : 9$  aufwiesen (siehe Abbildung 6). Die kleineren beiden Geräte wurden im Rahmen der Bachelorarbeit von Garrigues (2016) entwickelt. Das größte Gerät wurde für den Zweck der vorliegenden Arbeit unter der Anleitung von Garrigues (2016) nachgebaut. Es handelte sich hierbei um Touchscreens auf Basis von Infrarotlicht. Entlang des Randes der Touch-empfindlichen Oberfläche (siehe Abbildung 6c) waren Infrarot-LEDs verarbeitet, welche Licht in das Plexiglas strahlten. Wurde ein Finger auf der Oberfläche abgesetzt,

so wurde dieses Licht in eine Kamera reflektiert. Die Kamera war in kurzer Entfernung über dem Plexiglas mittels einer Holzkonstruktion montiert (zu sehen in der Draufsicht in Abbildung 6a sowie in der Seitenansicht in Abbildung 6b). Um störendes Licht aus der Umgebung bestmöglich abzuschirmen, war zwischen Plexiglas und Kamera eine Pappverkleidung angebracht. Da der Umfang der Plexiglasscheibe zwischen den Modellen variierte, waren unterschiedlich viele Infrarot-LEDs verbaut. Zudem variierte auch der Abstand zwischen Kamera und Plexiglas. Da die Kamera einen konstanten Sichtwinkel aufwies, die zu filmende Fläche des Plexiglases allerdings unterschiedlich groß war, musste die Kamera bei einer größeren Fläche weiter entfernt sein. Diese Unterschiede führten dazu, dass die Kameras in Bezug auf Belichtungszeit und andere Parameter verschieden konfiguriert wurden. Mittels einer Software (*reactIVision* und *TUIO*, Kaltenbrunner, 2009) wurden anschließend aus dem Kamerabild Touch-Punkte extrahiert.

Als Stimuli wurden Kreuze mit einer Höhe und Breite von jeweils 10 cm genutzt. Targets waren stets schwarz gefärbt, während für Feedback rote Kreuze genutzt wurden. Die Targets wurden in drei Bereichen (Mitte, Ecke oder Rand) an insgesamt 16 möglichen Positionen auf dem Fernsehgerät präsentiert. Damit die Teilnehmer nicht mit dem Finger an den Rand des Handhelds kamen und so ein propriozeptives Feedback über die Lage des Fingers erhielten, lagen die 16 Positionen mittiger mit etwas Abstand zum Rand. Wang und Ren (2009) beschrieben, in einem von ihnen durchgeführten Experiment habe der Durchmesser der aufliegenden Fläche des Zeigefingers, wenn dieser auf einem Touchscreen verweilt, im Mittel 24.8 mm betragen. Hierauf aufbauend wurde ein Bereich von 13.5% der gesamten Fläche an den Rändern des Fernsehgerätes von der Präsentation von Kreuzen ausgeschlossen, was auf dem kleinsten Handheld einem Bereich von 15 mm und somit etwas mehr als der Hälfte des mittleren Durchmessers der Fingerfläche entsprach (siehe Abbildung 10).

Als Homing wurde eine Taste genutzt, welche zentral vor den Teilnehmern auf einem Gestell angebracht war. Sie befand sich in komfortabel erreichbarer, greifbarer Nähe. Die Teilnehmer nahmen zudem in 3 m Entfernung zentral vor dem Fernsehgerät Platz. Das Fernsehgerät stand auf einem Sockel, sodass die Mitte des Gerätes etwa auf Kopfhöhe der Teilnehmer war. Eine Veranschaulichung dieses Aufbaus ist in Abbildung 7 zu sehen.



Abbildung 6. Die verwendeten Handhelds in Draufsicht (a), Seitenansicht (b) und einer Ansicht von unten (c). Verwendet wurden die Größen 5, 7 und 9 Zoll.

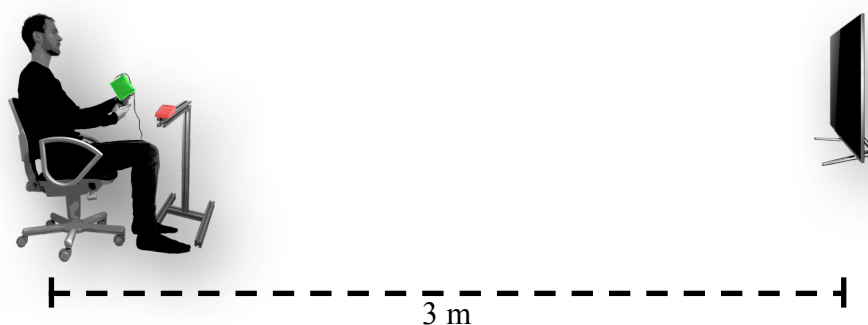


Abbildung 7. Aufbau des ersten Experiments. Grün gekennzeichnet ist das Handheld, rot die Homing-Taste. Die Teilnehmer saßen in 3 m Entfernung zum Fernsehgerät.

**Versuchsablauf.** Vor dem Experiment unterzeichneten die Teilnehmer eine Einverständniserklärung (siehe Anhang A). Daraufhin erhielten sie eine schriftliche Instruktion (siehe Anhang B). Die Teilnehmer waren angewiesen, so korrekt wie möglich zu agieren, Reaktions- und Bewegungszeiten spielten nur eine zweitrangige Rolle. Es war zudem untersagt, während des Experiments auf die eigenen Hände und das Handheld zu schauen. Dies wurde während des Experiments durch den Versuchsleiter kontrolliert. Eventuelle Fragen wurden vom Versuchsleiter beantwortet. Das Experiment bestand aus sechs Blöcken mit jeweils 60 Trials. Die eine Hälfte der Teilnehmer bekam in den ersten drei Blöcken visuelles Feedback und in den restlichen Blöcken keines, die andere Hälfte bekam in den Blöcken vier bis sechs visuelles Feedback und in den ersten drei Blöcken keines. In jedem der ersten drei Blöcke wurde ein anderes Handheld genutzt. In den Blöcken vier bis sechs wurden in derselben Reihenfolge die Handhelds gewechselt wie in den ersten drei Blöcken. Jeder Teilnehmer bekam eine randomisierte Reihenfolge, welche über die Teilnehmer ausbalanciert war, sodass jede Kombination in etwa gleich häufig vorkam. Vor jedem Block wurden fünf Übungstrials durchgeführt, welche nicht Bestandteil der Auswertung waren.

Für das Experiment nahmen die Teilnehmer in 3 m Entfernung zentral vor dem Fernsehgerät Platz. Sie hielten das Handheld mit der linken Hand am Rahmen fest, sodass die Finger die Touch-empfindliche Oberfläche nicht berührten, welche wiederum nach unten zeigte. Es gab zwei Varianten des Experiments, eine mit und die andere



ohne Feedback. Die Abläufe der beiden Varianten sind in Abbildung 8 bzw. 9 dargestellt. Zu Beginn wurde zunächst ein weißes Bild dargeboten (siehe Abbildung 8a und 9a). Die Trials begannen erst, nachdem mit dem rechten Zeigefinger auf die Homing-Taste gedrückt wurde (siehe Abbildung 8b und 9b). Es wurde daraufhin ein schwarzes Kreuz an einer von 16 möglichen Positionen auf dem weißen Bild des Fernsehgerätes dargeboten. Die Position wurde randomisiert ausgewählt. Es wurde lediglich sichergestellt, dass Targets gleich häufig in Ecke, Mitte und Rand sowie in der linken und rechten Hälfte des Fernsehgerätes präsentiert wurden. Nun war es die Aufgabe der Teilnehmer, die entsprechende Stelle auf dem Handheld anzutippen. Für ein Ziel, das sich etwa in der oberen linken Ecke des Fernsehgerätes befand, sollten die Teilnehmer ebenfalls in die obere linke Ecke des Handhelds tippen. Ohne Feedback verschwand das dargebotene Kreuz, sobald eine Berührung auf dem Handheld ausgelöst wurde (siehe Abbildung 8c). Im anderen Fall wurde, 500 ms nachdem ein Touch ausgelöst wurde, ein rotes Kreuz genau an jener Stelle eingeblendet, an der die tatsächliche Berührung stattgefunden hat (siehe Abbildung 9c). Wiederum 500 ms später verschwanden das schwarze und das rote Kreuz zeitgleich. Für beide Varianten galt, dass der nächste Trial erst startete, wenn die Homing-Taste erneut gedrückt wurde. In der Zwischenzeit wurde wieder ein weißes Bild dargeboten.

Nach dem Experiment wurde eine Nachbefragung mit den Teilnehmern durchgeführt. Diese ist in Anhang C zu finden.

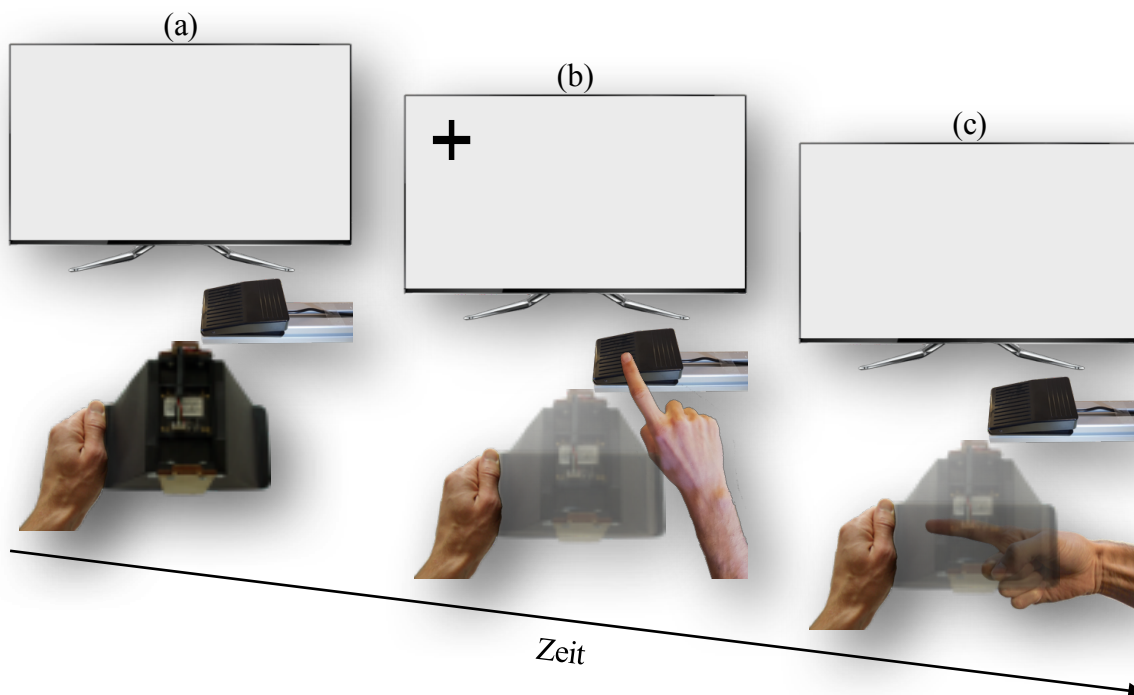


Abbildung 8. Ablauf des ersten Experiments ohne Feedback. Zur Verdeutlichung, wie auf der Unterseite getippt wurde, ist das Handheld in (b) und (c) transparent dargestellt.

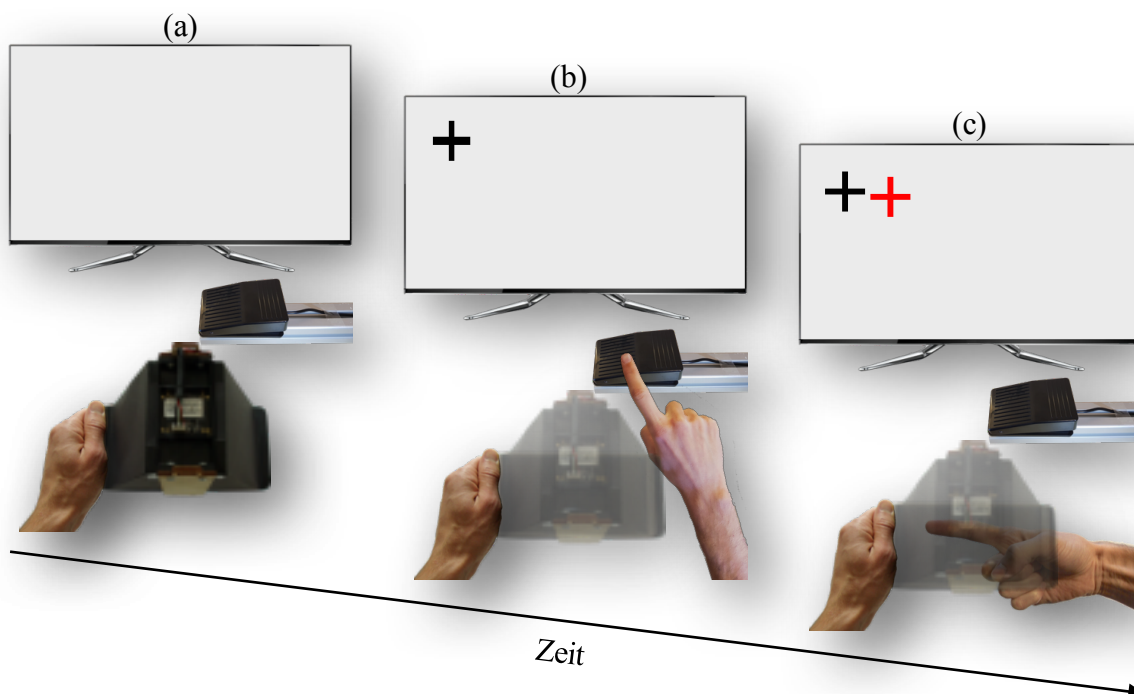


Abbildung 9. Ablauf des ersten Experiments mit Feedback. Zur Verdeutlichung, wie auf der Unterseite getippt wurde, ist das Handheld in (b) und (c) transparent dargestellt.

**Design.** Als unabhängige Variablen dienten der *Bereich* (Ecke vs. Mitte vs. Rand), die Hälfte des Fernsehgerätes (*Halbfeld*, links vs. rechts), in der die Targets präsentiert wurden, die *Handheld-Größe* (5 vs. 7 vs. 9 Zoll) sowie die *Feedback-Bedingung* (Feedback vs. kein Feedback). Der *Feedback-Zeitpunkt* (erste Hälfte vs. zweite Hälfte) bildete eine Zwischensubjektvariable. Als abhängige Variable diente der *räumliche Fehler*, da dieser dem distalen und damit intendierten Handlungseffekt entspricht. Der räumliche Fehler ist definiert als der euklidische Abstand in Zentimetern zwischen dem zu treffenden Target auf dem Fernsehgerät und dem getroffenen Punkt auf dem Fernsehgerät. Um den getroffenen Punkt auf dem Fernsehgerät zu ermitteln, wurden X- und Y-Koordinate des Mittelpunktes der auf dem Handheld aufliegenden Fläche des Zeigefingers verwendet, um diesen im Anschluss relativ auf den entsprechenden Punkt des Fernsehgerätes zu übertragen. Der absolute räumliche Fehler auf dem Handheld wurde nicht analysiert, da dieser dem proximalen Handlungseffekt entspricht und somit zweitrangig ist. Eine weitere abhängige Variable war die *Bewegungszeit* in Millisekunden, welche die Teilnehmer brauchten, um nach der Betätigung der Homing-Taste den gewünschten Punkt auf dem Handheld auszulösen.

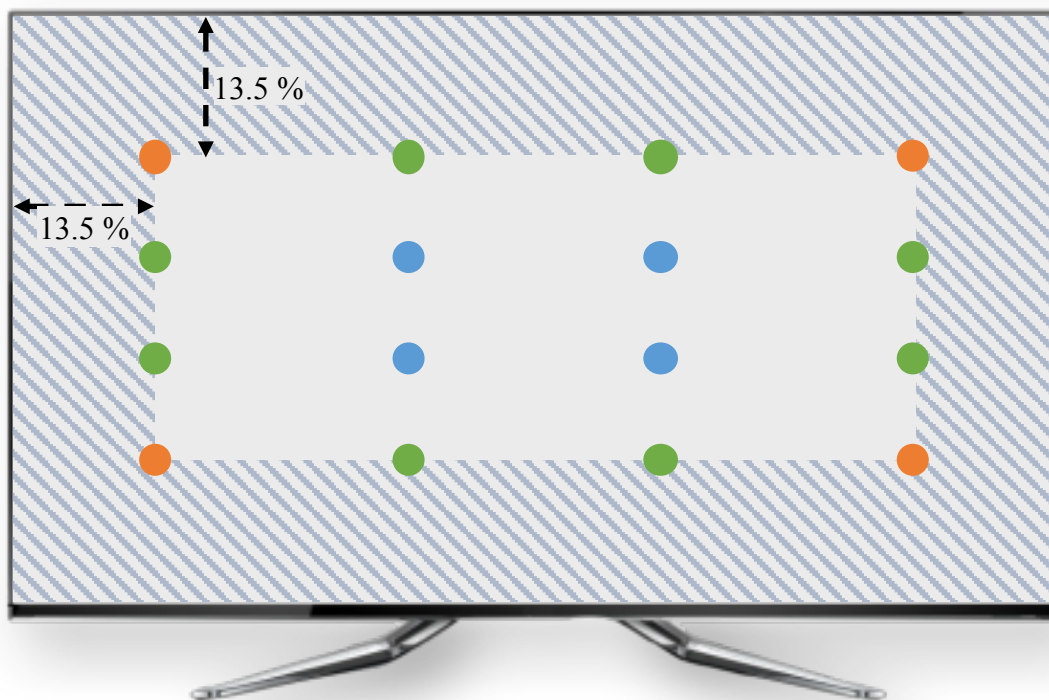


Abbildung 10. Die 16 möglichen Positionen, an denen ein Target im ersten Experiment präsentiert wurde. Die Farben zeigen die Klassifikation in Ecke (orange), Mitte (blau) und Rand (grün). Im schraffierten Bereich wurden keine Targets präsentiert, damit der Finger auf dem Handheld nicht zu nah an den Rand gelangte.

## Ergebnisse

Für die Auswertung von räumlichem Fehler und Bewegungszeit wurden die Übungstrials nicht berücksichtigt. Es wurden außerdem weitere Kriterien formuliert, um die Daten zu bereinigen. (1) Trials wurden ausgeschlossen, wenn sie eine Bewegungszeit von weniger als 100 ms aufwiesen. (2) Ebenfalls nicht berücksichtigt wurden Trials, wenn Touch-Punkte näher als 5 mm am Rand des Handhelds erfolgten. (3) Zu guter Letzt wurden jene Trials nicht berücksichtigt, deren räumlicher Fehler bzw. Bewegungszeit mehr als zwei Standardabweichungen vom Mittelwert abwichen. Der Mittelwert wurde hier für jeden Teilnehmer und jede Faktorenkombination separat berechnet. Hierdurch wurden 4,31 % der Trials von der Analyse ausgeschlossen.

Die Auswertung erfolgte für die Mediane des räumlichen Fehlers und der Bewegungszeit jeweils mittels einer Varianzanalyse mit Messwiederholung mit den Faktoren Handheld-Größe (5 vs. 7 vs. 9 Zoll), Bereich (Ecke vs. Mitte vs. Rand), Halbfeld (links vs. rechts) und Feedback-Bedingung (Feedback vs. kein Feedback) sowie dem Zwischensubjektfaktor Feedback-Zeitpunkt (zuerst Feedback vs. kein Feedback zuerst). Post-hoc-Tests für paarweise Vergleiche wurden stets mittels  $t$ -Test für verbundene Stichproben mit Bonferroni-Korrektur durchgeführt.

**Räumlicher Fehler.** Zur Untersuchung der ersten Fragestellung, die sich auf den Einfluss von Handheld-Größe und Interaktionsbereich bezieht, wurden die Effekte auf den räumlichen Fehler mit der Beteiligung der genannten Faktoren analysiert. Gemäß der aufgestellten Hypothese sollten diese Effekte nicht signifikant sein.

Die Analyse konnte einen signifikanten Haupteffekt für die Handheld-Größe aufdecken,  $F(2, 60) = 9.69$ ,  $p < .001$ ,  $\eta_p^2 = .244$ . Den größten Fehler wiesen Teilnehmer mit einem Handheld von 5 Zoll auf, 8.11 cm (SD = 1.45). Der Fehler war signifikant größer als für ein Handheld von 7 Zoll, 7.39 cm (SD = 1.22),  $t(31) = 3.94$ ,  $p < .001$ . Zu letzterer Größe und dem Handheld von 9 Zoll gab es jedoch keinen signifikanten Unterschied bezüglich des Fehlers, 7.36 cm (SD = 1.25),  $p > .999$ . Dieser Zusammenhang ist in Abbildung 11 veranschaulicht.

Des Weiteren konnte ein signifikanter Haupteffekt Halbfeld gezeigt werden,  $F(1, 30) = 10.71$ ,  $p = .003$ ,  $\eta_p^2 = .263$ . Teilnehmer zeigten geringere Fehler im rechten Bereich des Fernsehgerätes, 7.22 cm (SD = 1.25), als im linken, 8.02 cm (SD = 1.44) (siehe Abbildung 11).

Der Haupteffekt Bereich war nicht signifikant,  $p = .304$ . Es machte demnach keinen Unterschied, ob die Teilnehmer mit verschiedenen Bereichen des Fernsehgerätes interagierten.

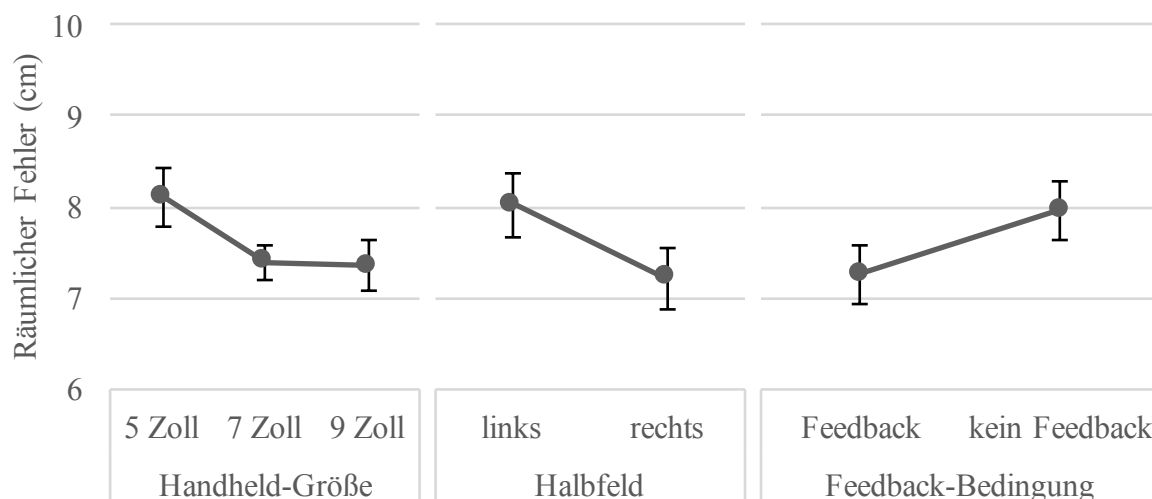


Abbildung 11. Mittlerer räumlicher Fehler im ersten Experiment in Abhängigkeit von Handheld-Größe, Half-feld bzw. Feedback-Bedingung. Fehlerbalken zeigen das Konfidenzintervall nach Cousineau (2005) und Morey (2008).

An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass aufgedeckte Haupteffekte unter Umständen vorsichtig zu interpretieren sind. Dies ist dadurch begründet, dass eventuelle Unterschiede zwischen den Faktorstufen durch Interaktionen mit anderen Faktoren zustande gekommen sein könnten. Die gefundenen Interaktionen werden im Folgenden dargelegt.

Die zweifache Interaktion zwischen Bereich und Half-feld war signifikant,  $F(2, 60) = 10.17, p < .001, \eta_p^2 = .253$ . Dies war zurückzuführen auf eine unterschiedliche Leistung in den Bereichen bezüglich der beiden Half-felder. Für paarweise Vergleiche der Bereiche wurde die Differenz des räumlichen Fehlers zwischen dem linken und rechten Half-feld berechnet ( $\text{Fehler}_{\text{links}} - \text{Fehler}_{\text{rechts}}$ )<sup>3</sup>. Für Interaktionen mit dem Half-feld wurde in den folgenden Absätzen stets auf diese Weise vorgegangen. Wenn die Teilnehmer in den Ecken agierten, war der räumliche Fehler im linken Half-feld um 1.89 cm (SD = 2.41) signifikant größer als im rechten,  $t(31) = 4.44, p < .001$ . Am Rand war der räumliche Fehler links ebenfalls signifikant größer, 0.90 cm (SD = 1.99),

<sup>3</sup> Die Differenz bezeichnet, um welche Länge der räumliche Fehler auf der linken Seite größer als auf der rechten Seite war. Die Differenz konnte daher auch negativ sein.

$t(31) = 2.57$ ,  $p = .017$ . Lediglich in der Mitte unterschieden sich das linke und rechte Halbfeld nicht signifikant voneinander,  $-0.38$  cm (SD = 1.99),  $p = .287$  (siehe Abbildung 12a).

Die berichtete Interaktion zwischen Bereich und Halbfeld wurde darüber hinaus in einer dreifachen Interaktion von der Handheld-Größe moderiert,  $F(4, 120) = 2.80$ ,  $p = .029$ ,  $\eta_p^2 = .085$ . Bei einer Handheld-Größe von 5 Zoll betrug die Differenz der Halbfelder in den Ecken 1.56 cm (SD = 3.84),  $t(31) = 2.29$ ,  $p = .031$ , in der Mitte  $-0.05$  cm (SD = 2.54),  $p = .981$ , und am Rand 0.59 cm (SD = 3.24),  $p = .320$ . Für die mittlere Handheld-Größe von 7 Zoll ergab sich in den Ecken eine Differenz von 1.96 cm (SD = 3.43),  $t(31) = 3.22$ ,  $p = .003$ , in der Mitte von 0.14 cm (SD = 2.59),  $p = .775$ , sowie am Rand von 0.70 cm (SD = 2.18),  $p = .085$ . Für das größte Handheld von 9 Zoll betrug die Differenz in den Ecken 2.16 cm (SD = 3.24),  $t(31) = 3.77$ ,  $p = .001$ , in der Mitte  $-1.23$  cm (SD = 2.69),  $t(31) = -2.59$ ,  $p = .015$ , und am Rand 1.43 cm (SD = 2.53),  $t(31) = 3.19$ ,  $p = .003$  (siehe Abbildung 12b).

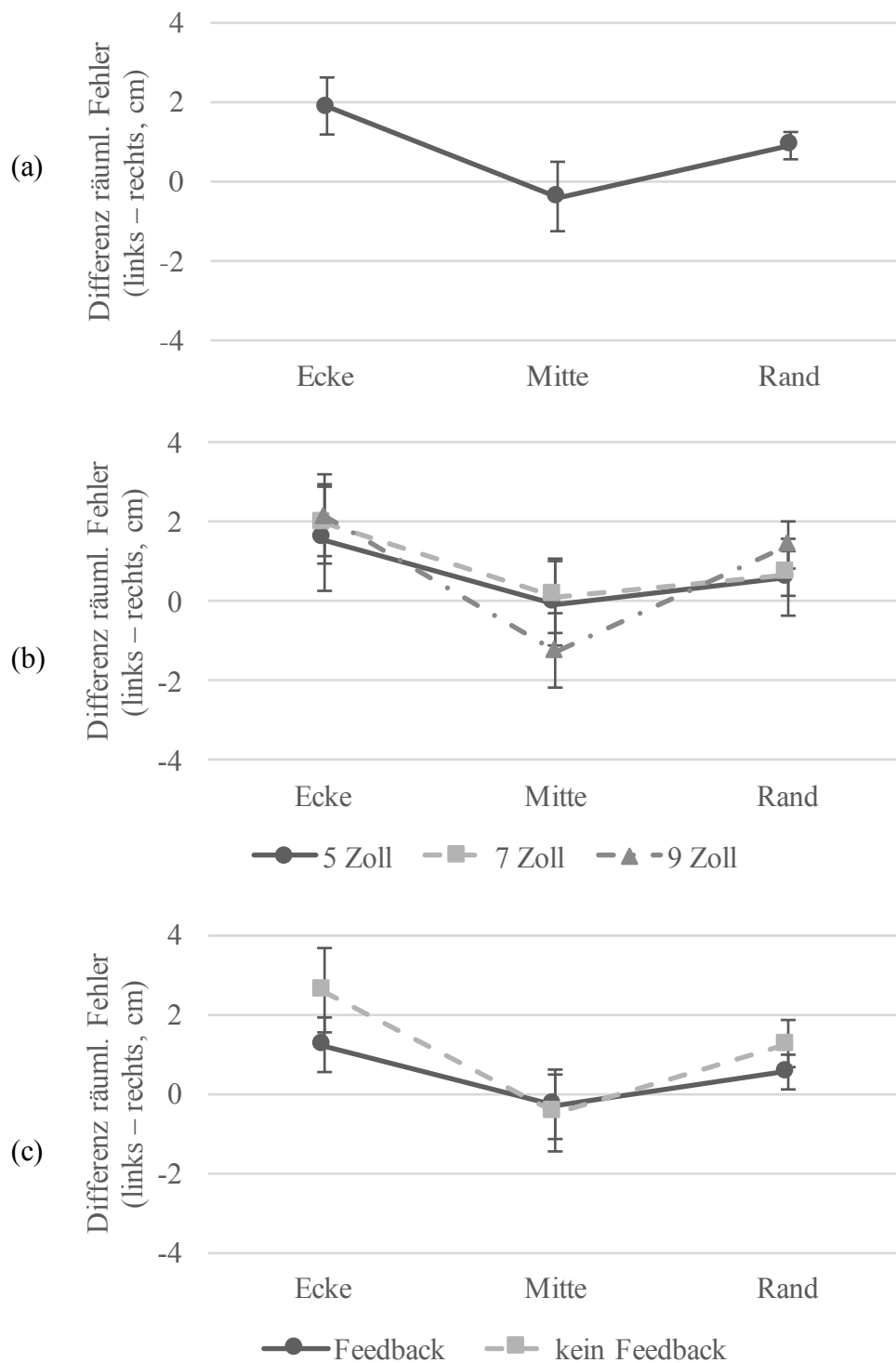


Abbildung 12. Mittlerer räumlicher Fehler im ersten Experiment in Abhängigkeit von (a) Bereich und Halbfeld, (b) Handheld-Größe, Bereich und Halbfeld sowie (c) Feedback-Bedingung, Bereich und Handheld. Als abhängige Variable diente die Differenz des räumlichen Fehlers zwischen dem linken und rechten Halbfeld. Fehlerbalken zeigen das Konfidenzintervall nach Cousineau (2005) und Morey (2008).



Die zweite Fragestellung bezieht sich auf den Einfluss von Feedback-Zeitpunkt und Feedback-Bedingung. Hierzu wurden Effekte genannter Faktoren auf den räumlichen Fehler analysiert. Gemäß der aufgestellten Hypothese sollte Feedback generell zu geringeren Fehlern führen. Außerdem sollte der Feedback-Zeitpunkt Auswirkungen auf die Genauigkeit haben, was die Annahme der Bildung mentaler Modelle unterstützt.

Die Analyse zeigte, dass der Haupteffekt Feedback-Bedingung signifikant war,  $F(1, 30) = 10.31$ ,  $p = .003$ ,  $\eta_p^2 = .256$ . Mit visuellem Feedback, 7.26 cm (SD = 1.27), arbeiteten die Teilnehmer mit einem geringeren Fehler als ohne, 7.97 cm (SD = 1.38) (für eine Veranschaulichung sowie entsprechende Bewegungszeiten siehe Abbildung 11).

Der Haupteffekt Feedback-Zeitpunkt war nicht signifikant,  $p = .621$ . Es war folglich irrelevant, ob Teilnehmer in der ersten Hälfte des Experiments zunächst Durchgänge mit oder ohne Feedback bearbeiteten.

Aufgrund der folgenden Interaktionen höherer Ordnung sollten vorherige Haupteffekte auch hier mit Bedacht interpretiert werden. Neben den aufgedeckten Haupteffekten konnten weitere signifikante zweifache Interaktionen gezeigt werden. Die Faktoren Feedback-Bedingung und Feedback-Zeitpunkt wiesen eine solche signifikante Interaktion auf,  $F(1, 30) = 4.41$ ,  $p = .044$ ,  $\eta_p^2 = .128$ . Diese ist auf ein unterschiedliches Muster der beiden Feedback-Zeitpunkte bzgl. der Feedback-Bedingung zurückzuführen. Teilnehmer, welche zunächst kein Feedback bekamen, zeigten einen signifikanten Unterschied zwischen Nicht-Feedback- und Feedback-Bedingung, 8.10 cm (SD = 1.61) bzw. 6.93 cm (SD = 1.14),  $t(15) = 3.73$ ,  $p < .001$ . Dieser Unterschied war für die Teilnehmer, welche zunächst Feedback bekamen, jedoch nicht signifikant, 7.60 cm (SD = 1.34) bzw. 7.84 cm (SD = 1.14),  $p = .438$ . Siehe hierzu auch Abbildung 13a.

Eine weitere zweifache Interaktion wiesen Feedback-Zeitpunkt und Bereich auf,  $F(2, 60) = 4.92$ ,  $p = .010$ ,  $\eta_p^2 = .141$ . Auch hierfür war ein unterschiedliches Muster des Feedback-Zeitpunkts in Bezug auf den Bereich verantwortlich. Jene Teilnehmer, welche zunächst kein Feedback bekamen, machten im Bereich der Mitte im Mittel einen räumlichen Fehler von 8.02 cm (SD = 1.08), am Rand von 7.29 cm (SD = 1.64) und in den Ecken von 7.23 cm (SD = 1.55). Während es hier keinen signifikanten Unterschied

zwischen den Bereichen gab,  $p > .151$ , war dies für die Teilnehmer, welche zunächst Feedback bekamen, anders. Im Mittel betrug der räumliche Fehler in den Ecken 8.28 cm (SD = 1.87), am Rand 7.47 cm (SD = 1.21) und in der Mitte 7.41 cm (SD = 1.18). Hier unterschied sich die Leistung in den Ecken und am Rand signifikant,  $t(15) = 3.17$ ,  $p = .004$  (siehe Abbildung 13b). Die anderen Vergleiche waren nicht signifikant,  $p > .249$ .

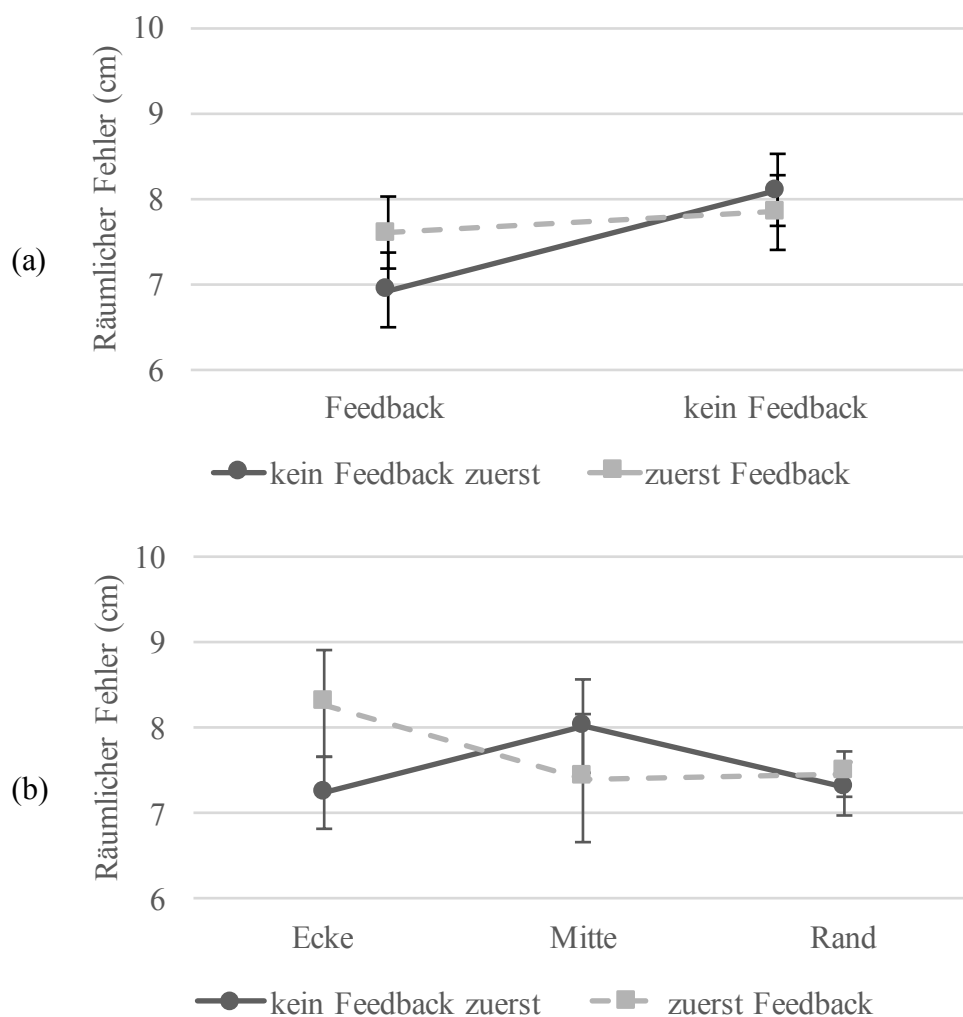


Abbildung 13. Mittlerer räumlicher Fehler im ersten Experiment in Abhängigkeit von (a) Feedback-Zeitpunkt und Feedback-Bedingung sowie (b) Feedback-Zeitpunkt und Bereich. Fehlerbalken zeigen das Konfidenzintervall nach Cousineau (2005) und Morey (2008).

Die Feedback-Bedingung war in einer dreifachen Interaktion Moderator des zuvor berichteten Zusammenhangs zwischen Bereich und Halbfeld,  $F(2, 60) = 3.93$ ,  $p = .025$ ,  $\eta_p^2 = .116$ . Wenn visuelles Feedback dargeboten wurde, betrug die Differenz zwischen dem linken und dem rechten Halbfeld in den Ecken 1.21 cm (SD = 2.28),  $t(31) = 3.00$ ,  $p = .006$ , in der Mitte  $-0.29$  cm (SD = 2.06),  $p = .438$  sowie am Rand 0.57 cm (SD = 1.84),  $p = .094$ . Wenn wiederum kein Feedback dargeboten wurde, betrug die Differenz in den Ecken 2.58 cm (SD = 3.45),  $t(31) = 4.23$ ,  $p < .001$ , in der Mitte  $-0.47$  cm (SD = 2.60),  $p = .314$ , und am Rand 1.24 cm (SD = 2.61),  $t(31) = 2.68$ ,  $p = .013$  (siehe Abbildung 12c).

Zudem war die vierfache Interaktion zwischen den Faktoren Feedback-Zeitpunkt, Feedback-Bedingung, Handheld-Größe und Halbfeld signifikant,  $F(2, 60) = 4.23$ ,  $p = .019$ ,  $\eta_p^2 = .124$ . Diese Interaktion trat zu Tage, da sich die beiden Gruppen – zuerst Feedback oder kein Feedback zuerst – hinsichtlich des Zusammenhangs von Feedback-Bedingung, Handheld-Größe und Halbfeld unterschieden. Teilnehmern, die in der ersten Hälfte des Experiments Feedback erhielten, unterlief mit einem Handheld von 7 Zoll auf der linken Seite ein um 1.84 cm (SD = 3.33) signifikant größerer räumlicher Fehler als auf der rechten Seite, wenn sie kein Feedback erhielten,  $t(15) = 2.21$ ,  $p = .011$ . Dieser Unterschied war für ein Handheld von 9 Zoll ebenfalls signifikant, 1.51 cm (SD = 2.75),  $t(15) = 2.20$ ,  $p = .021$ , während er für ein Handheld von 5 Zoll nicht signifikant war, 0.70 cm (SD = 2.34),  $p = .357$ . Darüber hinaus war der Unterschied zwischen der linken und der rechten Seite für diese Gruppe über alle Handheld-Größen nicht signifikant, wenn Feedback dargeboten wurde. Für 5 Zoll betrug dieser 0.58 cm (SD = 2.14),  $p = .246$ , für 7 Zoll 0.80 cm (SD = 2.26),  $p = .093$ , und für 9 Zoll 0.83 cm (SD = 2.72),  $p = .144$ . Diese Zusammenhänge sind in Abbildung 14a veranschaulicht.

Für Teilnehmer der Gruppe, welche in der ersten Hälfte des Experiments kein Feedback bekam, gab es für alle Handheld-Größen keinen signifikanten Unterschied zwischen der linken und der rechten Seite. Dies war unabhängig davon, ob sie Feedback erhielt oder nicht. Für den Fall, dass sie kein Feedback erhielt, unterschieden sich der räumliche Fehler auf der linken und der rechten Seite für das Handheld von 5 Zoll um

1.52 cm (SD = 3.53),  $p = .052$ , für 7 Zoll um 1.12 cm (SD = 1.94),  $p = .109$ , und für 9 Zoll um  $-0.02$  cm (SD = 2.16),  $p = .979$ . Wenn dieser Gruppe Feedback dargeboten wurde, war der räumliche Fehler auf der linken Seite für ein Handheld von 5 Zoll nahezu genauso groß wie auf der rechten Seite, 0.00 cm (SD = 1.81),  $p > .999$ . Für ein Handheld von 7 Zoll betrug der Unterschied des Fehlers zwischen links und rechts  $-0.05$  cm (SD = 1.33),  $p = .911$ , und für 9 Zoll 0.82 cm (SD = 1.55),  $p = .148$ . Diese Zusammenhänge sind in Abbildung 14b veranschaulicht. Alle anderen untersuchten Effekte und Interaktionen waren nicht signifikant,  $p > .051$ .

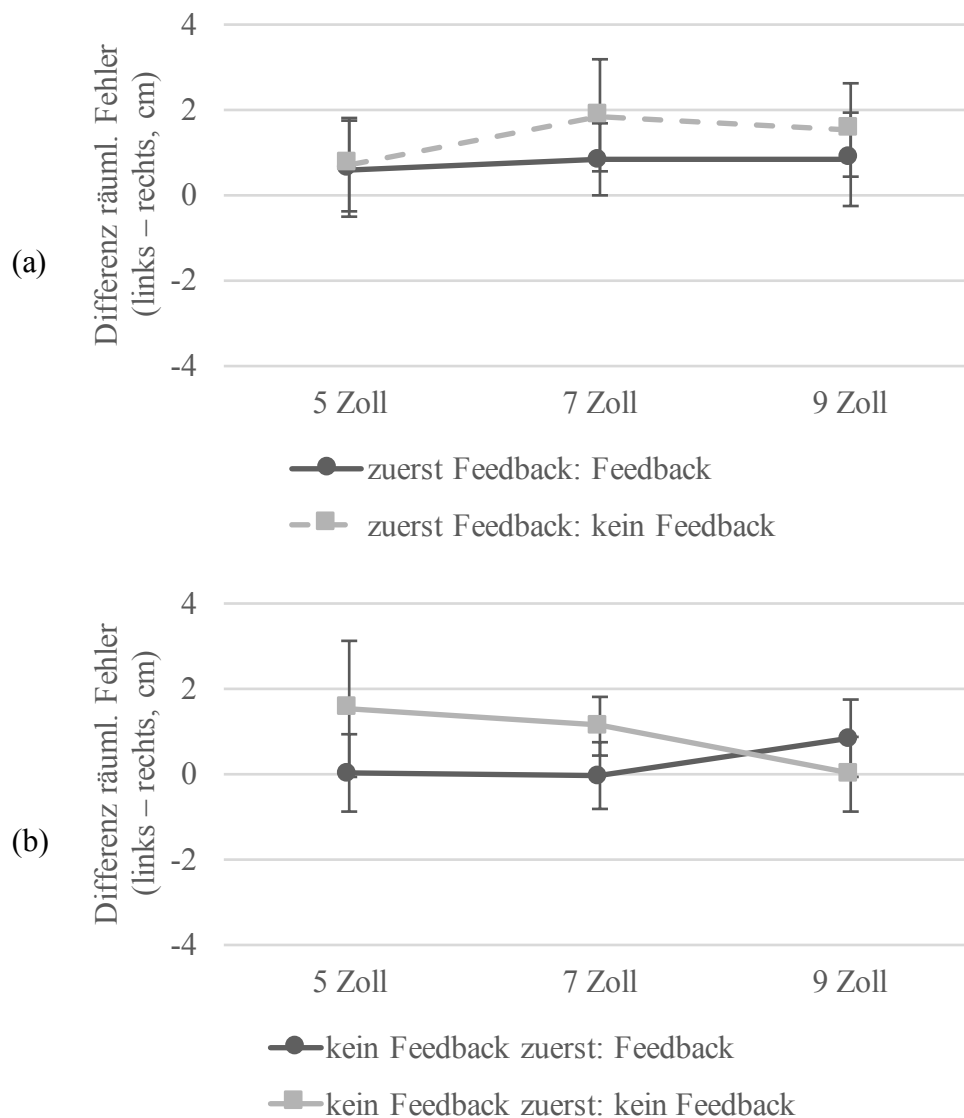


Abbildung 14. Mittlerer räumlicher Fehler im ersten Experiment für signifikante Interaktionen in Abhängigkeit von Feedback-Zeitpunkt, Feedback-Bedingung, Handheld-Größe und Halbfeld. Abbildung (a) zeigt den Zusammenhang für die Gruppe, die zuerst Feedback bekam, (b) für die Gruppe, die zuerst kein Feedback bekam. In beiden Abbildungen diente die Differenz des räumlichen Fehlers zwischen dem linken und rechten Halbfeld als abhängige Variable. Fehlerbalken zeigen das Konfidenzintervall nach Cousineau (2005) und Morey (2008).

**Bewegungszeit.** Im Hinblick auf die erste Fragestellung wurden ebenfalls zunächst Effekte der Faktoren Handheld-Größe, Bereich und Halbfeld ausgewertet. Die Analyse konnte einen signifikanten Haupteffekt für die Handheld-Größe zeigen,  $F(2, 60) = 18.88$ ,  $p < .001$ ,  $\eta_p^2 = .386$ . Es machte zwar keinen signifikanten Unterschied, ob die Teilnehmer mit einer Größe von 5 Zoll, 1996 ms (SD = 411), oder 7 Zoll, 1903 ms (SD = 392), agierten,  $p = .085$ . Für letztere Größe unterschied sich die Bewegungszeit jedoch signifikant von jener für 9 Zoll, 1729 ms (SD = 420),  $t(31) = 4.31$ ,  $p < .001$ . Dieser Effekt ist veranschaulicht in Abbildung 15.

Es gab ebenfalls einen signifikanten Haupteffekt für den Bereich,  $F(2, 60) = 35.41$ ,  $p < .001$ ,  $\eta_p^2 = .541$ . Die Bewegungszeit war am größten für die Ecken, 1940 ms (SD = 407), gefolgt vom Rand 1882 ms (SD = 381). Dieser Unterschied war signifikant,  $t(31) = 4.04$ ,  $p = .001$ , genau wie der Unterschied zwischen Rand und Mitte, 1806 ms (SD = 365),  $t(31) = 5.33$ ,  $p < .001$  (siehe Abbildung 15).

Der Haupteffekt Halbfeld war ebenfalls signifikant,  $F(1, 30) = 24.40$ ,  $p < .001$ ,  $\eta_p^2 = .448$ . Demnach agierten die Teilnehmer auf der linken Seite mit 1791 ms (SD = 351) schneller als auf der rechten mit 1961 ms (SD = 431) (siehe Abbildung 15).

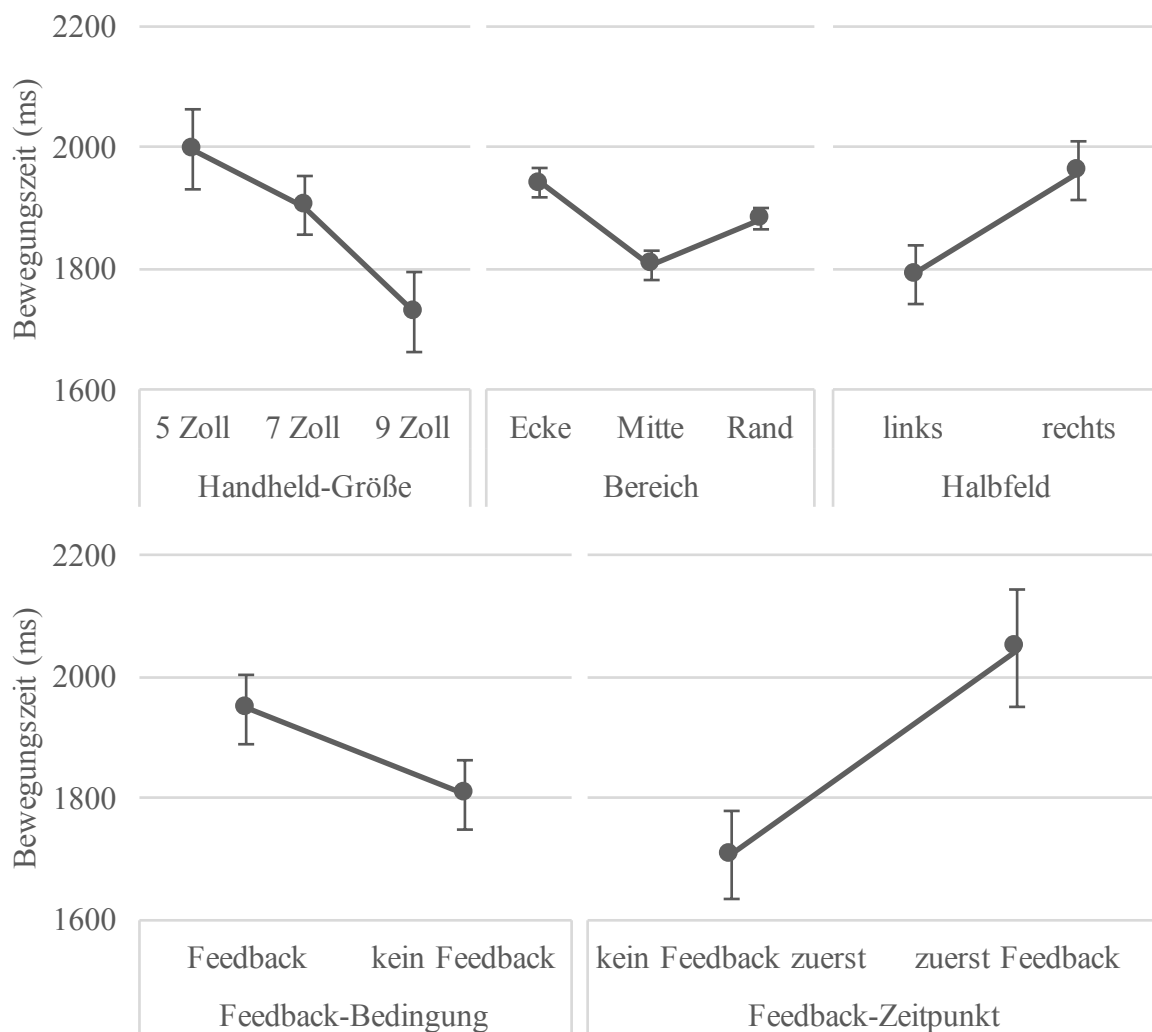


Abbildung 15. Mittlere Bewegungszeiten im ersten Experiment in Abhängigkeit von Handheld-Größe, Bereich, Halbfeld, Feedback-Bedingung bzw. Feedback-Zeitpunkt. Fehlerbalken zeigen das Konfidenzintervall nach Cousineau (2005) und Morey (2008).

Auch hier sei darauf hingewiesen, dass aufgedeckte Haupteffekte unter Umständen vorsichtig zu interpretieren sind. Dies ist dadurch begründet, dass eventuelle Unterschiede zwischen den Faktorstufen durch Interaktionen mit anderen Faktoren zustande gekommen sein könnten. Die gefundenen Interaktionen werden im Folgenden dargelegt.

Neben den aufgedeckten Haupteffekten konnten weitere Interaktionen gezeigt werden wie die zweifache zwischen den Faktoren Bereich und Halbfeld,  $F(2, 60) = 10.62$ ,  $p < .001$ ,  $\eta_p^2 = .261$ . Für paarweise Vergleiche der Bereiche wurde die Differenz der

Bewegungszeiten zwischen dem linken und rechten Halbfeld berechnet

(Bewegungszeit<sub>links</sub> – Bewegungszeit<sub>rechts</sub>)<sup>4</sup>. In den Ecken wurde auf der rechten Seite im Mittel –244 ms (SD = 281) langsamer als links agiert, hier war der Unterschied am größten,  $t(31) = -4.92$ ,  $p < .001$ . Am Rand betrug der Unterschied –179 ms (SD = 244),  $t(31) = -4.16$ ,  $p < .001$ . In der Mitte war der Unterschied mit –85 ms (SD = 121) am geringsten,  $t(31) = -3.96$ ,  $p < .001$ . Diesen Zusammenhang stellt Abbildung 16a noch einmal dar.

Im Rahmen der zweiten Fragestellung wurden Effekte von Feedback-Zeitpunkt und Feedback-Bedingung auf die Bewegungszeit ausgewertet. Für den Faktor Feedback-Bedingung konnte ein signifikanter Haupteffekt gefunden werden,  $F(1, 30) = 11.71$ ,  $p = .002$ ,  $\eta_p^2 = .281$ . Ohne Feedback bearbeiteten die Teilnehmer die Aufgabe schneller, 1805 ms (SD = 365), als mit Feedback, 1947 ms (SD = 428) (siehe Abbildung 15).

Der Haupteffekt Feedback-Zeitpunkt war auch signifikant,  $F(1, 30) = 7.80$ ,  $p = .009$ ,  $\eta_p^2 = .206$ . Teilnehmer, die zunächst kein Feedback erhielten, agierten schneller, 1706 ms (SD = 296), als Teilnehmer, die zunächst Feedback bekamen, 2046 ms (SD = 388) (siehe Abbildung 15).

Aufgrund der folgenden Interaktion höherer Ordnung sollten vorherige Haupteffekte auch hier mit Bedacht interpretiert werden. Die dreifache Interaktion zwischen den Faktoren Feedback-Zeitpunkt, Bereich und Feedback-Bedingung war ebenfalls signifikant,  $F(2, 60) = 4.15$ ,  $p = .021$ ,  $\eta_p^2 = .122$ . Für paarweise Vergleiche wurde für verschiedene Ausprägungen der Faktoren Feedback-Zeitpunkt und Bereich die Differenz der Bewegungszeiten zwischen Feedback- und Nicht-Feedback-Bedingung berechnet (Bewegungszeit<sub>Feedback</sub> – Bewegungszeit<sub>kein Feedback</sub>)<sup>5</sup>. Jene Teilnehmer, welche in der ersten Hälfte des Experiments visuelles Feedback bekamen, benötigten in den

---

<sup>4</sup> Die Differenz bezeichnet, um welchen Wert die Bewegungszeit auf der linken Seite größer als auf der rechten Seite war. Die Differenz konnte daher auch negativ sein.

<sup>5</sup> Die Differenz bezeichnet, um welchen Wert die Bewegungszeit ohne visuelles Feedback größer war als mit visuellem Feedback. Die Differenz konnte daher auch negativ sein.



Ecken 145 ms (SD = 274) mehr Zeit, wenn sie visuelles Feedback bekamen, im Vergleich dazu, wenn sie keines bekamen,  $t(15) = 2.11$ ,  $p = .032$ . Dieser Unterschied betrug in der Mitte 177 ms (SD = 259),  $t(15) = 2.74$ ,  $p = .008$ , und am Rand 93 ms (SD = 285),  $p = .147$ . Die Teilnehmer, welche in der ersten Hälfte des Experiments wiederum kein Feedback bekamen, benötigten in den Ecken 205 ms (SD = 240) mehr Zeit, wenn sie visuelles Feedback bekamen, im Vergleich dazu, wenn sie keines bekamen,  $t(15) = 3.42$ ,  $p = .003$ . Für diese Teilnehmergruppe betrug die Differenz in der Mitte 90 ms (SD = 235),  $p = .156$ , sowie am Rand 140 ms (SD = 210),  $t(15) = 2.67$ ,  $p = .033$ . Für eine Übersicht siehe Abbildung 16b. Alle anderen untersuchten Effekte und Interaktionen waren nicht signifikant,  $p > .051$ .

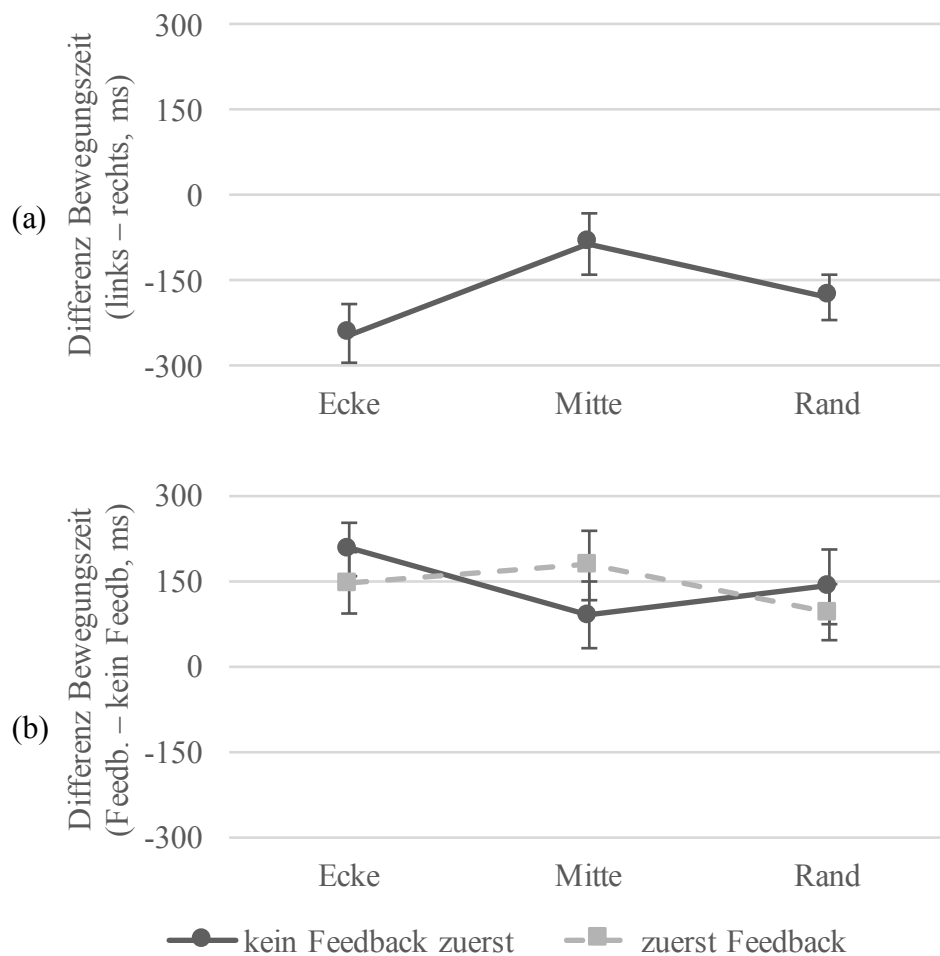


Abbildung 16. Mittlere Bewegungszeiten im ersten Experiment in Abhängigkeit von (a) Bereich und Halbfeld sowie (b) Feedback-Zeitpunkt, Bereich und Feedback-Bedingung. In (a) diente die Differenz der Bewegungszeiten zwischen dem linken und rechten Halbfeld als abhängige Variable, in (b) wiederum die Differenz der Bewegungszeiten zwischen den Durchgängen mit Feedback und den Durchgängen ohne Feedback. Fehlerbalken zeigen das Konfidenzintervall nach Cousineau (2005) und Morey (2008).

## Diskussion

Das erste Experiment untersuchte zwei Fragestellungen. Zum einen wurde der Einfluss der Handheld-Größe sowie des Interaktionsbereiches auf die Leistung in einer sensomotorischen Transformation erforscht und zum anderen die Bedeutung von Feedback. In der verwendeten Aufgabe bedienten Probanden einen entfernten Bildschirm mit der Rückseite unterschiedlich großer Handhelds und bekamen dabei entweder visuelles Feedback oder keines. Bezüglich der ersten Fragestellung konnte aufgedeckt werden, dass Probanden mit einem Handheld von 5 Zoll einen größeren räumlichen Fehler zeigten im Vergleich zu den Größen von 7 und 9 Zoll. Zwischen letzteren beiden gab es wiederum keinen nennenswerten Unterschied. Dies könnte zu der Schlussfolgerung führen, dass es einen Grenzwert für die zu verwendende Größe in einem solchen Szenario gibt. Das Handheld sollte nicht also zu klein sein. Wiederum spielt ab einer gewissen Größe eine weitere Vergrößerung keine Rolle mehr. Dies birgt keinen Leistungsvorteil bezüglich des räumlichen Fehlers. Dieser Effekt ist in der Lage Aufschluss über die vonstattengehende sensomotorische Transformation zu geben. Die verschiedenen Größen der Handhelds stellen dabei unterschiedliche Verstärkungsfaktoren zwischen dem proximalen, den Fingern und der Hand, und dem distalen Handlungseffekt, der Bedienung des Fernsehgerätes, dar. Die gefundenen Ergebnisse zeigen, dass es einen optimalen Wert für diesen Verstärkungsfaktor geben könnte, bei dem der räumliche Fehler minimiert wird. Über die Hintergründe dieses Effekts könnten die Bewegungszeiten weiteren Aufschluss geben. Hier zeigte sich, dass mit dem größten Handheld die geringste Bewegungszeit benötigt wurde. Es könnte also sein, dass es Nutzern schwerer fällt mit einem großen Verstärkungsfaktor, bzw. auf kleineren Handhelds, zu interagieren, was zu einer stärkeren kognitiven Beanspruchung führt. Dies würde sich wiederum in Bewegungszeiten ausdrücken.

Die anfangs formulierte Hypothese widerspricht den gefundenen Ergebnissen allerdings in Teilen. Zunächst wurde angenommen, dass keine Unterschiede gefunden würden. Diese Annahme wurde basierend auf der Arbeit von Gilliot et al. (2014) erarbeitet, welche bei der Bedienung eines Laptops mittels eines Touchpads keinen

Unterschied nachweisen konnten, wenn der Laptopbildschirm genauso groß oder größer als das Touchpad war. Der direkte Vergleich zwischen der genannten Arbeit und der vorliegenden ist jedoch nur teilweise möglich, denn die Größenverhältnisse zwischen Bildschirm und Touchpad waren bei Gilliot et al. (2014) andere. Bildschirm und Touchpad wiesen hier in Bezug auf die Breite ein Verhältnis von 1 : 2, 1 : 1 oder 2 : 1 auf, während in der vorliegenden Arbeit Verhältnisse von 4.44 : 1 (40 Zoll-Bildschirm : 9 Zoll-Handheld), 5.71 : 1 (7 Zoll-Handheld) und 8 : 1 (5 Zoll-Handheld) verwendet wurden. Gilliot et al. (2014) verwendeten folglich kleinere Verstärkungsfaktoren bzw. Größen von Bildschirmen und Touchpads, die sich ähnlicher waren. Die vorliegende Arbeit konnte zeigen, dass es zwischen 5 und 7 Zoll einen Grenzwert gibt, ab dem es keine Verbesserung mehr in der Leistung gab, wenn ein noch größeres Handheld verwendet wurde. Die Ergebnisse von Gilliot et al. (2014) einbeziehend, könnte also geschlussfolgert werden, dass die mathematische Beziehung zwischen Größenverhältnis und räumlichem Fehler quadratischer Natur ist. Das bedeutet, wenn der Bildschirm kleiner als das Touchpad ist, ist der räumliche Fehler größer. Wenn das Verhältnis von Bildschirm und Touchpad im Bereich von 1 : 1 bis 5.71 : 1 liegt, ist der räumliche Fehler minimal. Wenn der Bildschirm im Vergleich zum Touchpad wiederum zu groß wird, nimmt der räumliche Fehler wieder zu.

An dieser Stelle sei der Hinweis gegeben, dass räumliche Fehler und Bewegungszeiten in Bezug auf die Handheld-Größe womöglich Störgrößen unterlagen. Unterschiedliche Bewegungszeiten könnten auch durch verschiedene Konfigurationen der Handhelds hervorgerufen worden sein. Neben der Belichtungszeit der verwendeten Kameras gab es weitere Parameter, deren unterschiedliche Konfiguration dazu hätte führen können, dass die verwendete Software Touch-Punkte unterschiedlich schnell erkannte. Die Änderung der Parameter war allerdings notwendig, um eine optimale Erkennung der Touch-Punkte zu gewährleisten. Außerdem sollte sich dies nur in Effekten und Interaktionen manifestieren können, in denen die Handheld-Größe involviert ist. Aus diesem Grund gilt es, die Bewegungszeiten im Hinblick auf die Handheldgröße mit Vorsicht zu interpretieren. Auch in Bezug auf die Interpretation des

räumlichen Fehlers sei erwähnt, dass Nutzer aufgrund des Gewichts vor allem mit dem größten Handheld Probleme beim Greifen und Festhalten hatten. Dies wurde in der anschließenden Nachbefragung mehrfach genannt und könnte Einfluss auf die Bedienung gehabt haben. In zukünftigen Experimenten sollte daher zum einen darauf geachtet werden, dass die verwendeten Kameras gleich konfiguriert sind, und zum anderen, dass das Festhalten der Handhelds erleichtert wird. Letzteres könnte beispielsweise dadurch erzielt werden, dass die Handhelds mit einem Gummiband an der Decke aufgehängt werden. Auf diese Weise würde das Gewicht reduziert, während Nutzer noch immer ein Restgewicht spüren und das Handheld genau wie im hier durchgeführten Experiment halten könnten.

In Bezug auf den Interaktionsbereich wurden die drei Regionen Ecke, Mitte und Rand sowie die Halbfelder links und rechts unterschieden. Die Ergebnisse zeigten zwar, dass die Region keinen Einfluss auf den räumlichen Fehler hatte, das Halbfeld allerdings schon. Die in der vorliegenden Arbeit aufgestellte Hypothese wurde insofern bestätigt, dass die Region keinen Einfluss hatte. Dies steht den Befunden von Corsten et al. (2015) gegenüber, welche in einem sehr ähnlichen Untersuchungsszenario herausfanden, dass Nutzer am Rand genauer interagierten. Dieser Widerspruch könnte darin begründet sein, dass die vorliegende Arbeit erfolgreich propriozeptives Feedback ausgeschlossen hat. Durch die Homing-Taste, welche den relativen Bezug von Orten auf dem Tablet unterbunden haben könnte, und die Aussparung am Rand des Handhelds, auf der keine Stimuli präsentiert wurden, könnte es den Probanden erschwert worden sein, valides propriozeptives Feedback zu erhalten. Es könnte also geschlussfolgert werden, dass der Bereich keinen Einfluss auf die Transformationsleistung in dieser Aufgabe hat.

Die Analyse der Halbfelder offenbarte jedoch Unterschiede. Die Tatsache, dass Probanden rechts genauer agierten, könnte durch verschiedene Aspekte verursacht worden sein. Eine einfache Erklärung könnte sein, dass lediglich Rechtshänder an dem Experiment teilnahmen und diese rechts genauer agierten als links. Eine andere Erklärung könnte in der verwendeten Apparatur begründet sein. Es könnte schließlich sein, dass die Interaktion mit der Rückseite des Handhelds unkomfortabel ist. Das

bedeutet, wenn auf der unteren linken Seite mit der rechten Hand getippt wurde, könnte etwa der rechte Unterarm gegen das Handheld gestoßen sein und so die Genauigkeit beeinflusst haben. Allerdings hätte in diesem Fall eine Interaktion zwischen der Handheldgröße und dem Halbfeld vorhanden sein müssen, da das größte Handheld in dieser Hinsicht am unkomfortabelsten sein sollte, denn die zu überbrückende Distanz zwischen dem rechten Rahmen des Handhelds und dem auf der linken Seite anzutippenden Punkt ist hier maximal. Dies ist nicht der Fall, was ein Indiz gegen diese Erklärung darstellt. Wiederum eine andere Erklärung könnte ein Kompromiss zwischen Geschwindigkeit und Genauigkeit sein (z.B. Wickelgren, 1977). Die Bewegungszeiten zeigen, dass Probanden links stets schneller agierten als rechts.

Der Zusammenhang zwischen dem Interaktionsbereich und den Halbfeldern offenbarte ein ähnliches Muster wie vorheriges. In den Ecken und am Rand war die Interaktion rechts genauer, in der Mitte gab es keinen Unterschied. Die Bewegungszeiten konstatierten, dass die Interaktion in den Ecken links schneller war als rechts. Dieser Unterschied ist am Rand etwas geringer und in der Mitte am kleinsten. Auch hier könnte es sich um einen Kompromiss zwischen Geschwindigkeit und Genauigkeit handeln. Dieser Zusammenhang wurde darüber hinaus von der Handheld-Größe beeinflusst. Mit den kleineren beiden Handhelds wurden Unterschiede zwischen der linken und der rechten Seite lediglich in den Ecken gezeigt. Mit dem geringsten Verstärkungsfaktor bzw. dem größten Handheld unterliefen den Teilnehmern in jedem Bereich rechts geringere Fehler. Für die Ursachen konnten die Bewegungszeiten keine weitere Erklärung bieten. Allerdings könnten auch hier Unterschiede durch die Händigkeit zustande gekommen sein.

In Bezug auf die erste Fragestellung bleibt also festzuhalten, dass der Bereich des Fernsehgerätes, mit dem interagiert wurde, keinen Einfluss auf die Leistung der sensomotorischen Transformation hat. Die Unterschiede in der Leistung zwischen der linken und der rechten Seite bedürfen allerdings weiterer Untersuchung. Die Begründung, dass diese durch die Händigkeit zustande kamen, könnte durch ein weiteres Experiment erforscht werden. Hierbei sollte ein Vergleich zwischen Links- und

Rechtshändern vorgenommen werden, um einen stichhaltigen Nachweis zu erbringen. Die Teilnehmer sollten jedoch nicht nur mit der dominanten Hand arbeiten, sondern auch mit ihrer nicht-dominanten. Wenn es hierbei einen Unterschied zwischen dominanter und nicht-dominanter Hand gäbe, könnte von einem Händigkeitseffekt ausgegangen werden. Wenn jedoch beide Hände dasselbe Muster zeigten, müsste dies wohl an der vollführten Aufgabe liegen. Möglicherweise agieren die Hände in dem ihnen üblichen Aktionsraum genauer. Das bedeutet, die rechte Hand arbeitet rechts genauer und die linke links. Diese Erklärung bedarf allerdings weiterer Analysen.

Die zweite Fragestellung widmete sich der Frage nach dem Einfluss von visuellem Feedback auf das gewählte Interaktionsszenario. Hier zeigte sich, dass Probanden mit Feedback genauer agierten. Dieser Befund stimmt mit den Arbeiten von Walsh et al. (2009) sowie Heuer und Hegele (2008) überein. Terminales visuelles Feedback scheint also in ausgewählten Situationen in der Lage zu sein, die Leistung von sensomotorischer Transformation zu verbessern. Die Bewegungszeiten offenbarten des Weiteren, dass Teilnehmer mit Feedback stets etwas mehr Zeit für die Eingabe benötigten. Dieser Effekt könnte durch zusätzliche Zeit erklärt werden, die Probanden benötigen, um Feedback zu verarbeiten. Das hier verwendete war kein kontinuierliches Feedback, d.h. es wurde nicht in Echtzeit während der Bewegung dargeboten, sondern terminales nach den jeweiligen Durchgängen. Dennoch schien dies die Teilnehmer während der Bearbeitung der Aufgabe kognitiv zu beschäftigen. Das Feedback scheint also insofern einen Regelungscharakter zu haben, dass Probanden während der Durchgänge ihre Bewegungen durch eine Form von Feedback führten. In Frage käme hierfür propriozeptives Feedback über etwa die Stellung von Fingern oder der Hand, deren optimale Parameter zuvor gespeichert wurden und durch terminales Feedback nach jedem Durchgang verfeinert werden. Hierdurch kann ein Ist-Soll-Vergleich durchgeführt werden, was Kapazitäten und Zeit beansprucht.

Die bessere Leistung bei visuellem Feedback kann jedoch auch durch andere Zusammenhänge erklärt werden, denn der Feedback-Zeitpunkt moderiert den Einfluss von Feedback auf die Leistung in der sensomotorischen Transformation. Teilnehmer, die

zunächst Feedback erhielten, hatten sowohl mit wie auch ohne Feedback eine sehr konstante Leistung. Teilnehmer, die wiederum zunächst kein Feedback erhielten, zeigten jedoch einen Leistungsunterschied, wenn sie Feedback bekamen, im Vergleich dazu, wenn sie kein Feedback bekamen. Die bessere Leistung mit Feedback scheint also durch den Zeitpunkt bedingt zu sein. Dies spricht für die Bildung eines internalen Modells und für eine Persistenz dessen, denn die Leistung fiel ohne Feedback nicht ab, wenn zuerst Feedback gezeigt wurde.

Darüber hinaus hatte der Feedback-Zeitpunkt keinen direkten Einfluss auf die Genauigkeit der sensomotorischen Transformation. Die Bewegungszeiten offenbarten jedoch ein anderes Bild. Teilnehmer, welche zunächst kein Feedback erhielten, arbeiteten stets schneller. Dies könnte auf einen Erwerb von Strategien zurückzuführen sein. Möglicherweise arbeiteten jene Teilnehmer, welche zuerst kein Feedback erhielten, intuitiver, da sie keine Referenz zur Abstimmung ihrer Aktionen hatten. Diese Erklärung korrespondiert mit der zuvor formulierten, nach der Feedback zur Speicherung optimaler propriozeptiver Parameter geführt haben könnte. Dies war hier nicht möglich, weshalb ohne Vergleichswerte keine Regelung stattfinden konnte. Die anderen Teilnehmer wiederum hatten durch das Feedback die Gelegenheit, eine Strategie zu entwickeln, und behielten diese auch bei.

Weiteren Anlass für die Annahme der Bildung internaler Modelle gibt der Zusammenhang von Feedback-Zeitpunkt und Interaktionsbereich. Probanden, die zunächst kein Feedback erhielten, zeigten in allen Bereichen eine ähnliche Genauigkeit bei der Interaktion. Probanden, welche jedoch zunächst Feedback erhielten, agierten im Bereich von Mitte und Rand genauer als in den Ecken. Dies spricht für ein internes Modell von Handheld und auszuführender Transformation, welches Teilnehmer mittels Feedback während der Interaktion generierten.

Der Zusammenhang von Handheld-Größe, Halbfeld, und Feedback könnte wiederum demonstrieren, dass terminales visuelles Feedback auch negative Effekte haben kann. Nutzer, die in der ersten Hälfte visuelles Feedback erhielten, wiesen größere Unterschiede zwischen dem linken und dem rechten Halbfeld auf, wenn sie mit



Handhelds von 7 oder 9 Zoll ohne visuelles Feedback arbeiteten. Nutzer, die zunächst kein Feedback erhielten, zeigten hingegen keine Unterschiede zwischen der linken und der rechten Seite in Abhängigkeit von Handheld-Größe und Feedback. Zwar war propriozeptives Feedback über die relative Lage der Hand zum Handheld durch das fehlende Festhalten des Handhelds nicht vorhanden, doch es gibt darüber hinaus noch propriozeptives Feedback über die relative Lage der Hand zum Rest des Körpers. Die beschriebenen Ergebnisse könnten also ein Hinweis darauf sein, dass Nutzer letzteres körperinternes Feedback aufgrund der dominanten visuellen Information ignorierten, dieses nicht in den Lernprozess einbezogen und somit schlechtere Leistungen zeigten, wenn das visuelle Feedback in der zweiten Hälfte des Experiments fehlte.

Für die Nützlichkeit visuellen Feedbacks sprechen weitere Befunde wie der Zusammenhang zwischen Feedback-Bedingung, Interaktionsbereich und Halbfeld. Zuvor wurde bereits beschrieben, dass Teilnehmer Unterschiede zwischen dem linken und dem rechten Halbfeld in Bezug auf die Genauigkeit aufweisen. Ohne Feedback manifestiert sich diese Differenz besonders in den Ecken und am Rand. Mit Feedback kann wiederum der Nachteil auf der linken Seite am Rand kompensiert werden.

Es gibt des Weiteren einige Fragen, die die Ergebnisse nicht schlüssig beantworten können. Gleichwohl die Ergebnisse für begünstigende Effekte von Feedback bei der Bedienung eines Fernsehgerätes mittels der Rückseite eines Handhelds sprechen, so können sie nichts über langfristige Effekte aussagen. Es konnte zwar gezeigt werden, dass die Genauigkeit in der Interaktion nicht abnimmt, wenn zunächst Feedback gezeigt wurde gefolgt von einer Phase ohne Feedback, jedoch kann keine Aussage darüber getroffen werden, ob dieses Leistungsniveau langfristig überdauert. Hierzu wäre eine Follow-Up-Testung notwendig gewesen, welche nach einigen Tagen noch einmal die Leistung ohne Feedback erhebt. Hier müsste weiterhin geprüft werden, ob diese dann wieder auf das Leistungsniveau der Teilnehmergruppe abfällt, die ohne Feedback begonnen hatte. Eine weitere Frage betrifft die Transferleistung auf andere Kontexte nach einer Trainingsphase mit visuellem Feedback. Die hier durchgeführte Untersuchung beinhaltete lediglich ein Tippen auf der Handheld-Rückseite. Interessant ist nun, ob das

gebildete internale Modell auf andere Kontexte oder Interaktionen, wie etwa Wisch-Gesten oder andere Eingaben, übertragen werden kann.

Im Kontext von Transferleistung gibt es ebenfalls interessante weiterführende Fragestellungen. In Szenarien, in denen viele Arten von Interaktionen und Gesten erfordert sind, könnte erforscht werden, wie sich variables Feedback auf den Transfer und die Persistenz von Übungseffekten auswirkt. Wenn in einer Trainingsphase mit Feedback häufig zwischen den geforderten Gesten und Interaktionen gewechselt wird, könnte dies den Transfer begünstigen. Evidenz hierfür konnten Shea und Morgan (1979) nachweisen. Sie zeigten, dass die Transferleistung wiederum schlechter ist, wenn die Lernphase wenig abwechslungsreich oder variabel dargeboten wurde. Dieser Effekt wird auch *Kontexteffekt* genannt (für eine Übersicht siehe Magill & Hall, 1990). Ebenso interessant könnte die Darbietung kontinuierlichen Feedbacks sein. Es existieren Belege, dass dies zu einer Abhängigkeit von dieser spezifischen Feedback-Form führen kann, sodass die Transferleistung wiederum schlechter ausfallen könnte (Sigrist, Rauter, Riener & Wolf, 2013). Diese Fragen könnten Thema einer weiteren Arbeit sein.

## Experiment 2

Das zweite Experiment widmete sich der Untersuchung der dritten Fragestellung, welche den Einfluss perspektivischer Veränderungen auf die Größeneinschätzung von Bedienelementen auf einem entfernten Fernsehgerät und auf die Leistung in einer sensomotorischen Transformation thematisiert. Hierzu wurde ein ähnlicher Versuchsaufbau wie im ersten Experiment verwendet und der Abstand zwischen Teilnehmer und Fernsehgerät sowie die Größe der Elemente der Benutzeroberfläche variiert.

### Methode

**Stichprobe.** Am zweiten Experiment nahmen 16 Teilnehmer (14 weiblich, 2 männlich) mit einem durchschnittlichen Alter von 23.38 Jahren ( $SD = 5.51$ ) und einer Altersspanne von 19 bis 37 Jahren teil. Es handelte sich auch hierbei um Studierende. Teilnehmer des ersten Experiments waren von der Teilnahme am zweiten ausgeschlossen. Alle Teilnehmer waren rechtshändig, hatten keine kognitiven oder visuellen Vorerkrankungen und besaßen normale oder korrigiert-normale Sehschärfe. Sie wurden durch Süßigkeiten und Versuchspersonenstunden im Rahmen des Psychologiestudiums entlohnt.

**Apparatur und Stimuli.** Das zweite Experiment wurde mit einer ähnlichen Apparatur durchgeführt. Es wurde ein Macintosh-Computer genutzt, an den ein Fernsehgerät der Marke Hannspree, Modell SE40LMNB, angeschlossen war, welches eine Bildschirmdiagonale von 40 Zoll mit einer Auflösung von  $1920 \text{ px} \times 1080 \text{ px}$  und einem Seitenverhältnis von  $16 : 9$  aufwies. Als Eingabegerät wurde ein Handheld mit einem Touchscreen der Größe 7 Zoll genutzt, welches auch im ersten Experiment verwendet wurde.

Als Stimuli wurden schwarze Kreuze mit einer Höhe und Breite von jeweils 10 cm genutzt. Als Homing wurde eine Taste genutzt, welche zentral vor den Teilnehmern auf einem Gestell angebracht war. Sie befand sich in komfortabel erreichbarer, greifbarer Nähe. Die Teilnehmer nahmen zudem in 2, 3 oder 4 m Entfernung zentral vor dem

Fernsehgerät Platz. Das Fernsehgerät stand auf einem Sockel, sodass die Mitte des Gerätes etwa auf Kopfhöhe der Teilnehmer war. Eine Veranschaulichung dieses Aufbaus ist in Abbildung 17 zu sehen.

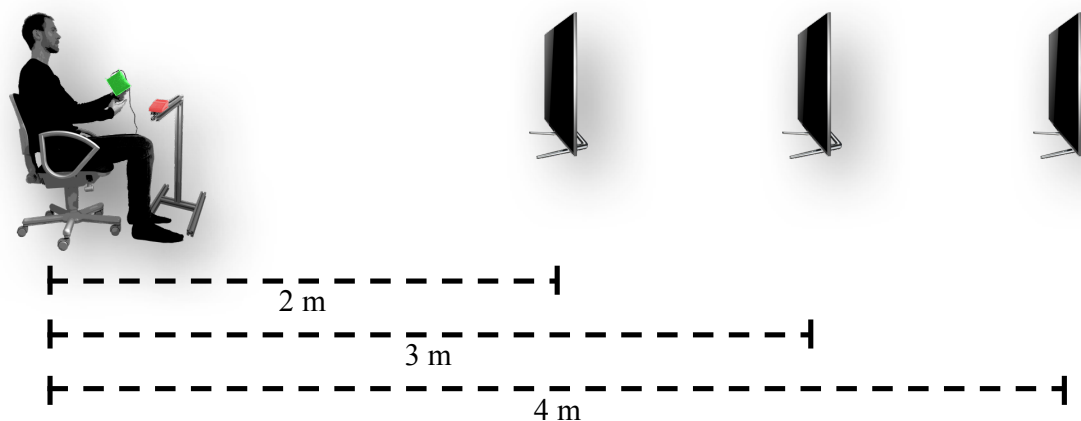


Abbildung 17. Aufbau des zweiten Experiments. Grün gekennzeichnet ist das Handheld, rot die Homing-Taste. Die Teilnehmer saßen in 2, 3 oder 4 m Entfernung zum Fernsehgerät.

**Versuchsablauf.** Auch vor dem zweiten Experiment unterzeichneten die Teilnehmer eine Einverständniserklärung (siehe Anhang A). Hiernach bekamen sie eine schriftliche Instruktion (siehe Anhang B) und wie im ersten Experiment waren sie angewiesen, so korrekt wie möglich zu agieren, während Reaktions- und Bewegungszeiten nur eine untergeordnete Rolle spielten. Des Weiteren war es untersagt, während des Experiments auf die eigenen Hände und das Handheld zu schauen. Dies wurde während des Experiments durch den Versuchsleiter kontrolliert. Aufkommende Fragen wurden durch den Versuchsleiter beantwortet. Das Experiment bestand aus drei Blöcken mit jeweils 30 Trials. In jedem Block saßen die Teilnehmer in einer anderen Entfernung zum Fernsehgerät (2, 3 oder 4 m). Die Reihenfolge war für jeden Teilnehmer randomisiert und über alle Versuchspersonen ausbalanciert, d.h. jede Kombination kam in etwa gleich häufig vor. Vor jedem Block wurden fünf Übungstrials durchgeführt, welche nicht Bestandteil der Auswertung waren.

Die Teilnehmer nahmen für das Experiment zentral vor dem Fernsehgerät Platz. Sie hielten das Handheld mit der linken Hand am Rahmen fest, sodass die Finger die Touch-empfindliche Oberfläche nicht berührten, welche wiederum nach unten zeigte. Zu Beginn wurde zunächst ein weißes Bild präsentiert (siehe Abbildung 18a). Die Trials begannen erst, nachdem mit dem rechten Zeigefinger auf die Homing-Taste gedrückt wurde, woraufhin ein Target im linken Bereich des Bildschirms dargeboten wurde (siehe Abbildung 18b). Es war nun die Aufgabe der Teilnehmer, die entsprechende Stelle auf dem Handheld anzutippen. Sobald die Teilnehmer auf das Handheld tippten, verschwand das schwarze Kreuz (siehe Abbildung 18c). Nach einer Zeit von 500 ms erschien ein weiteres Target im rechten Bereich des Bildschirms (siehe Abbildung 18d). Dieses wurde entweder in 20, 40 oder 60 cm Entfernung zum ersten Kreuz dargeboten. Die beiden Targets wurden vertikal zentriert auf dem Bildschirm dargeboten und hatten zum linken bzw. rechten Bildschirmrand denselben Abstand. Eine Darstellung der drei möglichen Strecken ist in Abbildung 19 zu sehen. Nachdem die Teilnehmer auch für das zweite Target auf die entsprechende Stelle auf dem Handheld getippt hatten, verschwand auch dieses (siehe Abbildung 18e). Der nächste Trial begann erst wieder mit erneuter Betätigung der Homing-Taste. In der Zwischenzeit wurde ein weißes Bild dargeboten. Die drei möglichen Strecken wurden für jeden Teilnehmer gleich häufig und in randomisierter Abfolge dargeboten. Nach dem Experiment wurde eine Nachbefragung mit den Teilnehmern durchgeführt. Diese ist in Anhang E zu finden.

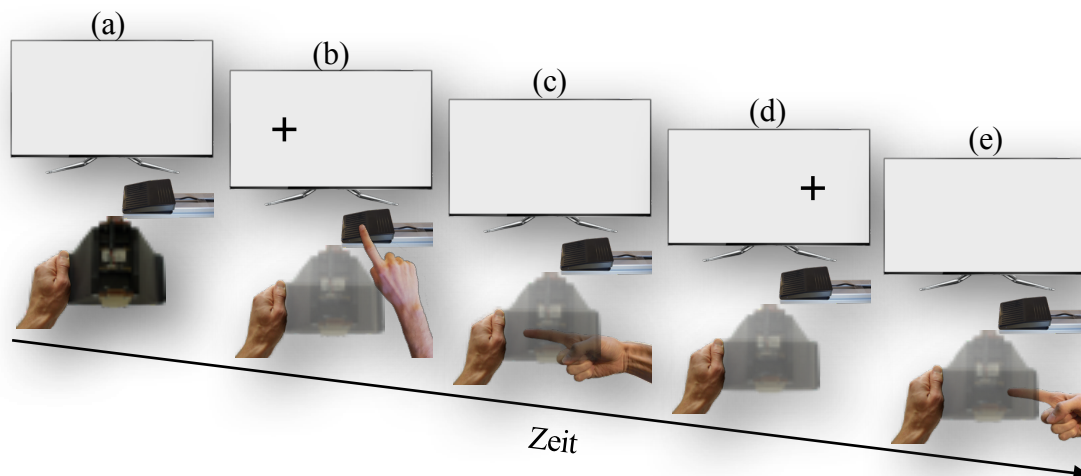


Abbildung 18. Ablauf des zweiten Experiments. Zur Verdeutlichung, wie auf der Unterseite getippt wurde, ist das Handheld in (b), (c), (d) und (e) transparent dargestellt.

**Design.** Als unabhängige Variablen dienten der *Abstand* des Teilnehmers zum Bildschirm (2 vs. 3 vs. 4 m) und die *Strecke* zwischen den beiden präsentierten Kreuzen (20, 40 oder 60 cm). Als abhängige Variable diente ebenfalls der *räumliche Fehler*, welcher dem distalen Handlungseffekt entspricht und in diesem Fall definiert ist als die Differenz der Strecke in Zentimetern zwischen den auf dem Fernsehgerät präsentierten Kreuzen und der Strecke der beiden angetippten Punkte auf dem Fernsehgerät. Um die angetippten Punkte auf dem Fernsehgerät zu ermitteln, wurden auch hier X- und Y-Koordinate des Mittelpunktes der auf dem Handheld aufliegenden Fläche des Zeigefingers verwendet, um diesen im Anschluss relativ auf den entsprechenden Punkt des Fernsehgerätes zu übertragen. Der absolute räumliche Fehler auf dem Handheld, der dem proximalen Handlungseffekt entspricht, wurde nicht analysiert. Die zweite abhängige Variable war die *Bewegungszeit* in Millisekunden, welche die Teilnehmer, gemessen ab dem Beginn des Trials, benötigten, um den Trial durch das Tippen auf das zweite Kreuz abzuschließen (siehe Abbildung 18e).

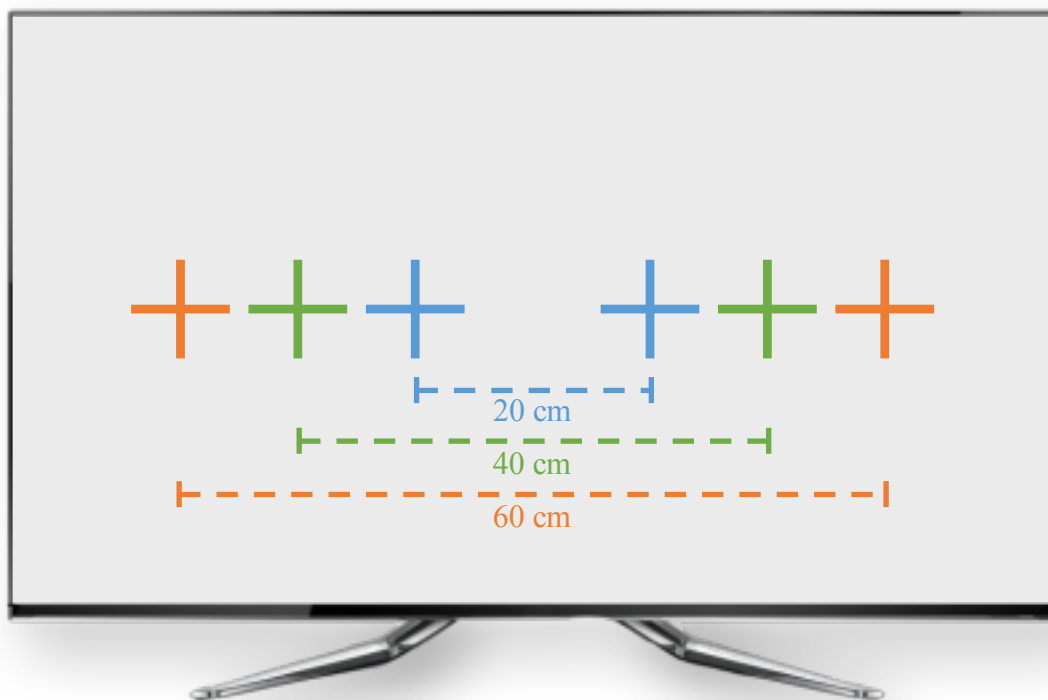


Abbildung 19. Die drei möglichen Abstände, die zwischen den beiden präsentierten Targets im zweiten Experiment liegen konnten.

## Ergebnisse

Bei der Auswertung wurde ähnlich vorgegangen wie für das erste Experiment. Für die Analyse des räumlichen Fehlers und der Bewegungszeit wurden Übungstrials nicht berücksichtigt. Ausgeschlossen wurden des Weiteren Trials, (1) deren Bewegungszeit kleiner als 100 ms war oder (2) dessen Touch-Punkte näher als 5 mm am Rand des Handhelds erfolgten. Außerdem wurden Trials nicht berücksichtigt, (3) wenn der räumliche Fehler oder die Bewegungszeit mehr als zwei Standardabweichungen vom Mittelwert pro Versuchsperson und Faktorenkombination abwich. Auf diese Weise wurden 4.95 % der Trials von der Analyse ausgeschlossen.

Die Auswertung erfolgte für die Mediane von räumlichem Fehler und Bewegungszeit mittels einer Varianzanalyse mit Messwiederholung mit den Faktoren Abstand (2 vs. 3 vs. 4 m) und Strecke (20, 40 oder 60 cm). Post-hoc-Tests für paarweise Vergleiche wurden stets mittels *t*-Test für verbundene Stichproben mit Bonferroni-Korrektur durchgeführt.

**Räumlicher Fehler.** In Bezug auf die dritte Fragestellung, in der exploriert wurde, ob perspektivische Veränderungen Einfluss auf die Leistung in der Aufgabe haben, zeigte die Auswertung des räumlichen Fehlers einen signifikanten Haupteffekt für die Strecke,  $F(2, 30) = 140.83$ ,  $p < .001$ ,  $\eta_p^2 = .904$ . Der räumliche Fehler betrug für eine Strecke von 60 cm im Mittel  $-10.93$  cm (SD = 6.56), d.h. die Eingabe der Teilnehmer war kürzer als die geforderte. Für eine Strecke von 40 cm betrug der räumliche Fehler  $-4.85$  cm (SD = 6.64), wobei sich dieser signifikant vom räumlichen Fehler für eine Strecke von 60 cm unterschied,  $t(15) = 7.98$ ,  $p < .001$ . Für eine Strecke von 20 cm war die Eingabe der Teilnehmer allerdings um 3.01 cm (SD = 5.31) länger als die geforderte. Hier war der Unterschied zur Strecke von 40 cm ebenfalls signifikant,  $t(15) = 10.83$ ,  $p < .001$ . Alle anderen Effekte und Interaktionen waren nicht signifikant,  $p > .840$ .

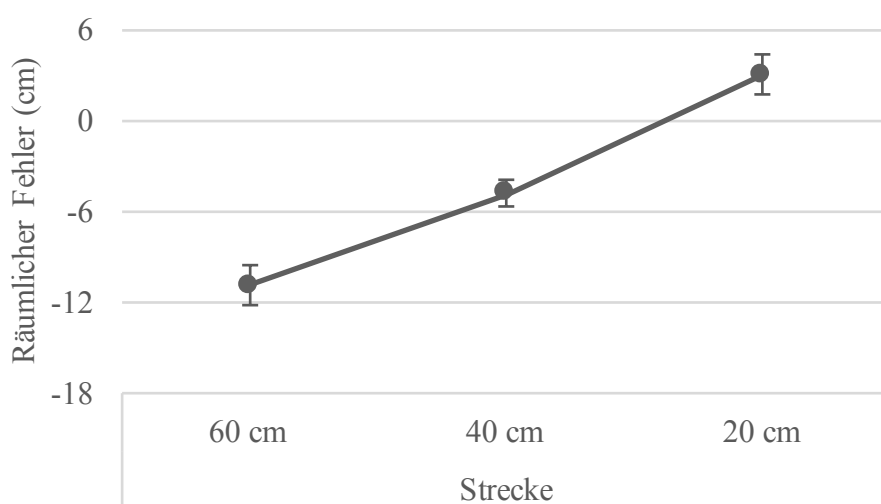


Abbildung 20. Mittlerer räumlicher Fehler im zweiten Experiment in Abhängigkeit der Strecke. Fehlerbalken zeigen das Konfidenzintervall nach Cousineau (2005) und Morey (2008).

**Bewegungszeit.** Die Analyse der Bewegungszeiten deckte keine signifikanten Haupteffekte und Interaktionen auf,  $p > .087$ .



## Diskussion

Das zweite Experiment untersuchte die Fragestellung, ob perspektivische Veränderungen Einfluss auf die sensomotorische Transformation haben, welche bei der Bedienung eines entfernten Fernsehgerätes mittels der Rückseite eines Handhelds stattfindet. Variiert wurden dabei die Entfernung des Probanden zum Fernsehgerät sowie die Größe der Elemente der Benutzeroberfläche. Es konnte gezeigt werden, dass in dem verwendeten Szenario verschieden große Elemente unterschiedlich wahrgenommen wurden. Probanden tippten zwei Elemente auf dem Fernsehgerät nacheinander an, wobei die Distanz zwischen ihnen variiert wurde. Dabei offenbarte sich, dass die Strecke zwischen Elementen, welche 60 cm entfernt waren, deutlich unterschätzt wurde. Die Strecke zwischen zwei 40 cm entfernten Elementen wurde hingegen weniger stark unterschätzt. Eine Strecke von 20 cm wurde wiederum überschätzt, wobei dieser räumliche Fehler betragsmäßig am kleinsten war. Ähnlich wie im ersten Experiment scheint es hier einen Grenzwert zu geben, bei dem die Einschätzung der Strecke am akkuratesten ist. Dieser Grenzwert scheint zwischen 20 und 40 cm zu liegen.

Des Weiteren wurde der Einfluss der Distanz zwischen dem Probanden und dem Fernsehgerät untersucht. Die Veränderung der Distanz zum Fernsehgerät entspricht einer Veränderung der Projektion des Fernsehgerätes auf der Netzhaut des Probanden. Dies hätte eine Veränderung der Relation zwischen proximalem (Hand) und distalem Handlungseffekt (Fernsehgerät bzw. Netzhautprojektion) darstellen können. Es konnte allerdings kein Zusammenhang zwischen Distanz und Genauigkeit der Leistung in der Transformation aufgedeckt werden. Im Hinblick hierauf war die aufgestellte Hypothese explorativ formuliert. Es gab zwei prognostizierte potentielle Effekte. Gemäß des Prinzips der Wahrnehmungskontanz, welche Müsseler (2008) sehr gut beschrieb, könnte angenommen werden, dass Probanden unabhängig von der Distanz die Elemente der Benutzeroberfläche stets gleich wahrnahmen. Dies könnte daran liegen, dass der Rahmen des Fernsehgerätes stets eine Bezugsgröße für die Beurteilung der Elemente darstellte. Um diese Annahme zu stützen, müssten allerdings weitere Experimente durchgeführt werden, denn das vorliegende kann lediglich als Indiz gelten. Es gäbe die

Möglichkeit, das Experiment mit einem Projektor, der mit weißem Hintergrund auf eine weiße Wand projiziert, zu wiederholen. Auf diese Weise ginge der Rahmen als Bezugsgröße verloren. Sollten sich in Folge dessen nun Effekte bezüglich des Einflusses der Entfernung zum Fernsehgerät finden, so kann geschlussfolgert werden, dass in dem untersuchten Szenario Wahrnehmungskonstanzen wirken.

Die alternative potentielle Erklärung für einen eventuellen Einfluss der Distanz auf die Größeneinschätzung von Elementen der Benutzeroberfläche war die Adaptation an eine Entfernung bzw. an eine Wahrnehmung von Elementen. Eine Veränderung der Perspektive hätte zu unterschiedlichen räumlichen Fehlern führen sollen. Die vorliegenden Daten geben hierauf aber zunächst keinen Hinweis. Der Effekt kann jedoch auch nicht ausgeschlossen werden. An dem durchgeführten Untersuchungsszenario kann insofern Kritik geübt werden, als dass es möglicherweise nicht in der Lage war, besagten Effekt offenzulegen. Jeder Proband absolvierte die Aufgabe mit jeder der drei möglichen Distanzen zum Fernsehgerät. Die Reihenfolge war hierbei randomisiert und über die Teilnehmer ausbalanciert, sodass die möglichen Kombinationen der drei Distanzen etwa gleich häufig vorkamen. Klassische Adaptationsparadigmen gehen allerdings anders vor. Hier wird eine konstante Reihenfolge der Versuchsbedingungen sichergestellt mit einer Prä- und einer Post-Phase, zwischen denen eine Adaptationsphase liegt. Übertragen auf das hier vorliegende Szenario nach dem Vorbild von Vindras und Viviani (2002) würde dies implizieren, dass alle Teilnehmer beispielsweise mit derselben Distanz beginnen, etwa der kleinsten, dann mit einer anderen Distanz fortfahren, etwa der größten, und am Ende noch einmal mit der anfänglichen kleinsten Distanz arbeiten. Zur Kontrolle hätte eine zweite Gruppe in gegenteiliger Reihenfolge die Aufgabe bearbeitet, bei der die Bedingungen getauscht sind. Nun könnte man die Differenz zwischen dem ersten und dem dritten Block berechnen, welche als Indikator für eine erfolgreiche Adaptationsleistung gelten würde.

Ein weiterer Unterschied zwischen klassischen Adaptationsparadigmen und dem hier verwendeten besteht in der Darbietung von Feedback. Die durchgeführte Untersuchung beinhaltet keine Form von Feedback. Auch dies könnte in das zuvor

vorgeschlagene Experiment aufgenommen werden. Während des zweiten, mittleren Blocks könnte visuelles Feedback über die abgetippte Strecke auf dem Bildschirm rückgemeldet werden. Auch hier würde wieder die Differenz zwischen dem ersten und dem dritten Block berechnet. Darüber hinaus könnten zwei Gruppen in Block eins und drei in derselben Distanz arbeiten, während sich die Distanz im zweiten Block für beide Gruppen unterscheidet. Unterschiede zwischen den beiden Gruppen bezüglich der Differenz zwischen dem ersten und dem dritten Block wären nun ein Hinweis für eine unterschiedliche Adaptation an die verschiedenen Distanzen und nicht nur für einen Lerneffekt.

Die Ergebnisse aus dem ersten und dem zweiten Experiment lassen sich darüber hinaus zusammenführen. Im ersten Experiment wurde die Größe des Handhelds variiert und im zweiten der Abstand zum Bildschirm. Beide Manipulationen verändern das wahrgenommene Größenverhältnis von Handheld zu Bildschirm, denn die empfundene Größe des Fernsehgerätes wird kleiner, wenn es sich entfernt. Im ersten Experiment wurde diskutiert, ob die gefundenen Leistungsunterschiede auf das Größenverhältnis zurückzuführen sein könnten. Die Ergebnisse aus dem zweiten Experiment liefern hierzu widersprüchliche Hinweise. Dies könnte dafür sprechen, dass unabhängig von der Größe des Fernsehgerätes die absolute Größe des Handhelds relevant für die Genauigkeit in der untersuchten sensomotorischen Transformationsaufgabe ist. Eine andere Erklärung könnte jedoch auch erneut die zuvor beschriebene Größenkonstanz sein, aufgrund derer sich die wahrgenommene Größe des Bildschirms möglicherweise nicht verändert hat.

### Allgemeine Diskussion

Die vorliegende Arbeit hat die sensomotorische Transformation bei der Bedienung eines entfernten Fernsehgerätes mittels der Rückseite eines Handhelds erforscht. Gegenstand der Untersuchung war der Einfluss von Handheld-Größe, Interaktionsbereich, Feedback sowie perspektivischer Veränderungen. Es konnte gezeigt werden, dass die Handheld-Größe einen Einfluss auf die Transformationsleistung ausübt. Während mit sehr kleinen Handhelds ungenauer gearbeitet wird, nimmt die Genauigkeit mit größeren Handhelds zu. Dieser Effekt hat jedoch seine Grenzen, sodass es eine Größe zwischen 5 und 7 Zoll gibt, der eine weitere Vergrößerung keinen zusätzlichen Nutzen bringt. Der Interaktionsbereich war insofern relevant, als dass die Leistung bei der Interaktion mit der linken Seite des Fernsehgerätes ungenauer ausfiel als auf der rechten. Dieser Effekt stand in Zusammenhang mit dem Bereich des Fernsehgerätes, in dem die Interaktion stattfand. In den Ecken und am Rand waren die Unterschiede größer. Darüber hinaus kann Feedback zu einer direkten Leistungsverbesserung führen. Diese ist auch noch persistent, wenn das Feedback im weiteren nicht mehr präsentiert wird. Auch ist Feedback in der Lage, in einigen Bereichen der Interaktion Leistungsunterschiede zwischen rechter und linker Seite zu kompensieren. Die Untersuchung perspektivischer Veränderung zeigte darüber hinaus, dass Elemente und Strecken verschiedener Längen auf dem Fernsehgerät unterschiedlich groß wahrgenommen werden. Strecken einer Länge zwischen 20 und 40 cm werden am akkuratesten eingeschätzt. Eine zusätzliche Variation der Distanz zwischen Proband und Fernsehgerät beeinflusste die Transformationsleistung jedoch nicht.

Neben dem reinen Erkenntnisgewinn über die Funktionsweise und beeinflussende Variablen der hier vollführten sensomotorischen Transformation ist ebenfalls die Formulierung von Handlungs- und Designempfehlungen in Bezug auf reale Interaktionsszenarien, die dem untersuchten ähneln, sehr interessant. Zu Beginn wurde das Beispiel des Videospiele namens Super Mario Land eingebracht, das auf einem Fernsehgerät mittels eines Smartphones gesteuert und gespielt werden könnte. Um dem Spieler zusätzliche Eingabemöglichkeiten zu eröffnen, könnte neben der Vorderseite auch die Rückseite des Smartphones genutzt werden. Während mit der Vorderseite die Bewegungen des Avatars gesteuert würden, könnte die Rückseite für das Werfen von Geschossen dienen. Für diesen Kontext können nun mittels der gefundenen Ergebnisse einige Empfehlungen für die Bedienung der Handheld-Rückseite abgeleitet werden. Bei den folgenden Empfehlungen ist darauf zu achten, dass diese für die untersuchte Apparatur gelten. Veränderungen der Größe des Fernsehgerätes oder andere Variationen erfordern eine entsprechende Skalierung der Designempfehlungen.

1. Der Einfluss der Handheld-Größe auf die Genauigkeit in einem solchen Szenario legt nahe, dass die Größe zu berücksichtigen ist. Es sollte ein Handheld gewählt werden, das 7 Zoll oder größer ist. Auf Handhelds mit einer Größe von mehr als 9 Zoll sollte verzichtet werden. Hierfür liegen keine Befunde vor.
2. Des Weiteren sollte vor dem Design der Benutzeroberfläche exploriert werden, wie das Handheld voraussichtlich gehalten wird. Wenn das Handheld einhändig gehalten wird, scheint es Unterschiede in der Genauigkeit zwischen dem linken und rechten Interaktionsbereich zu geben. In diesem Fall sollte darauf geachtet werden, dass wichtige Elemente der Benutzeroberfläche möglichst weit in Richtung der agierenden Hand platziert werden.

3. Nutzer profitieren generell von visuellem Feedback. Dieses sollte, wann immer möglich, dargeboten werden. Feedback scheint außerdem Unterschiede zwischen dem linken und rechten Interaktionsbereich zu kompensieren. Ist es nicht möglich, Feedback zu geben, ist eine Trainingsphase empfehlenswert, in der Nutzer die Interaktion mit dem Fernsehgerät üben. Im Folgenden ist es dann möglich auf das Feedback zu verzichten. Das gebildete internale Modell scheint zeitlich zu überdauern und ist auch noch nutzbar, wenn das Feedback eingestellt wird.
4. Wenn die Benutzeroberfläche die Einschätzung einer Strecke erfordert und hierbei die Genauigkeit von großer Relevanz ist, sollte eine Strecke zwischen 20 und 40 cm gewählt werden. Ein Anwendungsbeispiel sind Wisch-Gesten. Diese werden beispielsweise beim Einstellen der Lautstärke oder dem Vorspulen von Filmsequenzen mittels eines Schiebereglers verwendet. Insbesondere bei der Abwesenheit von visuellem Feedback kann diese Empfehlung hilfreich sein.

Es existieren neben dem zu Beginn aufgeworfenen Anwendungsbeispiel des Videospiele weitere Szenarien, die von den hier gewonnenen Erkenntnissen profitieren könnten. Wie bereits beschrieben haben Corsten et al. (2016) eine Hülle mit spürbaren Noppen entwickelt, um die Orientierung und somit die Genauigkeit bei der Bedienung eines Fernsehgerätes mittels eines Smartphones zu erhöhen. Die Idee war hierbei, ohne größeren Aufwand und Änderungen an der Benutzeroberfläche auf dem Smartphone, die auf das Fernsehgerät projiziert wird, ein einfaches Hilfsmittel zu geben. Zwar unterscheidet sich die Interaktion in genannter Arbeit von der in dieser Arbeit untersuchten insofern, dass nicht die Rückseite zur Eingabe genutzt wurde. Da jedoch die Noppen zur Orientierung dienen und erst eine Zuordnung von Fernsehgerät zu Smartphone-Rückseite stattfindet, was ebenfalls eine sensomotorische Transformation darstellt, und erst danach ein Tippen auf der Vorderseite, können Ergebnisse aus der vorliegenden Arbeit auf das Konzept von Corsten et al. (2016) übertragen werden. Mögliche Empfehlungen können sich allerdings nur auf eine Auswahl der gefundenen Ergebnisse beziehen, da der beschriebene Ansatz beispielsweise die Präsentation und Variation visuellen Feedbacks ausschließt. Auch Hinweise auf das Design von Elementen

der Benutzeroberfläche können hier nicht helfen, denn das Konzept von Corsten et al. (2016) sieht keine Veränderung an der Smartphone-Software vor. Lediglich die Effekte in Bezug auf Handheld-Größe sowie Interaktionsbereich können für die Formulierung von Empfehlungen herangezogen werden.

Eine erste simple Handlungsempfehlung gilt der Größe des verwendeten Smartphones. Wie in zuvor formulierten Vorschlägen beschrieben sollte kein allzu kleines Smartphone verwendet werden. Ein Größe von 7 Zoll oder größer scheint einen Vorteil in Bezug auf die Genauigkeit der Interaktion zu geben.

Eine weitere komplexere Empfehlung bezieht sich auf die Weiterentwicklung der Hüllen auf der Smartphone-Rückseite. Corsten et al. (2016) untersuchten bereits verschiedene Hüllenentwürfe. Hierunter waren unter anderem eine Hülle mit einem begrenzenden Rahmen und einer gewissen Anzahl von Noppen (Abbildung 21C und 21D) sowie eine Hülle mit begrenzendem Rahmen und einem die Rückseite in Quadrate teilenden Raster (Abbildung 21E und 21F, für eine Übersicht aller Entwürfe siehe Abbildung 21). Es zeigte sich vor allem, dass Noppen auf der Rückseite zu signifikant besseren Ergebnissen führten. Diese Erkenntnis könnte mit dem Wissen über die Präzision in verschiedenen Interaktionsbereichen kombiniert werden. Eine Idee wäre, die Anzahl der Noppen in Bereichen von geringerer Genauigkeit zu erhöhen. Entsprechende Bereiche stellen vor allem die linken Ecken bei Smartphones von 5 und 7 Zoll dar. Für Smartphones von 9 Zoll wiederum scheinen links alle Bereiche einer Unterstützung zu bedürfen.

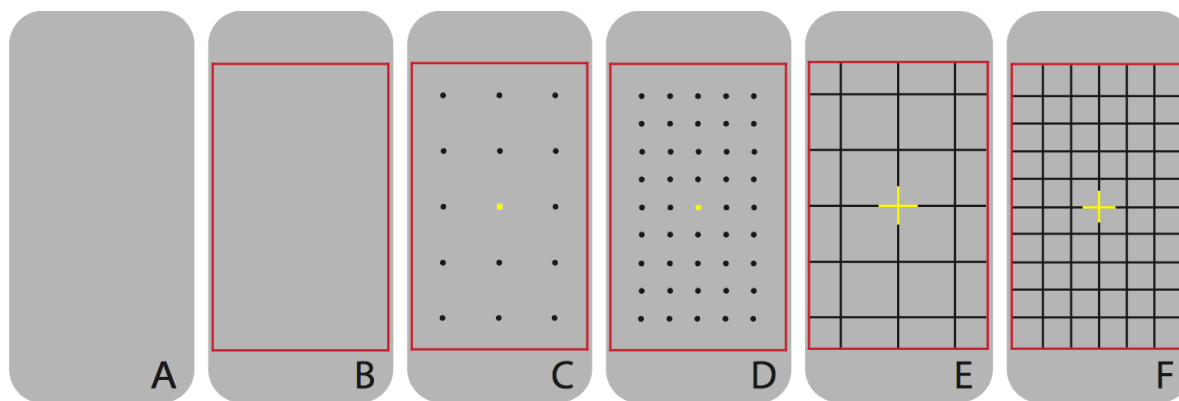


Abbildung 21. Die untersuchten Smartphone-Hüllen von Corsten, Cherek, Karrer und Borchers (2015). A bot keinerlei haptisches Feedback, B wies einen Rahmen auf, C wies einen Rahmen und eine geringe Anzahl von Noppen auf, D hatte einen Rahmen und eine hohe Anzahl von Noppen, E wies einen Rahmen mit einem groben Raster auf, F hatte einen Rahmen und ein engmaschiges Raster.

Die vorgeschlagene Erhöhung von Noppen in Bereichen geringerer Präzision könnte jedoch auch zu Schwierigkeiten führen. Nutzer könnten annehmen, dass Noppen gleichmäßig über die Rückseite verteilt sind, und somit zu Fehleinschätzungen kommen. Diesem Problem könnte man begegnen, indem Noppen mit einem Raster kombiniert werden. Ein Raster mit gleich großen Flächen könnte genutzt werden, um dem Nutzer eine grobe Orientierung zu bieten. Flächen bzw. Bereiche geringerer Präzision könnten zusätzlich mit einer größeren Anzahl von Noppen ausgestattet werden, um die Genauigkeit weiter zu optimieren. Dieser Vorschlag sollte jedoch in weiteren Arbeiten thematisiert und untersucht werden. Hierbei sollte insbesondere darauf geachtet werden, dass links- und rechtshändige Nutzer an der Untersuchung teilnehmen. Wie bereits erwähnt, könnten die in dieser Arbeit gefundenen Unterschiede zwischen dem linken und rechten Interaktionsbereich durch die Händigkeit zustande gekommen sein. In diesem Fall könnten spezielle Links- und Rechtshänder-Hüllen die Lösung sein, die auf der jeweils nicht-dominanten Seite, den eben formulierten Vorschlag umsetzen.



## Literatur

- Bergstrom-Lehtovirta, J. & Oulasvirta, A. (2014). Modeling the Functional Area of the Thumb on Mobile Touchscreen Surfaces. In *CHI '14: Proceedings of the 32nd annual ACM conference on Human factors in computing systems* (S. 1991–2000). Toronto, ON, Canada. doi:10.1145/2556288.2557354
- Buschek, D., Schoenleben, O. & Oulasvirta, A. (2014). Improving Accuracy in Back-of-Device Multitouch Typing: A Clustering-based Approach to Keyboard Updating. In *IUI '14: Proceedings of the 19th international conference on Intelligent User Interfaces* (S. 57–66). doi:10.1145/2557500.2557501
- Buxton, B. (2007). Multi-Touch Systems that I Have Known and Loved. Zugriff 21. September 2017 unter <http://www.billbuxton.com/multitouchOverview.html>
- Cole, J. (2006). *Ein Leben ohne Propriozeption und Berührungssinn* (Online-Artikel). Zugriff unter [http://www.sehen-und-bewegen.de/infothek/Jonathan%7B%5C\\_%7DCole-Propriozeption.pdf](http://www.sehen-und-bewegen.de/infothek/Jonathan%7B%5C_%7DCole-Propriozeption.pdf)
- Corsten, C., Cherek, C., Karrer, T. & Borchers, J. (2015). HaptiCase: Back-of-Device Tactile Landmarks for Eyes-Free Absolute Indirect Touch. In *CHI '15: Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems* (S. 2171–2180). doi:10.1145/2702123.2702277
- Corsten, C., Link, A., Karrer, T. & Borchers, J. (2016). Understanding Back-to-Front Pinching for Eyes-Free Mobile Touch Input. In *MobileHCI '16: Proceedings of the 18th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services* (S. 185–189). doi:10.1145/2935334.2935371
- Cousineau, D. (2005). Confidence intervals in within-subject designs: A simpler solution to Loftus and Masson's method. *Tutorials in Quantitative Methods for Psychology*, 1(1), 42–45. doi:10.20982/tqmp.01.1.p042
- Douglas, S. & Mithal, A. K. (1997). *The ergonomics of computer pointing devices*. London: Springer-Verlag. doi:10.1007/978-1-4471-0917-4
- Dvorak, A. (1943). There is a better typewriter keyboard. *National Business Education Quarterly*, 12(2), 51–58, 66.

- Fitts, P. M. (1954). The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movements. *Journal of experimental psychology*, 47(6), 381–391.
- Garrigues, J. M. (2016). *A Scalable Measurement Tool to Capture Back-of-Device Touch Data* (Bachelorarbeit, RWTH Aachen University). Zugriff unter <https://publications.rwth-aachen.de/record/691793>
- Gilliot, J., Casiez, G. & Roussel, N. (2014). Impact of Form Factors and Input Conditions on Absolute Indirect-Touch Pointing Tasks. In *CHI '14: Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (S. 723–732). doi:10.1145/2556288.2556997
- Hakoda, H., Fukatsu, Y., Shizuki, B. & Tanaka, J. (2015). Back-of-Device Interaction based on the Range of Motion of the Index Finger. In *OzCHI '15: Proceedings of the Annual Meeting of the Australian Special Interest Group for Computer Human Interaction* (S. 202–206). New York, New York, USA: ACM Press. doi:10.1145/2838739.2838812
- Heo, S. & Lee, G. (2011). Force Gestures: Augmenting Touch Screen Gestures with Normal and Tangential Forces. In *UIST '11: Proceedings of the 24th annual ACM symposium on User interface software and technology* (S. 621–626). doi:10.1145/2047196.2047278
- Heuer, H. (1983). *Bewegungslernen*. Stuttgart Berlin Köln Mainz: Kohlhammer.
- Heuer, H. & Hegele, M. (2008). Constraints on visuo-motor adaptation depend on the type of visual feedback during practice. *Experimental Brain Research*, 185(1), 101–110. doi:10.1007/s00221-007-1135-5
- Kaltenbrunner, M. (2009). reacTIVision and TUIO: A Tangible Tabletop Toolkit. *ITS '09: Proceedings of the ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces*, 9–16. doi:10.1145/1731903.1731906
- Kenward, B., Weir, A. A. S., Rutz, C. & Kacelnik, A. (2005). Behavioural ecology: Tool manufacture by naive juvenile crows. *Nature*, 433(7022), 121. Zugriff unter doi:10.1038/433121a

- Konczak, J. (2008). Motorische Kontrolle. In J. Müsseler (Hrsg.), *Allgemeine Psychologie* (Kap. 17, S. 740–764). Berlin Heidelberg: Springer.
- Kunde, W., Müsseler, J. & Heuer, H. (2007). Spatial Compatibility Effects With Tool Use. *Human Factors*, *49*(4), 661–670. doi:10.1518/001872007X215737.
- Ladwig, S., Sutter, C. & Müsseler, J. (2012). Crosstalk between proximal and distal action effects during tool use. *Zeitschrift für Psychologie*, *220*(1), 10–15. doi:10.1027/2151-2604/a000085
- Löchtefeld, M., Hirtz, C. & Gehring, S. (2013). Evaluation of Hybrid Front- and Back-of-Device Interaction on Mobile Devices. In *MUM '13: Proceedings of the 12th International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia*. doi:10.1145/2541831.2541865
- MacKenzie, I. S. (1992). Fitts' Law as a Research and Design Tool in Human-Computer Interaction. *Human-Computer Interaction*, *7*, 91–139. doi:10.1207/s15327051hci0701\_3
- Magill, R. A. & Hall, K. G. (1990). A review of the contextual interference effect in motor skill acquisition. *Human Movement Science*, *9*(3-5), 241–289. doi:10.1016/0167-9457(90)90005-X
- Maravita, A. & Iriki, A. (2004). Tools for the body (schema). *Trends in Cognitive Sciences*, *8*(2), 79–86. doi:10.1016/j.tics.2003.12.008
- Morey, R. D. (2008). Confidence Intervals from Normalized Data: A correction to Cousineau (2005). *Tutorials in Quantitative Methods for Psychology*, *4*(2), 61–64. doi:10.20982/tqmp.04.2.p061
- Moyes, C. D. & Schulte, P. M. (2008). Mechanorezeption. In *Tierphysiologie* (Kap. 7.4, S. 293–307). München: Pearson Studium.
- Müsseler, J. (2008). Visuelle Wahrnehmung. In J. Müsseler (Hrsg.), *Allgemeine Psychologie* (Kap. 1, S. 15–59). Berlin Heidelberg: Springer.
- Müsseler, J. & Sutter, C. (2012). Menschliche Informationsverarbeitung beim Werkzeuggebrauch: Zur Koordination proximaler und distaler Handlungseffekte. In T. H. Schmitz & H. Groninger (Hrsg.), *Werkzeug / Denkzeug: Manuelle*

- Intelligenz und Transmedialität kreativer Prozesse* (S. 247–261). Bielefeld: Transcript.
- Nintendo K.K. (1990). *Super Mario Land* (Videospiel).
- Roth, V. & Turner, T. (2009). Bezel Swipe: Conflict-Free Scrolling and Multiple Selection on Mobile Touch Screen Devices. In *CHI '09: Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (S. 1523–1526). New York, New York, USA: ACM Press. doi:10.1145/1518701.1518933
- Schoenleben, O. & Oulasvirta, A. (2013). Sandwich Keyboard: Fast Ten-finger Typing on a Mobile Device with Adaptive Touch Sensing on the Back Side. In *MobileHCI '13: Proceedings of the 15th international conference on Human-computer interaction with mobile devices and services* (S. 175–178). doi:10.1145/2493190.2493233
- Schröger, E., Kaernbach, C. & Schönwiesner, M. (2008). Auditive Wahrnehmung und multisensorische Verarbeitung. In J. Müsseler (Hrsg.), *Allgemeine Psychologie* (Kap. 2, S. 58–100). Berlin Heidelberg: Springer.
- Scott, J., Izadi, S., Rezai, L. S., Ruszkowski, D., Bi, X. & Balakrishnan, R. (2010). RearType: Text Entry Using Keys on the Back of a Device. In *MobileHCI '10: Proceedings of the 12th international conference on Human computer interaction with mobile devices and services* (S. 171–180). doi:10.1145/1851600.1851630
- Shea, J. B. & Morgan, R. L. (1979). Contextual interference effects on the acquisition, retention, and transfer of a motor skill. *Journal of Experimental Psychology: Human Learning and Memory*, 5(2), 179–187. doi:10.1037/0278-7393.5.2.179
- Sigrist, R., Rauter, G., Riener, R. & Wolf, P. (2013). Augmented visual, auditory, haptic, and multimodal feedback in motor learning: A review. *Psychonomic Bulletin & Review*, 20(1), 21–53. doi:10.3758/s13423-012-0333-8
- Sutter, C. (2006). *Charakteristische Nutzereigenschaften und ihr Einfluss auf die Bedienung von Notebook- Eingabegeräten: eine arbeitspsychologische Evaluation von Touchpad und Trackpoint* (Dissertation, RWTH Aachen University). Zugriff

- unter [http://publications.rwth-aachen.de/record/61477/files/Sutter%7B%5C\\_%7DChristine.pdf](http://publications.rwth-aachen.de/record/61477/files/Sutter%7B%5C_%7DChristine.pdf)
- Sutter, C. (2007). Sensumotor transformation of input devices and the impact on practice and task difficulty. *Ergonomics*, *50*(12), 1999–2016.  
doi:10.1080/00140130701510147
- Van Beers, R. J., Wolpert, D. M. & Haggard, P. (2002). When feeling is more important than seeing in sensorimotor adaptation. *Current Biology*, *12*, 834–837.  
doi:10.1016/S0960-9822(02)00836-9
- Vindras, P. & Viviani, P. (2002). Altering the visuomotor gain: Evidence that motor plans deal with vector quantities. *Experimental Brain Research*, *147*(3), 280–295.  
doi:10.1007/s00221-002-1211-9
- Walsh, C. M., Ling, S. C., Wang, C. S. & Carnahan, H. (2009). Concurrent Versus Terminal Feedback: It May Be Better to Wait. *Academic medicine*, *84*(10), 54–57.  
doi:10.1097/ACM.0b013e3181b38daf
- Wang, F. & Ren, X. (2009). Empirical Evaluation for Finger Input Properties In Multi-touch Interaction. In *CHI '09: Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (S. 1063–1072).  
doi:10.1145/1518701.1518864
- Wickelgren, W. A. (1977). Speed-accuracy tradeoff and information processing dynamics. *Acta psychologica*, *41*(1), 67–85.  
doi:[https://doi.org/10.1016/0001-6918\(77\)90012-9](https://doi.org/10.1016/0001-6918(77)90012-9)
- Wolf, K., Müller-Tomfelde, C., Cheng, K. & Wechsung, I. (2012). Does Proprioception Guide Back-of- Device Pointing as Well as Vision? In *CHI '12: Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems* (S. 1739–1744).  
doi:10.1145/2212776.2223702
- Wolf, K., Schleicher, R. & Rohs, M. (2014). Ergonomic Characteristics of Gestures for Front- and Back-of-Tablets Interaction with Grasping Hands. In *MobileHCI '14: Proceedings of the 16th international conference on Human-computer interaction with mobile devices & services* (S. 453–458). doi:10.1145/2628363.2634214

## Anhang A

## Einverständniserklärung



Institut für Psychologie, Postfach, 52056 Aachen

Arbeits- und Kognitionspsychologie

Jägerstraße 17/19  
52066 Aachen  
GERMANY

Gebäudenummer 6010, 3. OG

**Einverständniserklärung zur Teilnahme am Experiment**

- Ich habe die Information über das Experiment zur Kenntnis genommen und erkläre, dass mir keine Gründe bekannt sind, die meiner Teilnahme am Experiment entgegenstehen.
- Meine Teilnahme am Experiment geschieht freiwillig und ich weiß, dass ich das Experiment jederzeit auf eigenen Wunsch abbrechen kann.
- Ich bin damit einverstanden, dass die im Laufe des Experiments gewonnenen Daten in anonymisierter Form für wissenschaftliche Auswertungen und Veröffentlichungen gespeichert und verwendet werden.
- Ich erkläre mich einverstanden, dass erhobene personenbezogene Daten getrennt und vertraulich gespeichert werden. Ich bin auch darüber informiert, dass ich diese Einwilligung zur Datenspeicherung jederzeit schriftlich widerrufen kann.
- Ich stimme hiermit zu, gegenüber anderen Stillschweigen über die Absichten und Inhalte des Experiments zu bewahren.
- Ich erkläre mich bereit, die mir gestellten Aufgaben gewissenhaft zu bearbeiten.

Aachen, den .....

\_\_\_\_\_  
Unterschrift Versuchsperson

\_\_\_\_\_  
Unterschrift VersuchsleiterIn

\_\_\_\_\_  
Name Versuchsperson in Druckbuchstaben

\_\_\_\_\_  
Name VersuchsleiterIn in Druckbuchstaben

## Anhang B

## Instruktion Experiment 1

**Ohne Feedback**

Vielen Dank für die Versuchsteilnahme!

Im Folgenden werden Ihnen schwarze Kreuze auf dem Fernsehgerät gezeigt. Zeitgleich werden Sie ein Handheld in der Hand halten. Halten Sie das Handheld stets im Querformat lediglich mit der linken Hand fest, sodass die Glasscheibe nach unten zeigt. Die Aufgabe besteht nun darin, das schwarze Kreuz mit dem Finger anzutippen bzw. die entsprechende Stelle auf dem Handheld. Wird ein Kreuz bspw. oben links auf dem Fernsehgerät präsentiert, so ist es Ihre Aufgabe, oben links mit dem Finger auf das Handheld zu tippen.

Der Ablauf ist wie folgt: Legen Sie zunächst den rechten Zeigefinger auf den Schalter vor Ihnen und betätigen Sie diesen. Das Experiment startet nun. Ihnen wird dann ein Kreuz auf dem Fernsehgerät gezeigt. Tippen Sie nun mit ihrem rechten Zeigefinger auf die entsprechende Stelle auf dem Handheld und belassen Sie den Finger so lange an dieser Stelle, bis das schwarze Kreuz verschwindet. Betätigen Sie nun wieder mit dem rechten Zeigefinger den Schalter vor Ihnen. Die Prozedur beginnt von vorn.

Schauen Sie während des gesamten Versuchs bitte nicht auf Ihre Hände, sondern stets auf das Fernsehgerät.

Es folgt ein kurzer Übungsblock.

## Mit Feedback

Vielen Dank für die Versuchsteilnahme!

Im Folgenden werden Ihnen schwarze Kreuze auf dem Fernsehgerät gezeigt. Zeitgleich werden Sie ein Handheld in der Hand halten. Halten Sie das Handheld stets im Querformat lediglich mit der linken Hand fest, sodass die Glasscheibe nach unten zeigt. Die Aufgabe besteht nun darin, das schwarze Kreuz mit dem Finger anzutippen bzw. die entsprechende Stelle auf dem Handheld. Wird ein Kreuz bspw. oben links auf dem Fernsehgerät präsentiert, so ist es Ihre Aufgabe, oben links mit dem Finger auf das Handheld zu tippen.

Der Ablauf ist wie folgt: Legen Sie zunächst den rechten Zeigefinger auf den Schalter vor Ihnen und betätigen Sie diesen. Das Experiment startet nun. Ihnen wird dann ein Kreuz auf dem Fernsehgerät gezeigt. Tippen Sie nun mit ihrem rechten Zeigefinger auf die entsprechende Stelle auf dem Handheld und belassen Sie den Finger so lange an dieser Stelle, bis das schwarze Kreuz verschwindet. Wenn das Gerät Ihre Eingabe erkannt hat, wird Ihnen außerdem kurz durch ein rotes Kreuz ein Feedback darüber gegeben, welche Stelle Sie tatsächlich angetippt haben. Betätigen Sie hiernach wieder mit dem rechten Zeigefinger den Schalter vor Ihnen. Die Prozedur beginnt von vorn.

Schauen Sie während des gesamten Versuchs bitte nicht auf Ihre Hände, sondern stets auf das Fernsehgerät.

Es folgt ein kurzer Übungsblock.



## Anhang C

## Nachbefragung Experiment 1

Vp-Nr.: \_\_\_\_\_

Ist Ihnen irgendetwas besonders leicht oder besonders schwer gefallen?

---

---

---

Haben Sie eine besondere Strategie genutzt?

---

---

---

Wie haben Sie das Feedback empfunden? (Nicht) Hilfreich?

---

---

---

Wie haben Sie die Aufgabe empfunden?

---

---

---

Könnten Sie sich diese Form der Bedienung im Alltag vorstellen?

---

---

---

Sonstige Anmerkungen?

---

---

---

## Anhang D

## Instruktion Experiment 2

Vielen Danke für die Versuchsteilnahme!

Im Folgenden werden Ihnen schwarze Kreuze auf dem Fernsehgerät gezeigt. Zeitgleich werden Sie ein Handheld in der Hand halten. Halten Sie das Handheld stets im Querformat lediglich mit der linken Hand fest. Die Aufgabe besteht nun darin, das schwarze Kreuz mit dem Finger anzutippen bzw. die entsprechende Stelle auf dem Tablet. Wird ein Kreuz bspw. oben links auf dem Fernsehgerät präsentiert, so ist es Ihre Aufgabe oben links mit dem Finger auf das Tablet zu tippen.

Der Ablauf ist wie folgt: Legen Sie zunächst Ihren rechten Zeigefinger auf den Schalter vor Ihnen und betätigen Sie diesen. Das Experiment startet nun. Nach Betätigen des Schalters erscheint ein Kreuz auf dem Fernsehgerät. Tippen Sie nun mit Ihrem rechten Zeigefinger auf die entsprechende Stelle auf dem Handheld und belassen Sie den Finger so lange an dieser Stelle, bis das schwarze Kreuz verschwindet. Unmittelbar danach wird Ihnen ein weiteres schwarzes angezeigt. Auch hier Tippen Sie bitte wieder auf die entsprechende Stelle auf dem Handheld und belassen den Finger so lange dort, bis das schwarze Kreuz verschwindet. Betätigen Sie nun wieder mit dem rechten Zeigefinger den Schalter vor Ihnen. Die Prozedur beginnt von vorn.

Schauen Sie während des gesamten Versuchs bitte nicht auf Ihre Hände, sondern stets auf das Fernsehgerät.

Es folgt ein kurzer Übungsblock.

## Anhang E

## Nachbefragung Experiment 2

Vp-Nr.: \_\_\_\_\_

Ist Ihnen irgendetwas besonders leicht oder besonders schwer gefallen?

---

---

---

Haben Sie eine besondere Strategie genutzt?

---

---

---

Wie haben Sie die Aufgabe empfunden?

---

---

---

Könnten Sie sich diese Form der Bedienung im Alltag vorstellen?

---

---

---

Sonstige Anmerkungen?

---

---

---

## Anhang F

## Eidesstattliche Versicherung

---

Name, Vorname

---

Matrikelnummer (freiwillige Angabe)

Ich versichere hiermit an Eides Statt, dass ich die vorliegende Arbeit/Bachelorarbeit/  
Masterarbeit\* mit dem Titel

---

---

---

selbständig und ohne unzulässige fremde Hilfe erbracht habe. Ich habe keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt. Für den Fall, dass die Arbeit zusätzlich auf einem Datenträger eingereicht wird, erkläre ich, dass die schriftliche und die elektronische Form vollständig übereinstimmen. Die Arbeit hat in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner Prüfungsbehörde vorgelegen.

---

Ort, Datum

---

Unterschrift

\*Nichtzutreffendes bitte streichen

**Belehrung:****§ 156 StGB: Falsche Versicherung an Eides Statt**

Wer vor einer zur Abnahme einer Versicherung an Eides Statt zuständigen Behörde eine solche Versicherung falsch abgibt oder unter Berufung auf eine solche Versicherung falsch aussagt, wird mit Freiheitsstrafe bis zu drei Jahren oder mit Geldstrafe bestraft.

**§ 161 StGB: Fahrlässiger Falscheid; fahrlässige falsche Versicherung an Eides Statt**

(1) Wenn eine der in den §§ 154 bis 156 bezeichneten Handlungen aus Fahrlässigkeit begangen worden ist, so tritt Freiheitsstrafe bis zu einem Jahr oder Geldstrafe ein.

(2) Strafflosigkeit tritt ein, wenn der Täter die falsche Angabe rechtzeitig berichtigt. Die Vorschriften des § 158 Abs. 2 und 3 gelten entsprechend.

Die vorstehende Belehrung habe ich zur Kenntnis genommen:

---

Ort, Datum

---

Unterschrift

Anhang G

CD-Rom mit den Rohdaten