

Lift-and-Drop: Lückenlose Interaktion über Displaygrenzen hinweg

Thomas Bader, Astrid Heck

Karlsruher Institut für Technologie, Fraunhofer IOSB

Zusammenfassung

Heute bestehen viele Arbeitsplätze aus mehreren mobilen und/oder fest installierten Displays. Die Interaktion in solchen Multidisplay-Umgebungen ist häufig geprägt vom PC-Paradigma - ein Benutzer arbeitet an einem Display. In diesem Artikel wird ein videobasiertes Eingabegerät namens *Airlift* vorgestellt, welches Hände und Fingerspitzen unabhängig von den eingesetzten Displays erfasst. Dies ermöglicht die Umsetzung „interaktiver Luftbrücken“ durch lückenlose Interaktion über Displaygrenzen hinweg. Zusätzlich wird eine darauf basierende neue Interaktionstechnik *Lift-and-Drop* vorgestellt und evaluiert, welche es erlaubt, Objekte zwischen unterschiedlichen Displays mit kontinuierlichem Feedback zu verschieben. Die Ergebnisse der Studie zeigen, dass die neue Technik zum displayübergreifenden Verschieben von Objekten Vorteile gegenüber Techniken bietet, welche auch durch herkömmliche, auf eine Displayoberfläche begrenzte Eingabegeräte realisiert werden können.

1 Einleitung

In den letzten Jahrzehnten wurde die Mensch-Maschine-Interaktion maßgeblich durch das Paradigma des *personal computings* geprägt, welches hauptsächlich die Interaktion mit einem einzigen Display über eine Maus und eine Tastatur als Eingabegeräte vorsieht. Die Variantenvielfalt kommerziell erhältlicher Displays hat sich zwischenzeitlich ständig erhöht, was den Aufbau komplett neuer Interaktionsumgebungen ermöglicht. Diese können sich beispielsweise aus großflächigen vertikalen Anzeigen, horizontalen Tischdisplays, mobilen Tablett-PCs, Smartphones oder PDAs zusammen setzen. Die Entwicklung neuer Interaktionstechniken für solche Multi-Display Umgebungen steckt noch in den Kinderschuhen und die verwendeten Eingabegeräte und -techniken sind oft noch sehr stark durch den klassischen Aufbau eines PCs geprägt.

Für Arbeitsplätze mit nur einem Display wurden in den vergangenen Jahrzehnten viele neue Eingabegeräte und Interaktionstechniken vorgestellt. Vor allem der Entwicklung von Touch- und Multitouch-Technologien wurde in den letzten Jahren große Aufmerksamkeit gewidmet. Inzwischen werden diese Displays im alltäglichen Gebrauch sowohl als sehr kleine (z.B.

Apple iPhone) als auch als große Tisch- und Wanddisplays (z.B. Microsoft Surface, DiamondTouch, Perceptive Pixels) eingesetzt. Allerdings ist die Erfassung von Eingaben bei diesen Technologien nur bei Berührung oder geringfügig oberhalb der Displayoberfläche möglich. Eine kontinuierliche Erfassung über Displaygrenzen hinweg ist hingegen nicht möglich.

Einige aktuelle Ansätze, z.B. (Hilliges et al. 2009) und (Hirsch et al. 2009) beschäftigen sich mit der Erfassung von Eingaben auch in größerer Entfernung zur Anzeige über Sensorik, die in oder hinter der entsprechenden Anzeige angebracht ist. Auf der Anzeige liegende Objekte, wie insbesondere bei horizontalen Anzeigen häufig der Fall, führen allerdings zu Verdeckung, wodurch z.B. eine displayübergreifende Erfassung von Eingaben bei übereinander angeordneten Anzeigen (z.B. Tablett-PC auf Tisch) nicht möglich ist.

Die Interaktion mit klassischen Doppelmonitorsystemen wird häufig mittels Maus realisiert, welche zwischen den beiden Anzeigen verschoben werden kann. (Johanson et al. 2002) haben diese Art der Interaktion auf eine komplexere Multi-Display Umgebung übertragen. Für Umgebungen mit fester Anordnungen von Displays ist dieser Ansatz eine sinnvolle Erweiterung. Variieren jedoch die Anordnungen der Anzeigen und soll die Interaktion mit mobilen Displays unterstützt werden, ist die Realisierung von sinnvollen Übergängen des Cursors von einem Display auf ein anderes schwierig.

Eine weitere Möglichkeit zur displayunabhängigen Erfassung von Benutzereingaben in einer Multi-Display Umgebung ist die Installation von Kameras in der Umgebung. Solche videobasierten Ansätze wurden bereits für die Interaktion mit einzelnen horizontalen und vertikalen Displays realisiert, z.B. in (Agarwal et al. 2007) und (Letessier & Bérard 2004). Meist werden hierbei Fingerspitzen detektiert, deren Position dann als Eingabe für die Interaktion mit dem entsprechenden Display dient. Ein weiteres videobasiertes System für die Interaktion in Multi-Display Umgebungen wurde in (Oblong g-speak 2010) vorgestellt. Hier werden Eingaben über spezielle Marker bzw. Handschuhe erkannt.

Neben den oben beschriebenen Eingabegeräten finden sich in der Literatur zudem zahlreiche Interaktionstechniken für Multi-Display Umgebungen, welche auf displayabhängigen Eingabegeräten (z.B. Touch oder Stift) basieren. Beispiele sind Hyperdragging (Rekimoto & Seitoh 1999), Push-and-Pop oder Drag-and-Pop (Collomb et al. 2005). Weitere Techniken zum Verschieben von Objekten zwischen zwei Displays wurden in (Nacenta et al. 2005) vorgestellt und evaluiert. In der in diesem Paper vorgestellten Benutzerstudie wird die neu vorgeschlagene Interaktionstechnik *Lift-and-Drop* mit zwei Techniken aus (Nacenta et al. 2005) verglichen, nämlich mit *Pick-and-Drop* (Rekimoto 1997) und *Slingshot* (Hascoët 2003).

2 Lückenlose displayübergreifende Interaktion

Um eine lückenlose displayübergreifende Interaktion mit direkten Interaktionstechniken zu unterstützen wurde ein neues videobasiertes Eingabegerät entwickelt, welches einen kontinuierlichen räumlichen Eingabebereich in einer Multi-Display Umgebung aufspannt. Diese wird im nächsten Abschnitt näher vorgestellt. Um mobile Displays in der Umgebung zu lokalisieren wird ein markenbasiertes Trackingsystem verwendet. Für den displayübergrei-

fenden Austausch von Informationen wird eine spezielle Kommunikationsinfrastruktur eingesetzt, welche Eingaben in Abhängigkeit von deren räumlichem Bezug zu Displays umleitet und/oder interpretiert. Details hierzu sind in (Bader et al. 2010) zu finden.

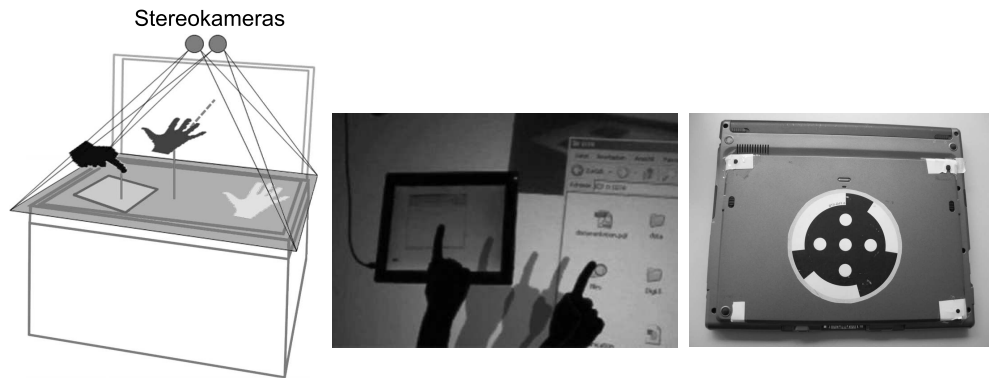


Abbildung 1: Der Versuchsaufbau mit Parametern, die von Airlift erkannt werden können (3D Positionen und Handsymbole) (links), displayübergreifendes Verschieben von Objekt (mitte) und eine Marke auf der Rückseite eines Tablet-PCs, welche dessen Lokalisierung in einer Multi-Display Umgebung verwendet wird (rechts)

2.1 *Airlift*: Ein neues videobasiertes Eingabegerät

Eine Luftbrücke (*engl.: Airlift*) im klassischen Sinn verbindet zwei geographische Gebiete, die durch schwer überwindbare Grenzen getrennt sind und ermöglicht den Transport von Gütern zwischen diesen Gebieten. Mit dem hier vorgestellten videobasierten Eingabegerät namens *Airlift* können neue Interaktionstechniken zum "Transport von virtueller Ladung" über Displaygrenzen hinweg realisiert werden. Die Erfassung von Eingaben erfolgt über ein Stereokamerasystem, durch welches ein pyramidenförmiger interaktiver Bereich aufgespannt wird. Dieser wird im nahen Infrarot ausgeleuchtet. In Abbildung 1, links ist ein entsprechender Aufbau schematisch für ein Multi-Display System dargestellt, welches aus einer horizontalen Anzeige mit darauf liegendem Tablet-PC sowie einer vertikalen Anzeige besteht. Die Sensorik kann prinzipiell auch in beliebigen anderen Umgebung installiert werden, in denen sichergestellt ist, dass die menschliche Haut sich durch ihre Reflektanzeigenschaften im nahen Infrarot vom Hintergrund unterscheiden lässt.

Erfasste Bilder werden auf einem handelsüblichen Rechner in Echtzeit (50 Hz) verarbeitet. Das System kann sowohl 3D-Positionen von Händen und Fingerspitzen erkennen, als auch zwischen verschiedenen Handsymbolen unterscheiden. Die Anzahl der Handsymbole, welche erkannt werden, kann durch trainieren des System an die Bedürfnisse der Anwendung angepasst werden. Standardmäßig werden bis zu 16 verschiedene Handsymbole unterschieden. Die zugrundeliegenden Verfahren zur videobasierten Erkennung der Handgesten wurden bereits in (Bader et al. 2009) ausführlich beschrieben. Der Fokus dieses Artikels liegt auf der Darstellung und Evaluierung neuer Interaktionstechniken, welche dadurch ermöglicht werden.

Ein Vorteil von *Airlift* gegenüber (Multi-)Touchscreens ist, dass die Eingabe ein oder mehrerer Benutzer nicht über die Oberfläche eines bestimmten Displays erfolgt, sondern kontinuierlich im dreidimensionalen Eingaberaum erfasst wird. Dies ermöglicht eine nahtlose Interaktion im Greifraum über Displaygrenzen hinweg und erlaubt zudem die Interaktion mit entfernten Displays oder Displayregionen. Berührungen von einzelnen Displays werden beim Unterschreiten eines bestimmten Abstands zwischen Fingerspitzen und einer Displayoberfläche detektiert.

Durch die Erfassung der gesamten Hand bzw. mehrerer Hände sowie der Unterscheidung verschiedener Handsymbole ohne künstlich angebrachte Marker unterscheidet sich *Airlift* von den oben vorgestellten videobasierten Ansätzen aus der Literatur.

2.2 Interaktionstechniken

Ein wichtiger Anwendungsfall in Multi-Display Umgebungen ist das Verschieben von Icons, welche Daten auf einem bestimmten Gerät repräsentieren, von einem Gerät auf ein anderes. Ein Beispiel, welches hier näher betrachtet werden soll, ist das Verschieben von Daten von einem „privaten“ mobilen Gerät (z.B. Tablett-PC) auf ein „öffentliches“ Display (z.B. Tisch-Display). Hierzu werden im Folgenden drei verschiedene Interaktionstechniken zum Verschieben von Objekten über Displaygrenzen hinweg vorgestellt. Während zwei der Techniken auch mit herkömmlichen Eingabegeräten (z.B. Stift oder Touchscreen) implementiert werden können, kann die in diesem Artikel erstmals beschriebene Technik *Lift-and-Drop* nur mit einem Eingabegerät wie *Airlift*, welches die Eingabe unabhängig von einem Display im 3-dimensionalen Raum erfasst, umgesetzt werden.

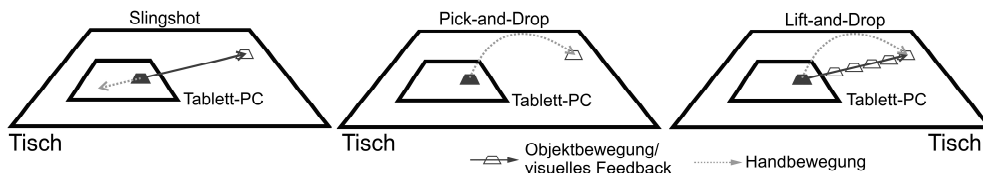


Abbildung 2: Die unterschiedlichen Interaktionstechniken für das Verschieben eines Objekts von einem Tablett-PC auf ein darunter liegendes Tisch-Display

- *Slingshot* ist eine indirekte Technik, welche von (Nacenta et al. 2005) vorgestellt und evaluiert wurde (Abbildung 2, links). Ähnlich der von (Hascoët 2003) vorgestellten Drag-and-Throw-Technik basiert sie auf der Metapher eines Katapults. Das zu manipulierende Objekt wird mit dem Finger berührt und ohne Kontaktverlust zur Displayoberfläche vom Zielpunkt weg bewegt. Das Objekt wird proportional zur Rückwärtsbewegung in die entgegengesetzte Richtung bewegt. Dem Benutzer wird kontinuierlich Feedback (Richtung und Länge der Objektbewegung) angezeigt.
- *Pick-and-Drop* wurde von (Rekimoto 1997; Rekimoto 1998) vorgestellt und ebenfalls von (Nacenta et al. 2005) evaluiert. Im Original können Objekte mit Hilfe eines Stiftes von einem Display aufgenommen und durch Berühren eines anderen Display mit demselben Stift dort abgelegt werden. Unter Verwendung von *Airlift*

können die Objekte durch Berührung mit dem Finger aufgenommen und abgelegt werden. Wie im Original wird nur dann visuelles Feedback angezeigt, wenn der Finger sich nahe genug an einem der beiden Displays befindet (Abbildung 2, mitte).

- *Lift-and-Drop* ist eine direkte Technik ähnlich zu *Pick-and-Drop*. Allerdings wird dem Benutzer während der gesamten Bewegung dauerhaft ein Feedback angezeigt (Abbildung 2, rechts). Diese Technik kann nur mit einem Eingabegerät wie *Airlift* umgesetzt werden, da andere direkte Eingabegeräte wie Stift oder Touchscreen Eingaben nur in unmittelbarer Nähe zur Displayoberfläche erfassen können.

Beim Vergleich der drei oben beschriebenen Techniken in einer Benutzerstudie sollen die Ergebnisse von (Nacenta et al. 2005) für *Slingshot* und *Pick-and-Drop* auch unter Verwendung von *Airlift* anstatt von Stiften reproduziert werden. Außerdem sollte der Einfluss von kontinuierlichem (*Lift-and-Drop*) und nicht-kontinuierlichem Feedback (*Pick-and-Drop*) auf die Leistung des Benutzers analysiert werden.

3 Evaluierung

3.1 Aufgaben, Versuchsumgebung und Durchführung

In der im Folgenden vorgestellten Benutzerstudie mussten die Teilnehmer quadratische Objekte von einem Tablett-PC (Größe: 24,5 x 18,5 cm, Auflösung: 1024 x 768 Pixel) in einen rechteckigen Zielbereich auf einem Tisch-Display (Größe: 120 x 90 cm, Auflösung: 1400 x 1050 Pixel) verschieben. Die Position des Tablett-PCs auf dem Tisch war für alle Versuchspersonen durchgehend gleich. Jeder Teilnehmer musste mit jeder der drei oben eingeführten Interaktionstechniken 40 Aufgaben durchführen. Die Aufgaben sollten von den Teilnehmern möglichst schnell und präzise (Positionierung innerhalb des Zielfelds) durchgeführt werden. Sowohl die Anfangslage des Objekts auf dem Tablett-PC, als auch die Position des Zielbereichs war bei jeder Aufgabe unterschiedlich. Zusätzlich variierten die Größen der Zielbereiche (100 x 100, 125 x 125 und 175 x 175 Pixel). Damit sollte sowohl der Einfluss der Größe des Zielbereiches als auch dessen Abstand von der initialen Objektposition auf die Leistung untersucht werden.

Die Aufgaben waren in zwei Versuchsphasen mit je 20 Aufgaben gegliedert. In der ersten Phase waren die Objekte grau und mussten in genau einen Zielbereich verschoben werden. In der zweiten Phase waren die zu verschiebenden Quadrate bunt (rot, blau und grün). Auf dem Tisch wurden drei Zielfelder in den entsprechenden Farben angezeigt. Die Objekte mussten in das Zielfeld mit korrespondierender Farbe verschoben werden. Im Gegensatz zur ersten Phase blieben dabei Lage und Größe (100 x 100 Pixel) der drei Zielfelder während der kompletten Phase gleich. Damit sollte untersucht werden, ob die kontinuierliche Darstellung der farbigen Objekte bei *Lift-and-Drop* und die damit verbundene Entlastung des Arbeitsgedächtnisses zu besseren Ergebnissen führt.

Um sich mit dem System vertraut zu machen konnten die Teilnehmer zunächst üben. Dies geschah in einer separaten Anwendung, sodass keinerlei Vorwissen über die Aufgaben und

Interaktionstechniken gebildet werden konnte. Anschließend wurden die Aufgaben von den Teilnehmern ausgeführt. Nach jeder Interaktionstechnik wurde von jedem Teilnehmer ein NASA-Task Load Index (TLX)-Bogen (Hart & Stavenland 1988) ausgefüllt, um seine subjektive Beanspruchung zu erfassen. Am Ende des Versuches wurden die Teilnehmer nach ihrer bevorzugten Interaktionstechnik und nach sonstigen Bemerkungen zu den Techniken gefragt.

3.2 Versuchsteilnehmer

Der Versuch wurde mit 24 Teilnehmern (5 weiblich, 19 männlich) im Alter zwischen 20 und 63 durchgeführt. Die Teilnehmer wurden in sechs Gruppen eingeteilt, welche jeweils aus vier Personen bestanden. Jede Gruppe führte 40 Aufgaben mit jeder der drei Interaktionstechniken durch. Jede Gruppe verwendete die Techniken in einer anderen Reihenfolge, um später unerwünschte Trainingseffekte zu eliminieren. Keiner der Teilnehmer hatte zuvor mit *Airlift* gearbeitet und wusste, welche der Interaktionstechniken vom Autor entwickelt und welche aus der Literatur entnommen wurden.

4 Ergebnisse

4.1 Objektive Messungen

Um die drei Techniken zu vergleichen, wurden die Bearbeitungsdauer T und die Genauigkeit G für jede Aufgabe gemessen. G beschreibt, ob ein Objekt komplett innerhalb, teilweise innerhalb oder komplett außerhalb des korrekten Zielfelds abgelegt wurde. Eine Aufgabe gilt im Folgenden nur dann als erfolgreich ausgeführt, wenn das Objekt komplett innerhalb des korrekten Zielfelds abgelegt wurde.

Für eine Menge von Aufgaben definiert sich das Leistungsmaß P wie folgt:

$$P = A_{pos} / T_{kum} ,$$

wobei A_{pos} die Anzahl erfolgreich ausgeführter Aufgaben und T_{kum} die Summe der Bearbeitungsdauer aller durchgeführten Aufgaben beschreibt. Zur Untersuchung statistischer Signifikanz der Ergebnisse wurden ANOVAs mit einem Signifikanzniveau von 5% durchgeführt.

Abbildung 3 (links) stellt die mittlere Leistung und die Standardabweichung über alle Versuchsteilnehmer für alle drei Interaktionstechniken dar. Bei *Lift-and-Drop* und *Pick-and-Drop* war die Leistung signifikant besser als bei *Slingshot* ($F(1,46)=94.223$, $p<.001$ bzw. $F(1,46)=119.738$, $p<.001$), was sich mit den Ergebnissen von (Nacenta et al. 2005) deckt. Die mittlere Leistung bei *Pick-and-Drop* ist zwar geringfügig besser als die bei *Lift-and-Drop*, unterscheidet sich jedoch nicht signifikant ($F(1,46)=2.897$, $p=.095$).

Abbildung 3 (rechts) zeigt die Genauigkeit G . Es ist zu erkennen, dass unter Verwendung von *Lift-and-Drop* und *Pick-and-Drop* nur wenige Objekte nicht exakt im Zielfeld abgelegt

wurden, wohingegen bei *Slingshot* nur 55% der Objekte komplett innerhalb des Zielfelds lagen. Die Genauigkeit bei *Slingshot* hängt sehr stark von der Größe des

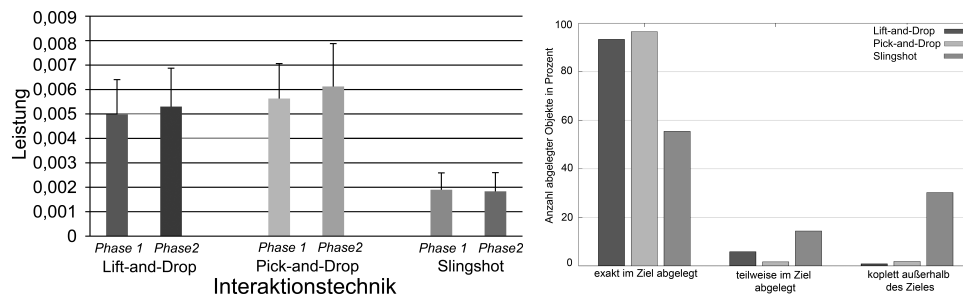


Abbildung 3: Mittlere Leistung aller Aufgaben (links) und Genauigkeit bei den verschiedenen Techniken (rechts)

Zielfelds ab. Während bei Zielen von 175 x 175 Pixel 70% der Objekte komplett innerhalb des Zielfelds platziert wurden, wurden bei Zielen von 100 x 100 Pixel lediglich 41% der Aufgaben erfolgreich abgeschlossen. Bei den anderen beiden Techniken hatte die Größe des Zielbereichs keinen signifikanten Einfluss.

Die mittlere Bearbeitungsdauer für eine Aufgabe bei *Pick-and-Drop* ist mit 1.7 Sekunden etwas besser als bei *Lift-and-Drop* (2.0 Sekunden). *Slingshot* schneidet mit 2.9 Sekunden am schlechtesten ab.

Ergänzend wurden zur Bewertung der einzelnen Techniken Faktoren herangezogen, welche indirekten Einfluss auf die Leistung haben. Dies sind Lerneffekte und die räumliche Distanz zwischen Startpunkt und Zielbereich. Abbildung 4 zeigt die Entwicklung der Leistung jener Teilnehmer, welche die entsprechende Technik als erste verwendeten. Zu beachten ist, dass die Anzahl korrekter Aufgaben A_{pos} und die Bearbeitungsdauer T_{kum} hier für jede Technik und Aufgabe über die 8 Teilnehmer der jeweiligen Gruppen berechnet werden und nicht für einen Versuchsteilnehmer über die Zeit.

Die Leistung bei der Verwendung von *Lift-and-Drop* verbesserte sich in der ersten Versuchsphase kontinuierlich bis zu einem gewissen Leistungsniveau, welches im Verlauf der zweiten Versuchsphase gehalten wurde. Bei *Pick-and-Drop* und *Slingshot* zeigt die Leistung hingegen keinen Lerneffekt.

Während sich die leichten Schwankungen der Leistung bei *Lift-and-Drop* während der zweiten Phase überwiegend durch eine starke lineare Korrelation ($r_L = -0.73$) mit den variierenden Abständen zwischen Startposition und Zielbereich erklärt lassen, ist dies für die Schwankungen bei *Pick-and-Drop* nur in geringerem Maße der Fall ($r_P = -0.48$). Berechnet man die mittlere absolute Abweichung der Daten von den jeweiligen Regressionsgeraden so erhält man für *Lift-and-Drop* 0.0036 und für *Pick-and-Drop* 0.00071. Wobei hierbei nur die Aufgaben 23-40 berücksichtigt wurden, um den Einfluss möglicher Anpassungseffekte beim Übergang von Phase 1 in Phase 2 zu minimieren. Der Unterschied zwischen den beiden Werten ist statistisch signifikant ($F(1,34)=5.251, p=.028$).

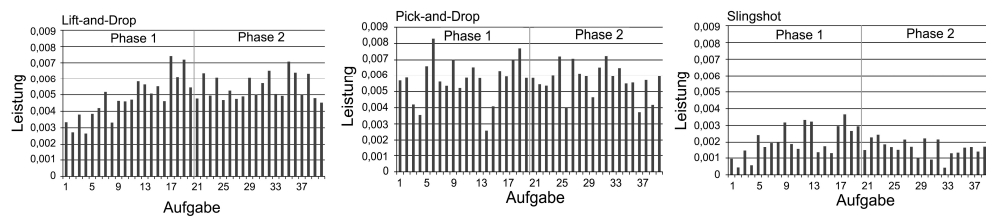


Abbildung 4: Verlauf der Leistung jener Gruppen, welche die entsprechende Technik als erste verwendeten

4.2 Subjektive Bewertungen

Die subjektive Beanspruchung wurde mittels NASA-TLX Bogen erfasst. Jeder Teilnehmer sollte die geistige, körperliche und zeitliche Anforderung, sowie seine Leistung, Anstrengung und sein Frustrationsniveau bewerten. Die Ergebnisse sind in Abbildung 5 (links) dargestellt.

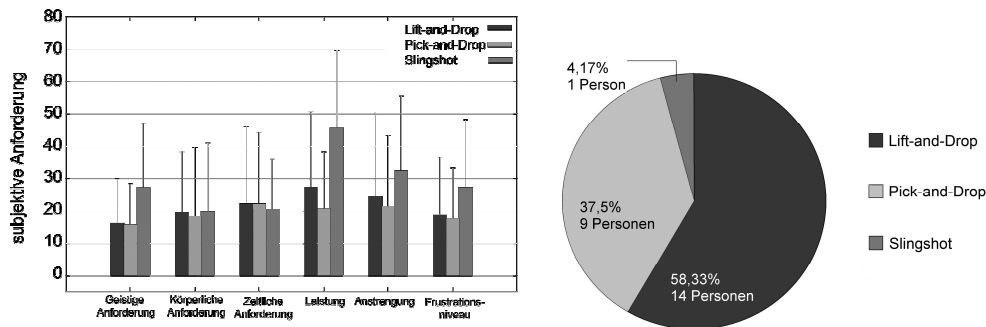


Abbildung 5: Ergebnis des NASA-TLX Tests (links) und bevorzugte Interaktionstechnik in Prozent (rechts)

Die subjektiven Ergebnisse stimmen größtenteils mit den objektiven Messungen überein. *Lift-and-Drop* und *Pick-and-Drop* wurden, vor allem bei der Leistung, der Anstrengung und dem Frustrationsniveau besser als *Slingshot* bewertet. Obwohl *Pick-and-Drop* etwas besser als *Lift-and-Drop* bewertet wurde kann kein signifikanter Unterschied festgestellt werden.

Am Ende des Versuchs bevorzugten 14 Teilnehmer *Lift-and-Drop*, 9 *Pick-and-Drop* und nur einer entschied sich für *Slingshot* als die beste Technik. Dieses relativ eindeutige Urteil zu Gunsten von *Lift-and-Drop* überrascht zunächst, da diese Bewertung weder mit den objektiv gemessenen Werten, noch mit den subjektiven Bewertungen einher geht. Dieser Sachverhalt wird im nächsten Abschnitt noch genauer diskutiert.

Die am Ende des Versuchs gemachten Bemerkungen der Teilnehmer waren teilweise sehr widersprüchlich. Einige fanden *Lift-and-Drop* wegen des direkten und kontinuierlichen Feedbacks besser, andere kritisierten genau diesen Sachverhalt, weil sie empfanden, dass durch dieses Feedback die Interaktion „ausgebremst“ wurde. Die meisten der Teilnehmer kritisierten an *Slingshot* die geringe Genauigkeit.

5 Diskussion

Bei der Arbeit mit den direkten Interaktionstechniken *Lift-and-Drop* und *Pick-and-Drop* konnten signifikant bessere Ergebnisse erzielt werden als bei der Verwendung der indirekten Technik *Slingshot*. Zwischen *Lift-and-Drop* und *Pick-and-Drop* konnte weder bei der objektiven Messung der mittleren Leistung pro Person noch bei der subjektiven Bewertung ein signifikanter Unterschied festgestellt werden. Lediglich bei der Benennung der favorisierten Interaktionstechnik war zu erkennen, dass die Versuchsteilnehmer *Lift-and-Drop* *Pick-and-Drop* vorziehen. Dies widerspricht auf den ersten Blick den gemessenen Werten und den Ergebnissen aus den NASA-TLX Bögen. Die Oszillation der Leistung ist vor allem in der zweiten Versuchsphase bei *Pick-and-Drop* signifikant höher als bei *Lift-and-Drop* und kann nicht primär durch einen Zusammenhang zwischen der Leistung und dem Abstand von der Objektposition und dem Zielfeld erklärt werden. Sie ist viel mehr auf lange Bearbeitungszeiten und variierende Fehlerraten einiger Teilnehmer bei einigen Aufgaben zurückzuführen. Diese zwei Tatsachen könnten eine Erklärung für die Wahl von *Lift-and-Drop* als bevorzugte Interaktionstechnik liefern. Anscheinend bevorzugen die Benutzer bei ihrer endgültigen Auswahl eine stabile und dafür etwas langsamere Technik, welche durch *Lift-and-Drop* gegeben ist. Diese Schlussfolgerung wird auch durch die Kommentare, welche die Teilnehmer am Ende des Experiments abgeben konnten, unterstützt. Einige bevorzugten *Lift-and-Drop* obwohl sie den Eindruck hatten, die Interaktion wäre durch das kontinuierliche Feedback langsamer.

Abschließend lässt sich also sagen, dass das kontinuierliche Feedback während displayübergreifender Interaktion insbesondere in der Lernphase zu leicht niedrigerer Leistung führt, insgesamt aber eine stabilere und störungsresistentere Leistung der Versuchsteilnehmer ermöglicht. Letzterer Aspekt könnte auch zu der subjektiv deutlich besseren Bewertung von *Lift-and-Drop* gegenüber *Pick-and-Drop* beigetragen haben.

Auch wenn die Ausführung in unserem Experiment, ebenso wie bei (Nacenta et al. 2005), bei direkten Techniken wesentlich besser als bei indirekten war, sind *Lift-and-Drop* und *Pick-and-Drop* nur dann zur Manipulation von Objekten geeignet, wenn diese innerhalb des Greifbereichs liegen. Für weiter entfernte Objekte sind entweder indirekte Techniken wie *Slingshot* oder ganz andere Techniken, welche z.B. auf Zeigegesten basieren, nötig.

6 Zusammenfassung

Multi-Display und Multi-User Interaktionsumgebungen finden immer größere Verbreitung. Eine häufige Aufgabe in solchen Umgebungen ist das Bewegen von Objekten von einem Display auf ein anderes. In dem Artikel wurde ein neues Eingabegerät namens *Airlift* für die Interaktion in einer Multi-Display, Multi-User Umgebung vorgestellt. Hauptmerkmale des Systems sind die Erfassung der Position von Hand und Fingerspitzen für mehrere Hände bzw. Benutzer und die Klassifikation von Handsymbolen in Echtzeit. Die Exploration des dadurch aufgespannten Designraums wurde mit einer Benutzerstudie zu der dadurch ermöglichten displayübergreifenden Interaktionstechnik *Lift-and-Drop* begonnen. Die Ergebnisse der Studie zeigen, dass kontinuierliches Feedback beim displayübergreifenden Verschieben

von Objekten die Bearbeitungszeit bei Novizen zunächst leicht erhöht, nach einer kurzen Trainingsphase aber zu einem ähnlichen Leistungsniveau wie ohne kontinuierliches Feedback führt, welches allerdings signifikant geringeren Schwankungen unterliegt. In weiteren Arbeiten soll der durch *Airlift* aufgespannte neue Designraum weiter untersucht werden, insbesondere hinsichtlich der Eignung zur Unterstützung von Multi-User Interaktion.

Kontaktinformationen

Dipl.-Inform. Thomas Bader, Email: thomas.bader@kit.edu, Tel.: 0721-6091314

Literaturverzeichnis

- Agarwal, A., Izadi, S., Chandraker, M. & Blake, A. (2007): *High Precision Multi-touch Sensing on Surfaces using Overhead Cameras*. Tabletop 2007, S. 197-200
- Bader, T., Räßple, R. & Beyerer, J. (2009). *Fast Invariant Contour-based Classification of Hand Symbols for HCI*. CAIP 2009, S. 689-696
- Bader, T., Heck, A. & Beyerer, J. (2010). *Lift-and-Drop: Crossing Boundaries in a Multi-Display Environment by Airlift*. AVI 2010, ACM Press
- Collomb, M., Hascoët, M., Baudisch & P., Lee, B. (2005). *Improving drag-and-drop on wall-size-displays*. Proceedings of Graphics Interface, S. 25 – 32.
- Hart, S. G. & Stavenland L.E. (1988). *Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of empirical and theoretical research*. In Hancock P. A. & Meshkati N., Human Mental Workload, Elsevier. Kapitel 7, Seiten 139 – 183.
- Hascoët, M.(2003). Throwing models for large displays. HCI 2003, Designing for Society, S.73 – 77.
- Hilliges, O., Izadi, S., Wilson, A. D., Hodges, S., Garcia-Mendoza, A. & Butz, A. (2009). *Interactions in the air: adding further depth to interactive tabletops*. UIST 2009, ACM Press, S. 139-148
- Hirsch, M., Lanman, D., Raskar, R. & Holtzman, H. (2009). *BiDi screen: depth and lighting aware interaction and display*. SIGGRAPH 2009: Posters, ACM Press
- Johanson, B., Fox, A. & Winograd, T. (2002). *The interactive workspaces project: Experiences with ubiquitous computing rooms*. IEEE pervasive computing, IEEE Educational Activities Department. S. 67 – 74.
- Letessier, J. & Bérard, F. (2004). *Visual tracking of bare fingers for interactive surfaces*. UIST 2004. ACM Press, S. 119-122.
- Nacenta, M.A., Aliakseyeu, D., Subramanian, S. & Gutwin, C. (2005). *A comparison of techniques for multi-display reaching*. CHI 2005, ACM Press. S. 371 – 380.
- Oblong g-speak. (2010). <http://www.oblong.com>, letzter Zugriff: 2. April 2010.
- Rekimoto, J. (1997). *Pick-and-drop: A direct manipulation technique for multiple computer environments*. UIST 1997, ACM Press. S. 31 – 39.
- Rekimoto, J. (1998). *A Multiple Device Approach for Supporting Whiteboardbased Interactions*.
- Rekimoto, J. & Saitoh, M. (1999). *Augmented Surfaces: A Spatially Continuous Work Space for Hybrid Computer Environments*. CHI 1999, S. 378 – 385.