

**Christina König**

Institut für Arbeitswissenschaft
Technische Universität Darmstadt
Petersenstraße 30, 64287 Darmstadt
koenig@iad.tu-darmstadt.de

Marko Seidel

Fachbereich Maschinenbau
Technische Universität Darmstadt
Petersenstraße 30, 64287 Darmstadt
marko.seidel@gmx.net

Andreas Röbig

Institut für Arbeitswissenschaft
Technische Universität Darmstadt
Petersenstraße 30, 64287 Darmstadt
roebig@iad.tu-darmstadt.de

Ralph Bruder

Institut für Arbeitswissenschaft
Technische Universität Darmstadt
Petersenstraße 30, 64287 Darmstadt
bruder@iad.tu-darmstadt.de

Abstract

Touchscreens werden in immer mehr Anwendungsbereichen eingesetzt. Die Interaktion scheint einfach und intuitiv, mit wenigen Tipps, Wischs und Drehungen ist die Eingabe vollbracht, insbesondere bei Multitouch-Displays. Jedoch birgt gerade die Multitouch-Interaktion einige Fallen für den Nutzer: Schnell passieren Fehler und unerwünschte Eingaben, Funktionen werden aus Versehen ausgelöst. Für sicherheitskritische Anwendungen kann das problematisch sein, Eingabefehler müssen vermieden werden. Eine Analyse möglicher Ursachen von Fehleingaben könnte dabei helfen, Systeme besser zu gestalten und die Eingabesicherheit zu verbessern.

In einer experimentellen Studie wurden daher unterschiedliche Interaktionen auf einem großformatigem Multitouch-Display durchgeführt und die entstehenden Eingabefehler analysiert. Durch Variation der Eingaben, der Nutzereigenschaften sowie der Umgebungsbedingungen konnten unterschiedliche Fehlerkennungen erzeugt werden. Der Beitrag beschreibt Vorgehen und wesentliche Ergebnisse dieser Studie und gibt Gestaltungshinweise für Multitouch-Displays in sicherheitskritischen Nutzungskontexten.

Keywords:

/// Multitouch-Display
/// sichere Interaktion
/// Fehler
/// experimentelle Studie
/// Flugsicherung

1.**Einleitung**

Multitouch-Displays lassen sich einfach und intuitiv bedienen und werden immer häufiger in unterschiedlichen Anwendungsfeldern eingesetzt, z. B. bei Handys, Computern oder auch CNC-Steuerungen (u. a. Bollhoefer, Meyer & Witzsche, 2009). Eingaben erfolgen mit dem Finger, damit scheinen Maus und Tastatur überflüssig, und die Bedienung beansprucht nur minimale kognitive Ressourcen (vgl. Wickens und Hollands, 1999). Während bei Single-Touch-Screens nur jeweils ein Kontaktpunkt erkannt wird und die Interaktion daher häufig aus mehreren Schritten besteht, erkennen Multitouch-Displays nahezu natürliche Bewegungen der Hand: Das virtuelle Blatt Papier wird verschoben und gedreht, eine Liste nach unten oder oben gescrollt, ... (vgl. Buxton & Myers, 1986).

Häufig wird eine höhere Bedienleistung im Vergleich zu herkömmlichen Eingabegeräten angenommen (z. B. Kellerer, Eichinger, Sandl & Klingauf, 2009), vorteilhaft

insbesondere in sicherheits- und zeitkritischen Nutzungskontexten wie der Flugsicherung. Der Weg von einer innovativen Technologie zu einem einsatzfähigen grafischen Interface ist hier jedoch nicht einfach. Bediensicherheit spielt eine wesentliche Rolle, fehlerhafte Eingaben können ein Sicherheitsrisiko darstellen und sind nicht akzeptabel. Es muss sorgfältig untersucht werden, welche Fehleingaben möglich sind, und wie man sie durch eine geeignete Interface-Gestaltung vermeiden kann. Der vorliegende Beitrag stellt eine Studie vor, bei der unterschiedliche Fehleingaben auf einem Multitouch-Display provoziert und ihre Ursachen analysiert wurden.

2.**Fehler bei Multitouch-Displays**

Touchscreens sind berührungsempfindliche Displays. Berührungen können auf unterschiedliche Weise erfasst werden (vgl. Abb. 1). Jede Technologie hat Vor- und Nachteile, wie z. B. die Erfassung nur jeweils eines einzelnen Berührungspunkts. Multitouch-Geräte (meist optische oder

kapazitive Systeme) erkennen dagegen mehr als einen Berührungspunkt gleichzeitig (Schöning et al., 2008), so dass komplexere Gesten oder die Bedienung durch mehrere Personen möglich sind. [Abb. 1]

Für Interface-Designer ist die Auswahl einer geeigneten Technologie abhängig vom Anwendungsfall wesentlich, da neben konstruktionsspezifischen Parametern (z. B. Bauvolumen) auch der Funktionsumfang (z. B. die Anzahl der zu erkennenden Berührungspunkte) und mögliche Fehler variieren. Optische Systeme können beispielsweise die Form des eingebenden Objekts (Finger, Stift o. ä.) erkennen und so theoretisch zwischen einem Tipp mit dem Finger und dem unbeabsichtigten Abstützen des Handballes auf der Scheibe oder einem aus Versehen abgelegten Blatt Papier unterscheiden.

2.1.**Technische Grundlagen**

Das für die Studie verwendete Multitouch-Gerät nutzt optische Verfahren zur

Detektion der Berührungspunkte und kann in zwei Modi betrieben werden: (Rear) Dif-fused Illumination (DI) und Frustrated Total Internal Reflection (FTIR).

Diffused Illumination ist einfach umsetzbares und kostengünstiges Verfahren (Spath et al., 2010). Wesentliche Elemente sind neben einem bildgebenden Element (z. B. Beamer) eine infrarote (IR) Lichtquelle und eine Infrarot-Kamera, welche unter der Berühr- und Projektionsfläche angebracht werden. Die Lichtquellen sind so positioniert, dass sie die Projektionsfläche, welche in der Regel aus einer angerauten oder matten Acrylglasplatte besteht, gleichmäßig ausleuchtet (vgl. Abb. 1, NUI Group, 2009). **[Abb. 2]**

Nähert man sich nun mit einem Finger der Projektionsscheibe, so nimmt die Reflexion der Infrarot-Strahlung an dem Objekt zu. Berührungspunkte erscheinen wesentlich heller als die Umgebung (vgl. Abb. 2, NUI Group, 2011) und können mittels Bilderkennung interpretiert werden. **[Abb. 3]**

In der experimentellen Studie kam ein selbst gebauter 50-Zoll-Multitouch-Tisch im Diffused-Illumination-Modus zum Einsatz (Abb. 3), bestehend aus Beamer (1), Infrarotstrahler (2), Acrylglasplatte (3), Infrarot-Kamera (4), Computer (5) und Umlenkspiegel (6). **[Abb. 4]**

Mithilfe der Software „Community Core Vision 1.4“ (NUI Group, 2011) wurden erkannte IR-Reflexionen in Befehle umgerechnet. Filtereinstellungen in der Software ermöglichten die Anpassung des Aufbaus an die Umgebungsbedingungen, wie beispielsweise Streulicht oder andere Störfaktoren. Reflektierte Infrarotstrahlung wurde im Programm als weißer „Blob“ (erkannter

Technologie	Resistiv	Kapazitiv	Induktiv	Akustisch	Optisch
Multitouch-fähig	(-)	(+)	(-)	(-)	(+)
jedes Objekt erzeugt Eingabe	(o)	(-)	(-)	(o)	(+)
Genauigkeit	(o)	(+)	(+)	(+)	(+)
Robustheit	(-)	(+)	(+)	(+)	(+)
Displayklarheit	(-)	(o)	(-)	(+)	(+)
Umgebungslicht-einfluss (Störung)	(+)	(+)	(+)	(+)	(-)
Größe Display (Hauptmarktanteil)	(S)	(M)	(S)	(M)	(L)

Erklärung: (+) Gut (o) Befriedigend (-) Schlecht/Nicht vorhanden
 (S) Klein, bis 10" (M) Mittel, 12"-30" (L) Groß, >32"

Abb. 1. Eigenschaften von Touchscreen-Technologien

Eingabepunkt) gewertet (Abbildung 4; links oben das ungefilterte IR-Kamerabild, rechts oben das gefilterte IR Kamerabild mit „Blobs“). **[Abb. 5]**

2.2. Interaktionsfehler

Beim Interagieren können dem Nutzer jedoch Fehler unterlaufen. Er zielt beispielsweise auf einem Punkt auf dem Display, trifft aber daneben aufgrund eines Parallaxe- oder Verdeckungsfehlers, rutscht ab oder setzt vor dem eigentlichen Eingabefeld mit einem anderen Finger auf und löst unfreiwillig eine andere Funktion aus. Beim Drag & Drop verliert er möglicherweise den Kontakt zur Displayoberfläche und unterbricht damit den

Eingabevorgang vorzeitig. Auch Interaktionen wie Doppelklick können Nutzern schwerfallen, wenn sie nicht schnell genug tippen oder den Finger beim Aufsetzen leicht verschieben (womit sie dann ein Drag & Drop auslösen). Ein Fehler ist hier eine Abweichung vom gewünschten Handlungsziel (vgl. Badke-Schaub, Hofinger & Lauche, 2008). Er kann schon bei der Wahrnehmung der angezeigten Inhalte, aber vor allem in der Handlungsausführung entstehen.

Typische Fehlerquellen bei Multitouch-Displays sind entweder in der verwendeten Technologie, in den Eigenschaften des Nutzers oder in der Gestaltung der Softwareoberfläche begründet: Hardware kann durch mangelnde Zuverlässigkeit oder nicht-ergonomische Bauweise zur Zielabweichung beitragen. Software kann schlecht programmiert oder nicht auf das Anwendungsszenario zugeschnitten sein. Der Mensch als Anwender kann eine Vielzahl von Fehlern begehen, indem er die Software anders bedient als vom Entwickler gedacht oder mangelnde Aufmerksamkeit oder motorisches Geschick zeigt. Ursachen auf menschlicher Seite können auch in fehlerhaften

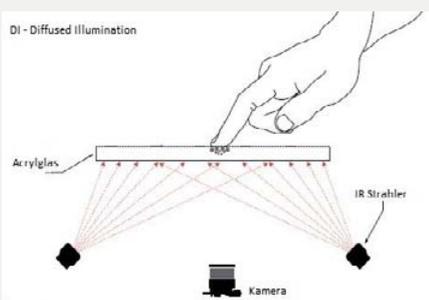


Abb. 2. Rear Diffused Illumination



Abb. 3. Reflexion der IR-Strahlung

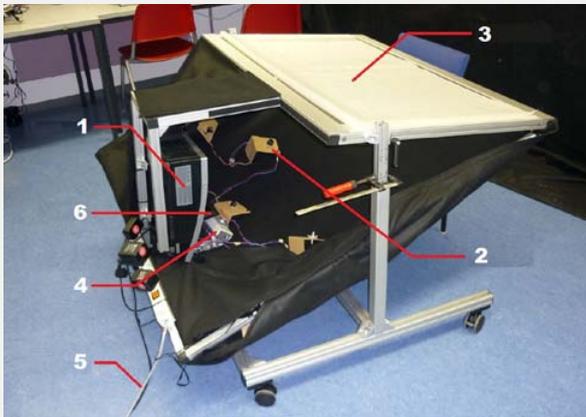


Abb. 4.
Aufbau des Prototyps

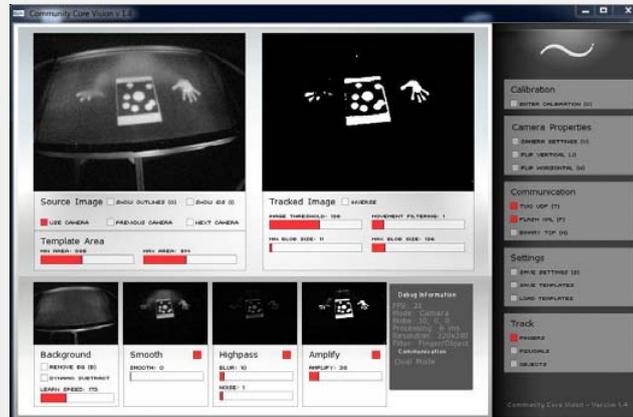


Abb. 5.
Arbeitsfenster der
Software „Community
Core Vision 1.4“.

Informationsverarbeitungsprozessen begründet sein: Entweder weil ein Verarbeitungsschritt wie beispielsweise die Informationserkennung oder Auswahl einer Handlungsalternative fehlerhaft ist (sequentielle Modelle) oder weil mehrere Tätigkeiten die vorhandenen Ressourcen des Menschen übermäßig beanspruchen und ein Ressourcenengpass vorliegt (Ressourcenmodelle) (Schlick, Bruder & Luczak, 2010). Fehlersystematiken werden u. a. bei Badke-Schaub et al. (2008) beschrieben. Dahm (2006) unterscheidet zwischen intellektuellen Fehlern, flexiblen Handlungsmustern und sensumotorischen Fehlern, ähnlich wie die Fehler auf der wissensbasierten, regelbasierten und fertigkeitbasierten Ebene nach Rasmussen (1986).

Im Rahmen dieser Studie wurde vor allem zwischen technologiespezifischen (treten nur bei DI auf) und allgemeinen Fehlern unterschieden. Bei der Verwendung der Diffused Illumination Technologie sowie einem 50-Zoll-Display mit grafischer Oberfläche sind insbesondere Fehler durch fehlerhafte Eingabeerkennung (technisch bedingt) und unbeabsichtigte Eingaben (nutzerbedingt) zu erwarten. Denn auch Objekte oberhalb der Bildschirmfläche können reflektieren und werden als Eingabe interpretiert. Das kann dazu führen, dass Eingaben zu früh angenommen werden oder eigentlich unbeteiligte Objekte (abgestützte Hand, Ärmel, Uhr, abgelegter Stift) Eingaben verursachen,

insbesondere bei sehr großen Displays und Eingaben in größerer Entfernung zum Nutzer bzw. in der Bildschirmmitte (höhere Wahrscheinlichkeit der Handablage). Hier spielt sowohl eine mangelhafte Abstimmung der sensorischen und motorischen Prozesse des Nutzers als auch mangelnde Konzentration eine Rolle. Da man diese Faktoren als Entwickler nur bedingt beeinflussen kann, wäre es sinnvoll, solche Fehleingaben von beabsichtigten Eingaben softwareseitig zu unterscheiden. Hier setzt die experimentelle Studie an, indem sie bewusst Fehleingaben durch Nutzer provoziert und die beeinflussenden Faktoren sowie die Erkennungsleistung der DI-Technologie untersucht.

2.3. Einsatzbereich Flugsicherung

Auch in der Welt der Flugsicherung, in der Sicherheit und Effizienz eine entscheidende Rolle spielen, könnten die Vorteile von Multitouch-Displays für zukünftige Entwicklungen genutzt werden. Aufgrund der hohen Gestenvielfalt wäre es z. B. möglich, Bedieneingaben einfacher und schneller zu gestalten als bei momentan verwendeten Single-Touch-Displays bei gleichzeitiger Verringerung der Menükomplexität. Auch ein Multi-User-Betrieb, bei dem mehrere Lotsen gleichzeitig an einem System kooperativ arbeiten könnten, wäre denkbar.

Allerdings sind die Anforderungen an die Technik hier auch besonders hoch. Ein unbeabsichtigtes Auslösen von Funktionen könnte gefährliche Folgen haben, führt mindestens jedoch zu einem erhöhten kognitiven und ggf. manuellen Aufwand, wenn der Fehler bemerkt und korrigiert werden muss. Der in großen Tower herrschende Zeitdruck verstärkt die Problematik.

3. Experimentelle Studie

3.1. Annahmen

In der Studie sollten Fehler beobachtet, die Ursachen analysiert und Vermeidungsmöglichkeiten abgeleitet werden. Es wurde vermutet, dass Fehleingaben durch frühzeitige Erkennung von Unterarm und Kleidungsstücken oder durch starke Reflexion von metallischem Schmuck verursacht werden. Technologiebedingt kann alles eine Eingabe verursachen, was sich in geringem Abstand zur Eingabefläche befindet und Infrarotstrahlung reflektiert. Fehleingaben wurden vor allem bei einem geringen Winkel zwischen Arm und Displayfläche angenommen.

Variiert wurden daher der Neigungswinkel des Tisches (0°, 10°, 25°), die Position der Eingabefelder und die Größe der Probanden. So wurden sowohl typische als auch extreme Armhaltungen mit voraussichtlich unterschiedlichen Erkennungsmustern

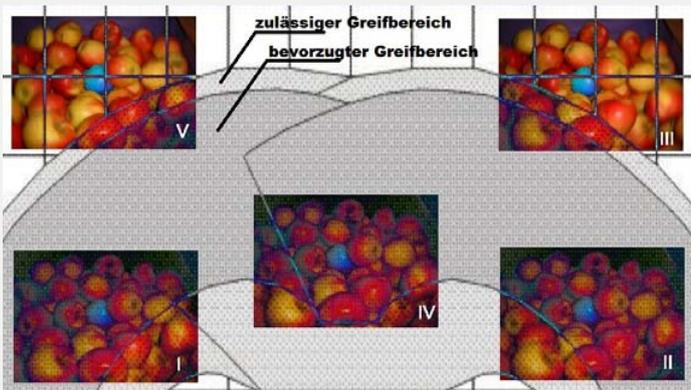


Abb. 6.
Interaktionsfläche mit Eingabefeldern, Bild III und V liegen außerhalb des zulässigen Greifbereichs

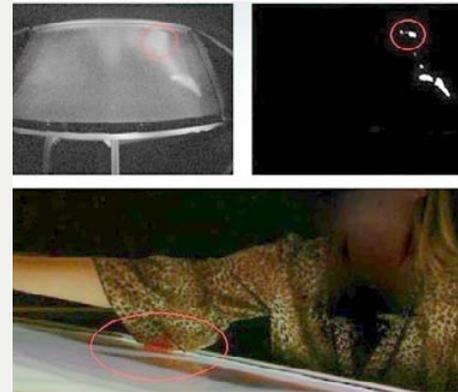


Abb. 7.
Fehlinteraktionen durch aufliegende Kleidungsstücke

provoziert. Besonders in den entfernt liegenden Zonen (außerhalb des Greifbereichs) wurden mehr Fehlerkennungen erwartet.

3.2. Vorgehen

Im Versuch führten 20 Probanden festgelegte Interaktionen auf dem Display aus, u. a. Tippen mit einem Finger auf die einzelnen Eingabefelder, Zoomen durch Auseinanderziehen von zwei Fingern, Drehen des Bilds durch eine Drehbewegung von zwei Fingern und Verschieben durch Drag & Drop. Abbildung 5 zeigt die Interaktionsfläche mit Greifbereich (vgl. Schlick et al., 2010) sowie den fünf Eingabefeldern. Drei Kameras zeichneten die Eingaben auf. Bei der Auswertung wurden die einzelnen Stufen der Bilderkennung Schritt für Schritt nachvollzogen, um ein besseres Verständnis der Fehlerursachen bzw. des Systemverhaltens zu erhalten. [Abb. 6]

3.3. Ergebnisse

3.3.1. Technologiebedingte Fehlinteraktionen

Unter technologiebedingte Fehlinteraktionen fallen alle, die sich aus dem Aufbau ergeben und die der Nutzer somit nur schwer oder überhaupt nicht vermeiden kann. Wie erwartet hatte die Neigung einen

großen Einfluss auf die erhaltenen Ergebnisse: Je flacher der Winkel zwischen Eingabearm und Touchscreen, desto stärker war der Grad der Reflexion und damit der Fehlerkennung. Dieser Zusammenhang konnte bei allen Probanden beobachtet werden, besonders jedoch bei kleinen Personen (ca. 160 cm). Teilweise reichte bereits ein kontaktfreies Schweben von Körper- oder Kleidungsstücken über dem Display aus. [Abb. 7]

Je weiter ein Proband sich aus dem zulässigen Greifbereich entfernte, desto häufiger kam es zu Fehlinteraktionen, bei Rechtshändern also vor allem im oberen linken Bereich. [Abb. 8], [Abb. 9]

Weitere Fehlerquellen waren der Einfluss von Umgebungslicht und reflektierendem Schmuck oder Kleidungsstücken. Dunkle sowie metallische Elemente verursachten hierbei weniger starke Reflexionen als helle.

3.3.2. Allgemeine Fehlinteraktionen

Während sich die bisher genannte Fehler auf die Technologie zurückführen lassen, traten außerdem Fehler auf, die vor allem auf die Versuchspersonen zurückzuführen sind.

So wurden einige Fehler durch eine flache Handhaltung verursacht. Für eine korrekte Erkennung wäre es jedoch besser,

wenn der Nutzer den Finger senkrecht zur Oberfläche aufsetzt, so dass nur die Fingerkuppe reflektiert wird und die restliche Hand und der Arm keine Fehlinteraktionen verursachen, oder wenn die Software diese Art von Fehlinteraktionen berücksichtigen könnte.

Auch neigten 70% der Probanden in Interaktionspausen dazu, ihre Hände auf dem Rahmen des Multitouch-Tisches abzulegen. Dies führte in Einzelfällen zu ungewollten Eingaben am unteren Bildschirmrand.

Weitere Fehler wurden durch unsaubere Gestenausführung, das Verfehlen von Objekten aufgrund von Parallaxe- oder Verdeckungsfehlern oder die Verwechslung von Eingabegesten verursacht (für eine ausführlichere Darstellung der Ergebnisse siehe Seidel, 2011).

4. Diskussion der Ergebnisse

In der experimentellen Studie wurden unterschiedliche Fehlinteraktionen beobachtet, erfasst und analysiert. Insgesamt dominierten technologiespezifische Fehler, hauptsächlich durch unerwünschte Reflexionen der IR-Strahlung. Die Fehlerhäufigkeit nimmt mit zunehmendem Winkel zwischen Arm und Display stark ab. Auch die Position, an der die Interaktion ausgeführt werden sollte, hat einen wesentlichen Einfluss.



Hier könnte eine bessere Bilderkennung sowie eine Anpassung der Multitouch-Anzeige und -Neigung an den jeweiligen Nutzer, evtl. auch die Wahl einer anderen Technologie zur Fehlervermeidung beitragen.

Trotzdem wurden auch Fehler beobachtet, die unabhängig von der gewählten Technologie bei allen Multitouch-Geräten zu erwarten sind, wie z. B. Parallaxefehler oder das Abstützen auf dem Display. Auch spielt die Gestaltung der grafischen Oberfläche, insbesondere die Position der Bedienfelder, eine wichtige Rolle.

Es reicht jedoch nicht aus, Fehlerquellen in einer solchen Laborsituation zu identifizieren. In einem realen Arbeitsumfeld spielen zusätzliche Faktoren eine Rolle, wie z. B. hoher Zeitdruck, notwendige Bewegungsabläufe bzw. Bewegungen im Raum, weitere Nutzer im Raum, weitere Bedienungsaufgaben, zusätzliche Eingabegeräte etc. Um sicherzustellen, dass ein entwickeltes Interface ausreichend gebrauchstauglich ist, sollten daher während des gesamten Entwicklungsprozesses zukünftige Nutzer integriert sowie regelmäßig die Gebrauchstauglichkeit unter realen Bedingungen evaluiert werden (z. B. analog zum nutzerzentrierten Gestaltungsprozess nach DIN EN ISO 9241-210). Insbesondere gilt das für die Entwicklung von Interfaces für die Flugsicherung, um frühzeitig Usability-Probleme zu identifizieren und sichere, gebrauchstaugliche und akzeptierte Interaktionskonzepte zu entwickeln.

5. Fazit

Das mögliche Verhalten der Nutzer und die spezifischen Eigenschaften des jeweiligen Displays müssen bei der Gestaltung von Multitouch-Displays unbedingt berücksichtigt werden. Auch Faktoren wie die Kleidung der Probanden oder die Körpergröße relativ zur Neigung und Höhe des Displays können Einfluss auf die Bediensicherheit und -präzision haben. Technologie, Nutzereigenschaften und Gestaltungsoptionen sollten daher gleichermaßen berücksichtigt werden,

um eine zuverlässige, flüssige und sichere Interaktion an einem Multitouch-Display zu erhalten.

In einem nächsten Schritt sollen nun diese Ergebnisse mit denen aus früheren Studien (z. B. zu Interaktionskonzepten für Multitouch-Displays, König, Röbig, Hofmann & Bruder, 2010) zusammengeführt und ein Konzept für robuste bzw. sichere Interaktionen für sicherheitskritische Anwendungskontexte entwickelt werden.

Literatur

1. Bader, T., & Klaus, E. (2008). Blickverhalten bei gestenbasierter Interaktion an großflächigen Anzeigen. In M. Grandt (Hrsg.), Beiträge der Ergonomie zur Mensch-System-Integration, 50. Fachausschusssitzung Anthropotechnik der Deutschen Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt Lilienthal-Oberth e. V. Bonn: Deutsche Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt (DGLR), S. 107-120.
2. Badke-Schaub, P., Hofinger, G., & Lauche, K. (Hrsg.). (2008). Human Factors - Psychologie sicheren Handelns in Risikobranchen. Heidelberg: Springer.
3. Bollhoefer, K. W., Meyer, K. & Witzsche, R. (2009). Microsoft Surface und das
4. Natural User Interface (NUI). White Paper. Berlin: Pixelpark.
5. Buxton, W. & Myers, B. A. (1986). A study in two-handed input. Toronto: University of Toronto, Computer Systems Research Institute.
6. Dahm, M. (2006). Grundlagen der Mensch-Computer-Interaktion. München: Pearson.
7. Kellerer, J., Eichinger, A., Sandl, P. & Klingauf, U. (2009). Panoramic Displays - Usability Untersuchung eines neuartigen Bedienkonzepts in einem repräsentativen Belastungskontext. In: Der Mensch im Mittelpunkt technischer Systeme. 8. Berliner Werkstatt Mensch-Maschine-Systeme, 07. - 09. Oktober 2009, Tagungsband. Berlin: VDI Verlag, 2009.
8. König, C., Röbig, A., Hofmann, T., & Bruder, R. (2010). Systematisierung von Interaktionsparadigmen für Multitouch-Displays in der Flugsicherung. In USEWARE 2010: Grundlagen - Methoden - Technologien, VDI Berichte, Bd. 2099. Düsseldorf: VDI-Verlag, S. 246-265.
9. NUI Group. (2011). URL: <http://ccv.nuigroup.com/>. Letzter Zugriff: 27.05.2011.
10. NUI Group Authors. (2009). Multi-Touch Technologies. Version 1.0. URL: <http://www.nuigroup.com>. Letzter Zugriff: 27.05.2011.
11. Rasmussen, J. (1986). Information Processing and Human-Machine Interaction: An Approach to Cognitive Engineering. Amsterdam, The Netherlands: North-Holland.
12. Schlick, C. M., Bruder, R. & Luczak, H. (2010). Arbeitswissenschaft. Berlin: Springer.
13. Schöning, J. et al. (2008). Multi-touch surfaces: A technical guide. Technical Reports of the Technical University of Munich.
14. Seidel, M. (2011). Untersuchung von Usability-Aspekten bei einem Multitouch-Display. Bachelorarbeit. Darmstadt: Technische Universität, Institut für Arbeitswissenschaft.
15. Spath, D. et al. (2010). Studie Multi-Touch. Technologie, Hard-/Software und deren Anwendungsszenarien. Stuttgart: Fraunhofer Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation.
16. Wickens, C. & Hollands, J. G. (2000). Engineering psychology and human performance. Upper Saddle River NJ: Prentice Hall.

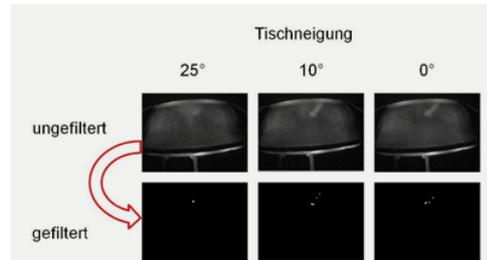


Abb. 8.
IR-Kamerabild für Interaktion in Displaymitte

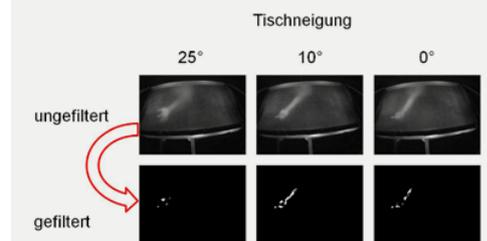


Abb. 9.
IR-Kamerabild für Interaktion außerhalb des zulässigen Greifbereichs