

Potenzial der Anwendung von VR-Interaktionstechniken im Usability-Testing

ANJA NAUMANN¹ & JOHANN HABAKUK ISRAEL²

¹ Deutsche Telekom AG Laboratories (T-Labs), Technische Universität Berlin

² Fraunhofer Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik (IPK), Berlin

Schlüsselwörter: Virtual Reality, Augmented Reality, Tangible User Interfaces, VR-Interaktionstechniken, Usability, Virtuelle Produktentwicklung

Zusammenfassung

Methoden der Virtual Reality (VR) Technologie haben Einzug in die Produktentwicklung gefunden und werden dort vorrangig in den frühen Phasen eingesetzt. Uns interessiert hier die Frage, inwieweit VR für das Usability-Testing genutzt werden kann. Ziel des Artikels ist es, für diese Nutzung Potentiale, Probleme und Alternativen aufzuzeigen. Wir gehen dabei auf virtuelle Prototypen ein und betrachten den Bereich Ergonomie insbesondere im Hinblick auf Interaktionsaspekte. Wir argumentieren, dass neue VR-Interaktionstechniken, bei denen der Benutzer direkt mit physischen Prototypen statt durch Interaktionsgeräte interagiert, aussagekräftigere Testergebnisse versprechen.

1. Virtual Reality (VR)

Virtual Reality (VR; Virtuelle Realität) ist eine Technologie, in der hauptsächlich dreidimensionale Computergrafik verwendet wird, um eine realistisch aussehende Welt zu simulieren. Diese synthetische Welt ist nicht statisch sondern reagiert auf Aktionen des Nutzers, wie beispielsweise Kopf- und Handbewegungen, Gesten und verbale Kommandos. Damit ist ein Hauptmerkmal von VR definiert: die *Echtzeit-Interaktivität*, d.h. Nutzeraktionen führen ohne wahrnehmbare Zeitverzögerung zur Umgestaltung der virtuellen Umgebung. Die Interaktivität leistet einen wichtigen Beitrag zum Gefühl der *Immersion*, d.h. dem Gefühl des direkten Einbezogenenseins in die Umgebung. Dabei geht das Erleben über das reine Sehen und Manipulieren von grafischen Objekten auf einem Bildschirm hinaus. Die Objekte können, entsprechen-

de haptische Interaktionsgeräte vorausgesetzt, auch berührt und gefühlt werden. Prinzipiell können alle wichtigen sensorischen Modalitäten verwendet werden: Sehen, Hören, Berühren, Riechen, Schmecken, etc. (Burdea & Coiffet 1994).

Virtuelle Realität kann als Basistechnologie zur Lösung realer Probleme eingesetzt werden, beispielsweise in der Entwicklung von Produkten und Anlagen, im Usability-Testing oder in der Medizin. Dabei ist das Ausmaß, in welchem eine Applikation gut funktioniert und ein spezifisches Problem lösen kann, abhängig von der menschlichen Vorstellungskraft (*Imagination*). VR ist daher eine Triade aus drei „I“, in der Immersion, Interaktion und Imagination zusammenspielen (Burdea & Coiffet 1994).

2. VR-Interaktionstechniken

Jacob (1990) definiert eine Interaktionstechnik als „einen Weg, ein physisches Eingabegerät zu benutzen, um in einem Mensch-Computer-Dialog eine bestimmte Aufgabe zu erfüllen“. Nach Bowman, Kruijff, LaViola & Poupyrev (2004) lassen sich komplexe Interaktionsaufgaben in typischen VR-Umgebungen in wenige basale Interaktionsaufgaben aufgliedern:

- *Manipulation*: Kontrolle extrinsischer Objekteigenschaften (Position, Orientierung), auch Canonical Manipulation Tasks (CMT).
 - *Selektion*: Für time multiplexed (sequentielle) Interaktionstechniken ist die Selektion zur expliziten Kommunikation des Interaktionsfokus nötig. Im VR-Kontext werden so die zu manipulierenden virtuellen Objekte ausgewählt.
 - *Positionieren*: Kontrolle der Position virtueller Objekte.
 - *Orientieren*: Kontrolle der Orientierung virtueller Objekte.
- *Navigation*: Bestimmen des betrachteten Ausschnitts der Virtuellen Umgebung.
- *System Control*: Steuerung der Parameter des VR-Systems.

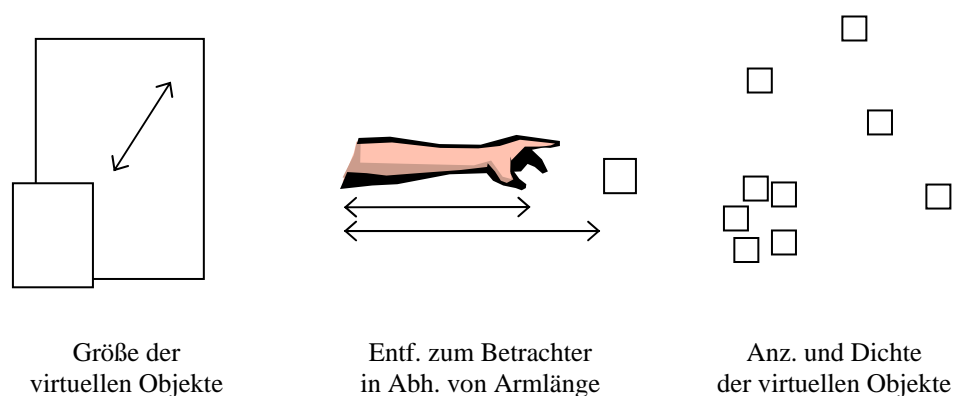


Abbildung 1. Einflussfaktoren auf die Wahl einer VR Interaktionstechnik (nach Bowman et al. 2004)

Bowman et al. (2004) nennen verschiedene Einflussfaktoren für die Wahl einer VR Interaktionstechnik (siehe Abbildung 1):

- *Größe der virtuellen Objekte.*
- *Entfernung der virtuellen Objekte vom Benutzer in Abhängigkeit von dessen Armlänge.*
- *Anzahl und Dichte der virtuellen Objekte.*

2.1 Klassische VR-Interaktionstechniken

In den meisten VR-Systemen sind Interaktionstechniken mittels Datenhandschuhen, Zeigegeräten und Spracheingabe gebräuchlich. Mit den vorhandenen Interaktionsgeräten können virtuelle Objekte in der Regel nur *sequentiell* (time multiplexed) *manipuliert* werden, was ein explizites Setzen (*Selektieren*) des Interaktionsfokus bspw. über Gesten oder verbale Kommandos erfordert. Sie unterscheiden sich deshalb zwar in der Modalität aber nicht im Interaktionskonzept von den aus 2D-Schnittstellen bekannten Mauszeigern, Menüs und Kommandos und teilen deshalb auch viele derer Nachteile wie geringe Interaktionsbandbreite vom Benutzer zum System, lange Einarbeitungszeit und Ergonomieprobleme (Nielsen 1996).

Klassische VR-Interaktionstechniken können nach Bowman et al. (2004) unterschieden werden in:

- *Pointing:* Der Benutzer selektiert Objekte über einen Strahl und kann sie anschließend manipulieren (bspw. Ray-Casting, Flashlight, Image-Plane-Technique).
- *Virtual Hand:* Die Handbewegungen des Benutzers werden auf ein digitales Handmodell abgebildet, mittels dessen Objekte selektiert und manipuliert werden können (bspw. einfache Virtual Hand, Go-Go).
- *World-in-a-Miniature:* Der Benutzer selektiert und manipuliert Objekte in einer miniaturisierten Kopie der Umgebung (bspw. Voodoo Dolls).

Zum Usability-Testing eignen sich klassische VR-Interaktionstechniken nur sehr eingeschränkt, da sie in hohem Maß künstlich sind und der Benutzer seine hoch ausgebildeten sensomotorischen Fähigkeiten nicht in dem Maß einsetzen kann, wie er es mit dem tatsächlichen Produkt täte.

2.2 Neue VR-Interaktionstechniken

Heutige VR-Systeme können die taktilen und kinästhetischen Eigenschaften von digitalen Objekten nur unzureichend darstellen. Direkte Interaktionen wie Greifen und Manipulieren von digitalen Objekten sind derzeit kaum möglich, da Interaktionen in der Regel durch Eingabegeräte wie Datenhandschuhe oder Zeigegeräte vermittelt werden oder, wie bei auf Gesten basierenden Interaktionen, jeglicher haptischer Komponente entbehren.

Ansätze diese Defizite zu mindern, können aus alternativen Mensch-Computer- und VR-Interaktionskonzepten übertragen werden, beispielsweise Ubiquitous Computing (Weiser 1993), Augmented Reality (AR; Azuma 1997, Milgram & Kishino 1994), Noncommand-Based Interaction (Nielsen 1996) und Tangible Interaction (Ishii & Ullmer 1997, Fitzmaurice 1996, Ullmer & Ishii 2000). All diese Konzepte haben gemein, dass sie die strenge Trennung in Ein- und Ausgabegeräte aufheben, da die

interaktiven Elemente entsprechender Systeme meist physische Objekte aus der Umgebung des Benutzers sind und sowohl als Ein- als auch Ausgabekanäle dienen.

2.2.1 Augmented Reality (AR)

Augmented Reality (AR; erweiterte Realität) Systeme integrieren physische und virtuelle Räume, indem videobasierte Ausschnitte der realen Umgebung selektiv mit virtuellen Objekten überlagert werden. Um einen Bezug zwischen beiden Welten herstellen zu können, müssen räumliche Merkmale der realen Umgebung vom System erkannt werden. Dies geschieht meist durch die Verwendung einfach zu detektierender Markierungen, die in der realen Umgebung an vordefinierten Punkten angebracht werden (siehe Abbildung 2).

AR entwickelt sich neben der meist immersiv eingesetzten VR zu einer immer wichtigeren Technologie. Durch die Entwicklung neuer Hardware, beispielsweise leistungsstarker tragbarer Computer, verbesserter Anzeigetechnologien und Eingabegeräte, kann das Verständnis und die Nutzung von Computern durch AR neu definiert werden (Broll, Lindt, Ohlenburg, Herbst, Wittkämpfer & Novotny 2005).

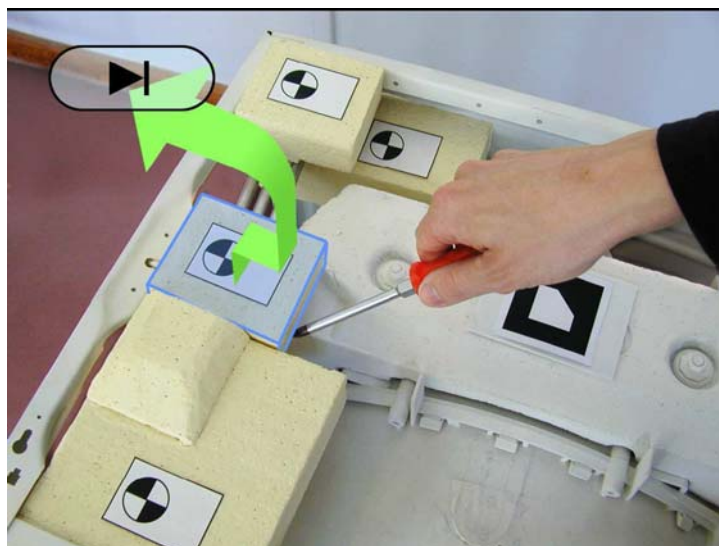


Abbildung 2. AR-basierte Demontagesimulation (aus Ruhe & Sadilek 2004)

AR hat das Potential, viele Anwendungsfelder positiv zu beeinflussen. Innerhalb der letzten Jahre wurden vielversprechende Prototypen entwickelt, beispielsweise in den Bereichen Architektur und Stadtplanung, Bauwesen und Produktionsplanung, Lehre, Bildung und Training und Spielen (siehe Broll et al. 2005).

2.2.2 Tangible User Interfaces (TUI) und Props

Tangible User Interfaces (TUI; Fühlbare Benutzungsschnittstellen) sind physische Objekte, die digitale Funktionen und Informationen mit physischen Objekteigenschaften und Merkmalen verknüpfen (Ishi & Ullmer 1997). Erfolgreiche TUIs integrieren Eingabe- und Ausgaberaum, erlauben Trial-and-Error Exploration („Ausprobieren“) und basieren auf festen 1:1 Zuordnungen von physischem Objekt und digitalem Objekt bzw. digitaler Funktion (Sharlin, Watson, Kitamura, Kishino & Itoh

2004). Zu den wichtigsten Eigenschaften von Tangible User Interfaces gehört die Möglichkeit der unmittelbaren Manipulation der digitalen Objekte ohne Vermittlung durch Eingabegeräte. Benutzer können Tangible Objects direkt greifen und deren extrinsische Eigenschaften (Ausrichtung und Position im Raum) und intrinsische Eigenschaften (Form, Farbe und Zustand) wahrnehmen und manipulieren, ohne vom System vorgegebene künstliche Interaktionstechniken berücksichtigen zu müssen.

Tangible Interfaces können ähnlich Passive Haptic Displays (*Props*, siehe Hinckley, Pausch, Goble & Kassell 1994) in Virtuelle Umgebungen integriert werden. Dazu können bspw. Methoden der AR genutzt werden, ohne jedoch virtuelle und reale Welt vollständig zu verschmelzen. So bleibt der Interaktionsraum klar abgegrenzt (Dourish 2001), und ergonomisch vorteilhafte Techniken wie nichtimmersive Holo-benchumgebungen können eingesetzt werden.

Abbildung 3 zeigt ein TUI, das mittels Kraftrückkopplungsarmen in eine virtuelle Umgebung integriert werden kann. Die Manipulationen am Objekt erfolgen per Hand und sind denen im realen Einsatz in Bezug auf visuelles, taktiles und kinästhetisches Erleben sehr ähnlich (s. 3.2.).

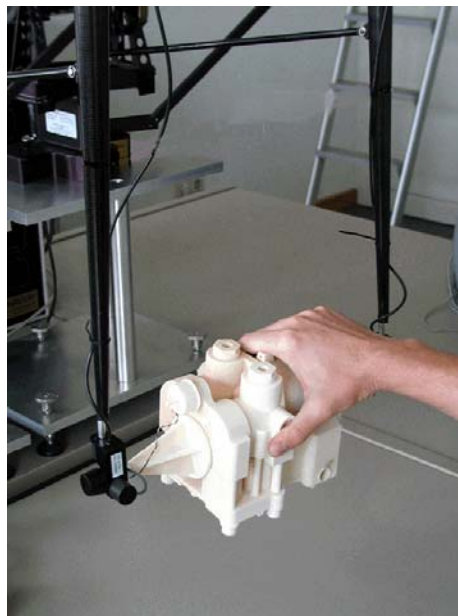


Abbildung 3. *Tangible Interface zur Integration in Virtuelle Umgebungen, hier mit Vorrichtungen zur Kraftrückkopplung (aus Krause, Israel, Neumann & Beckmann-Dobrev 2005).*

Ein Problem, das durch das Einbringen von physischen Objekten entsteht, ist die Verdeckung (Occlusion): Virtuelle Objekte, die je nach Projektionstechnik räumlich vor oder hinter einem physischen Objekt liegen, werden durch dieses verdeckt. Dieses Problem besteht in allen AR- und VR-Systemen (bspw. Holo-bench, CAVE) und lässt sich schwer lösen. Der damit einhergehende Verlust an Realitätsnähe ist erheblich.

3. Anwendungspotential von AR und VR in der Industrie

In der Virtuellen Produktentwicklung (VPE) werden immer häufiger Methoden der VR eingesetzt, um „...die geometrischen, technologischen, physikalischen, stylingbezogenen sowie umweltbeeinflussenden Eigenschaften eines Produktes für den Menschen umfassend erfahrbar zu machen.“ (Spur & Krause 1997, S. 31). Dabei wird AR vor allem im Fertigungsprozess verwendet, beispielsweise bei Montagetätigkeiten in *ARsembly*-Anwendungen, wo abzuarbeitende Teilelisten in ein Head Mounted Display projiziert werden (Tang, Owen, Biocca & Mou 2003, Wiedenmaier, Oehme, Schmidt & Luczak 2003). Für einen Vollschicht-Einsatz müssen die Technologien jedoch noch ergonomisch verbessert und Langzeitstudien zu einer möglichen gesundheitlichen Beeinträchtigung der Nutzer durchgeführt werden.

VR wird vorwiegend in Bereich Computer Aided Design (CAD) und Virtual Prototyping eingesetzt. In der Kunststoff verarbeitenden Industrie gibt es beispielsweise zahlreiche Anwendungen für 3-D-Visualisierungen. Fehlfunktionen können dadurch frühzeitig erkannt und die Herstellung teurer fehlerhafter Komponenten begrenzt oder sogar verhindert werden. Ein weiterer Anwendungsbereich ist die Fahrzeugindustrie. In VR kann ein Fahrzeug wiederholt zusammengesetzt werden, bis die optimale Montageabfolge gefunden ist, die Abstände und den Zugang für Werkzeuge berücksichtigt. Auch hier wird so der Bau von fehlerhaften Prototypen eingegrenzt.

Durch VR wird die Simulation von 3D-Modellen in realer Größe schon vor der Herstellung physischer Modelle ermöglicht, was die Notwendigkeit für Überarbeitungen reduziert und damit trotz des Aufwandes der Erstellung der VR-Umgebung Zeit und Kosten spart.

3.1 VR als Werkzeug für Usability-Testing

Die Anwendung von VR als Werkzeug für Usability-Testing innerhalb des Konstruktions- und Designprozesses ist äußerst sinnvoll. Die VR-Nutzung beinhaltet dabei sowohl die Erstellung virtueller Prototypen als auch virtueller Umgebungen für reale Prototypen. Zusätzlich können digitale Menschmodelle eingesetzt werden, die aufwändige Nutzertests in frühen Phasen ablösen können.

Usability-Testing beinhaltet Messungen zur Gebrauchstauglichkeit eines Produktes, d.h. zum Ausmaß, in dem ein Produkt durch bestimmte Benutzer in einem Nutzungskontext verwendet werden kann, um bestimmte Ziele *effektiv, effizient* und *zufriedenstellend* zu erreichen (DIN EN ISO 9241-11 2003). Der Nutzungskontext besteht aus den Benutzern, Arbeitsaufgaben, Arbeitsmitteln (Hardware, Software und Materialien) sowie der physischen und sozialen Umgebung, in der das Produkt eingesetzt wird.

3.1.1 Virtuelle Prototypen

Die Nutzung von VR für das Usability-Testing bietet die Möglichkeit, Designkonzepte insbesondere in frühen Phasen des Entwicklungsprozesses zu evaluieren und damit Kosten für die Überarbeitung von Designkonzepten oder Prototypen erheblich zu reduzieren. Positive Erfahrungen werden hier zum Beispiel aus der Fabrikplanung und aus der Automobilindustrie berichtet.

Reiche (2005) sieht in der Verwendung eines virtuellen Modells einer Chemiefabrik (DEGUSSA) ein deutliches Potential für das Überprüfen der Benutzbarkeit und Zugänglichkeit der Anlage. Zum einen besteht die Möglichkeit der Interaktion der Konstrukteure oder zukünftigen Benutzer innerhalb des Modells, d.h. die Nutzer arbeiten und diskutieren aktiv im Modell. Zum anderen wird durch diese Art der Modelldarstellung die Verständlichkeit des Modells erhöht (z.B. gegenüber einer Bildschirmdarstellung): die Nutzer haben einen realistischen Raumeindruck, ein besseres Verständnis der Relationen und können Dimensionen besser bewerten. Reiche verwendete eine große Projektionsleinwand (Power Wall) mit einem Benutzer in der Mitte. Es konnte sowohl eine hohe Akzeptanz unter den Nutzern als auch eine Erhöhung der Planungsqualität gezeigt werden. Allerdings ist eine Vorbereitung der VR-Sitzung mit Hilfe konventioneller Gutachten trotzdem nötig, und der hohe finanzielle Aufwand für die VR-Sitzungen lohnt sich erst für größere Projekte. Als Nachteile erwiesen sich das längere Arbeiten in einem abgedunkelten Raum und das relativ langsame Auffinden von Objekten (z.B. Rohren oder Geräten). Großes Potential hat der Einsatz von VR auch für die Ausbildung und das Training der zukünftigen Benutzer solch einer Anlage.

General Motors (GM) verwendet VR für das kollaborative Design von Fahrzeuginnenräumen. Dabei kommt eine Kombination aus Immersive Perspective Technologies (IPTs) mit realen Sitzen und Lenkrad zum Einsatz (Props). Vorteile sind dabei das Erleben des Fahrzeugs in voller Größe und die am physischen Produkt orientierten Interaktionsmöglichkeiten. Im Rahmen des kollaborativen Designs kann die Szenen-Grafik zusätzlich über verschiedene, in einem Netzwerk verbundene Computer modifiziert werden, unterstützt durch verteilte Kommunikation, Interaktion und Entwicklung.

Im *vehicle interaction lab* am Fraunhofer Institute of Industrial Engineering IAO wurden ebenfalls verschiedene Projekte zur Entwicklung virtueller Prototypen von Mensch-Maschine-Schnittstellen im Fahrzeug und zur Evaluation der Prototypen und zum Einsatz von Nutzertests durchgeführt. SAVE beschäftigte sich dabei mit der Oberfläche eines Systems zur Fahrerzustandsüberwachung und zum Notfallmanagement, in COMMUNICAR wurde eine Multimedia-Schnittstelle für das Fahrzeug entwickelt, und innerhalb von SAVE-GUARD wurden anthropometrische Tests mit Menschmodellen in virtuellen Umgebungen durchgeführt.

VR ist prinzipiell geeignet, schon in einer frühen Phase im Entwicklungsprozess den ästhetischen Eindruck eines Produktes und dessen subjektiv wahrgenommenen Komfort zu überprüfen. Zu beachten ist jedoch, dass systematische Wahrnehmungsverzerrungen auftreten können (z.B. Farbe und Raumeindruck, siehe Arthur, Hancock & Chrysler 1997).

3.1.2 Ergonomie

VR kann in zahlreichen weiteren Bereichen der Messung von Benutzbarkeit eingesetzt werden. So können beispielsweise Sicht- und Aktionsbereiche bei industriellen Arbeitsplätzen getestet werden. Besonders die Visualisierung von Gefahren oder schlechten Sichtverhältnissen bei Nebel (Shahrokhi & Bernard 2004) kann durch die Generierung dynamischer virtueller Räume unterstützt werden. Damit bietet VR auch erhebliches Potential für Gefahrentrainings und Evakuierungsszenarien.

Digitale Menschmodelle

Weite Verbreitung finden mittlerweile digitale Menschmodelle, vorwiegend für ergonomische und anthropometrische Fragestellungen, wie Fragen zur Wirkung von Kräften, zur Erreichbarkeit von Objekten und zu Sichtvermögen und Komfort. Digitale Menschmodelle sind dreidimensionale computergrafische Darstellungen des menschlichen Körpers. Obwohl nicht VR im engeren Sinne (Immersion ist nicht gegeben), so gewinnen doch digitale Menschmodelle in der Interaktion mit virtuellen Prototypen und damit in einem, zumindest in frühen Stadien, komplett virtuellen Entwicklungs- und Testungsprozess immer mehr an Bedeutung (Duffy 2006). Im Computer Aided Design (CAD) kombiniert eine Simulationssoftware (z.B. RAMSIS, ANYBODY) menschliche 3D-Geometrien (biomechanische Modelle) mit 3D-Geometrien von Produkten, damit Aussagen darüber möglich werden, wie gut das jeweilige Design an die Menschen angepasst ist, die damit interagieren sollen. Dabei kann eine große Variabilität von unterschiedlichen Körpermaßen abgedeckt werden (z.B. auch Stühle für übergewichtige Personen, Erreichbarkeit für kleine Personen, Sichtfeld mit Helm). Ein Beispiel für die Gefahrenanalyse an einem Bergbau-Arbeitsplatz mit eingeschränktem Sichtfeld in einer schlecht beleuchteten Umgebung ist in Abbildung 4 dargestellt.



Abbildung 4. Digitales Menschmodell JACK mit Sichtfeld an einem Bergbauarbeitsplatz (aus Bartels, Ambrose & Wang 2001).

Durch die Verwendung digitaler Menschmodelle innerhalb eines digitalen Prototypen kann die Entwicklungszeit verkürzt werden, da eine Evaluation schnell möglich ist. Die Qualität der Designvarianten kann so insgesamt erhöht werden. Um menschliche Bewegungen in einem Modell zu simulieren, müssen diese gemessen und dann mit dem digitalen Menschmodell zusammengebracht werden. Die Messung der Bewegung im Raum kann beispielsweise über das Tracking von Markern an Kopf, Armen und Beinen oder über Videoanalyse erfolgen. Bewegungsmodellierung ist ein zentraler Aspekt bei der Untersuchung von Ergonomie- und Usability-Fragestellungen, insbesondere bei der Frage nach dem Greifen und der Erreichbarkeit von Objekten oder Geräten oder dem Heben von meist schweren Gegenständen (Chaffin 2005). Problematisch ist hier, dass Personen ein relativ stabiles Bewegungsmuster für gleiche Handlungen ausbilden, interindividuelle Unterschiede jedoch sehr groß sind (Latash 1998).

Nachteile heutiger digitaler Menschmodelle sind die mangelnde Flexibilität im Hinblick auf die Freiheitsgrade des menschlichen Körpers und die komplizierte Benutzung (Gawron, Dennison & Biferno 2002). In biomechanischer Simulation wird die Dynamik von Bewegungen bisher zu wenig berücksichtigt, z.B. können schnellere Bewegungen zu Verletzungen führen. Es gibt jedoch Ansätze und Erfolge in der Weiterentwicklung und Modifizierung der Modelle. So können beispielsweise Bewegungen vorhergesagt werden, indem in einem CAD-System gespeicherte und modifizierbare Basisbewegungen abgerufen werden (z.B. Park, Chaffin & Martin 2004).

Um Testsettings in virtuellen Umgebung denen der realen Welt anzupassen, in der man von Menschen umgeben ist und mit diesen interagiert, ist auch die Verwendung weiterer virtueller Menschen möglich, die beispielsweise in einem zu gestaltenden Zugabteil sitzen.

3.2 Neue Methoden des VR basierten Usability-Testing

Nicht Eingabegeräte sondern physische Objekte bilden die Benutzungsschnittstelle neuer VR-Interaktionstechniken, die sich aus einer Reihe von Gründen für den Einsatz im VR basierten Usability-Testing eignen:

- Die Produkte können direkt ohne Umwege über Interaktionsgeräte manipuliert und getestet werden.
- Haptische Produkteigenschaften lassen sich realistisch simulieren.
- Beidhändige Manipulationen sind möglich.
- Wahrnehmungs- und Bewegungsraum sind per se integriert (unterstützt sensorische Koordination, räumliches Orientierungsvermögen und motorisches Gedächtnis).

Nachteilig erweisen sich die hohen Kosten der Herstellung realistischer Prototypen mittels Methoden des Rapid Prototyping (Dreher 2005), welche jedoch durch den Einsatz Hybrider Objekte gesenkt werden können.

Augmented Reality Methoden eignen sich aufgrund der Möglichkeit, unmittelbar in der potentiellen Nutzungsumgebung zu testen sehr gut für das Usability-Testing. Sie sollten insbesondere dann zum Einsatz kommen, wenn die Umgebung des Prototyps dessen Gebrauchstauglichkeit entscheidend beeinflusst. Der vorherrschende Einsatz von Head-Mounted-Displays (HMDs) mindert jedoch die Einsatzmöglichkeiten im Usability-Testing, da diese unergonomische Gebrauchseigenschaften haben.

Zur Simulation haptischer Produkteigenschaften werden in der Virtuellen Produktentwicklung (VPE) rein physische Prototypen mit Methoden des *Rapid Prototyping* (RP) erstellt, um auch in frühen Phasen Aussagen über taktile und kinästhetischen Produkteigenschaften treffen zu können. Um diese Prototypen in VR-Umgebungen testen und mit digitalen Funktionen erweitern zu können, kann man sich des Konzepts der *Tangible User Interface* bedienen. Dies insbesondere dann, wenn der Gebrauch des Prototypen von häufigen direkten Objektmanipulationsinteraktionen geprägt ist, wie bspw. bei vielen elektronischen Konsumgütern, und ein Verzicht auf die hoch ausgebildeten Benutzerfähigkeiten wie automatisierte Greif- und Manipulationsinteraktionen, multimodale Interaktion, sensorische Koordination und motorisches Gedächtnis zu einer Verzerrung des Usability-Testings führen würden. Die Wichtigkeit physischer Prototypen für das Usability-Testing wird von Evans und Gill (2006) unterstrichen. In ihrer Studie zum Gebrauch von Mobiltelefonen stellen sie

fest, dass auf flachen Touchscreens basierende Prototypen schlechtere Aussagen über Effizienz und Effektivität des Gebrauchs zulassen als physische oder physisch/grafische Prototypen.

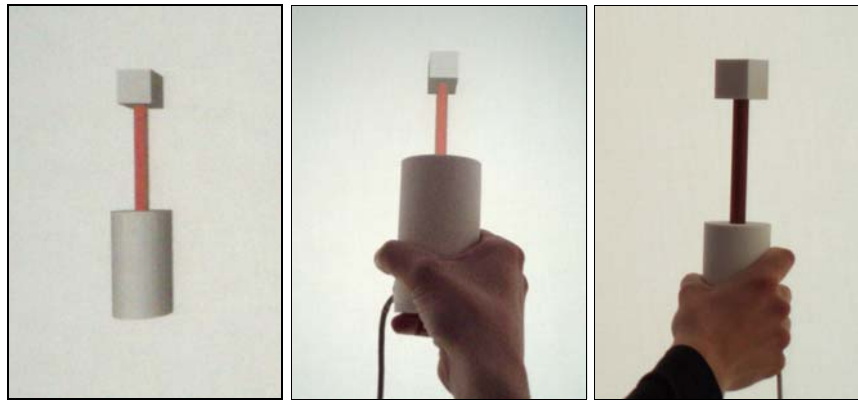


Abbildung 5. Virtuelle, hybride and rein physische Variante desselben Modells (Foto: Fraunhofer IPK).

Aus Kosten- und Flexibilitätsgründen kann es sinnvoll sein, nicht den vollständigen Prototyp physisch zu produzieren, sondern Bestandteile, deren haptische Eigenschaften nicht von Relevanz sind, als virtuelle Grafiken räumlich korrekt in die Szene zu integrieren (Hybride Objekte, Abbildung 5). Solche Hybriden Objekte vereinen viele Vorteile physischer und digitaler Objekte, insbesondere:

- Effiziente Interaktionen (Greif- und Manipulationsinteraktionen).
- Hohe Flexibilität und leichte Änderbarkeit.
- Geringe Herstellungskosten.
- Kosten unabhängig von geometrischer Objektgröße.
- Simulation interaktiver Produkteigenschaften (Anzeigen, Beleuchtung).

3.3 VR basierte Konstruktion

Neben reinen Usability-Testings mit avisierten Nutzern in virtuellen Umgebungen existieren im Rahmen der virtuellen Produktentwicklung bereits verschiedene Ansätze, digitale Produktmodelle auch im VR zu konstruieren (Stork 2000), auch solche, die Konzepte des Tangible Interaction verwenden (De Amicis, Conti & Fiorentino 2004). Dem Konstrukteur wird hier ein einheitlicher Konstruktions- und Wahrnehmungsraum zur Verfügung gestellt, in dem er die Auswirkungen seiner Handlungen direkt am digitalen Modell, ggf. in Originalgröße, beobachten kann. Dieser Ansatz ist dahingehend vielversprechend, dass er dem Arbeiten am „realen“ Modell näher kommt (bspw. Virtual Clay Modeling, Biahmou Tchetchou 2005) und sensomotorische Fertigkeiten des Konstrukteurs stärker einbindet. Belastbare Ergebnisse, ob dadurch Effizienz und Kreativität des Konstrukteurs und Designers beeinflusst werden, liegen jedoch noch nicht vor.

Um VR in den Produktentwicklungsprozess zu integrieren, müssen die meist parametrisiert vorliegenden digitalen Produktmodelle in darstellbare Formate (bspw. VRML) konvertiert werden (Facettierung). Stork (2000) beschreibt Möglichkeiten, die parametrische Beschreibung bei der Konvertierung zu bewahren, damit Ände-

rungen, die am Produktmodell im VR vorgenommen werden, auch in den Produktentwicklungsprozess zurückfließen können.

4. Fazit

Wir haben uns mit der Frage beschäftigt, ob und wie Virtual-Reality-Technologien für das Usability-Testing einsetzbar sind. Dazu haben wir zunächst VR-Systeme im Allgemeinen und VR-Interaktionstechniken im Besonderen skizziert und neue Entwicklungen aufgezeigt. Wir haben versucht zu zeigen, dass klassische VR Systeme in vielerlei Hinsicht, vor allem aufgrund der artifiziellen Interaktionstechniken und der ergonomischen Probleme, nur eingeschränkt für das Usability-Testing nutzbar sind. Der Einsatz und die Kombination neuerer Techniken wie Augmented Reality und Tangible Interaction versprechen dagegen eine höhere Aussagekräftigkeit des Usability-Testings in Bezug auf die tatsächlichen Gebrauchseigenschaften, da diese Ansätze vom klassischen geräteparadigmatischen Interaktionsansatz abweichen und statt dessen die unmittelbare Interaktion mit Objekten (den virtuellen Produkten) in den Vordergrund stellen. Weiterhin haben wir dargestellt, wie digitale Menschmodelle das Usability-Testing vor allem ergonomischer Eigenschaften virtueller Produkte in frühen Entwicklungsphasen rationalisieren können und wie durch Anpassung der verwendeten Menschmodelle eine größere Aussagefähigkeit der Testergebnisse erreicht werden kann.

5. Literatur

- Arthur, E. J., Hancock, P. A. & Chrysler, S. T. (1997). The perception of spatial layout in real and virtual worlds. *Ergonomics*, 40 (1), 69-77.
- Azuma, R. (1997). A Survey of Augmented Reality. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 6 (4), 355-385.
- Bartels, J. R., Ambrose, D. H. & Wang, R. C. (2001). Verification and Validation of Roof Bolter Simulation Models for Studying Events Between a Machine and its Operator. *Society of Automotive Engineers, Inc., technical paper 2001-01-2088*, 1-14.
- Biahmou Tchetchou, A. R. (2005). *Methoden für das Industriedesign in Virtueller Realität*. Dissertation, Technische Universität Berlin.
- Bowman, D. A., Kruijff, E., LaViola Jr., J. J. & Poupyrev, I. (2004). *3D User Interfaces: Theory and Practice*. Reading, Massachusetts: Addison-Wesley.
- Broll, W., Lindt, I., Ohlenburg, J., Herbst, I., Wittkämpfer, M., & Novotny, T. (2005). An Infrastructure for Realizing Custom-Tailored Augmented Reality User Interfaces. *IEEE Transactions on visualization and computer graphics*, 11(6), 722-733.
- Burdea, G. & Coiffet, P. (1994). *Virtual Reality Technology*. New York: J. Wiley & Sons.
- Chaffin, D. B. (2005). *Primary Prevention of Low Back Pain Through the Application of Biomechanics in Manual Materials Handling Tasks* (Vol. 27:1,40-50).

- University of Michigan: Retrieved from <http://gimle.fsm.it/27/1/06.pdf> [24.05.06].
- DIN EN ISO 9241-10, -11 (2003). In: *DIN-Taschenbuch 354: Software-Ergonomie. Empfehlungen für die Programmierung und Auswahl von Software*. Berlin: Beuth
- Dourish, P. (2001). *Where the Action Is, The Foundations of Embodied Interaction*. MIT Press, Cambridge, Massachusetts.
- Dreher, S. (2005). *Flexible Integration von Rapid Prototyping Prozessketten in die Produktentstehung*. Dissertation, Technischen Universität Berlin.
- Duffy, V. (2006). Digital human modeling for applied ergonomics and human factors engineering. Retrieved from <http://cyberg.wits.ac.za/cb2005/method2.htm> [30.11.06].
- Evans, M. & Gill, S. (in Druck). Rapid Development of Information Appliances: Future Approaches for Designers. In: *Proceedings of the International Design Conference (DESIGN)*. Dubrovnik, Kroatien.
- Fitzmaurice, G. (1996). *Graspable User Interfaces*. PhD Dissertation. University of Toronto, Canada.
- Gawron, V.J., Dennison T.W. & Biferno, M.A. (2002). Mock-Ups, Models, Simulations, and Embedded Testing. In: S.G. Charlton & T.G. O'Brien (Hrsg.), *Handbook of Human Factors Testing and Evaluation* (2nd Edition). Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum.
- Hinckley, K., Pausch, R., Goble, J. C. & Kassell, N. F. (1994). A Three-Dimensional User Interface for Neurosurgical Visualization, In: *Proceedings of SPIE Conf. on Medical Imaging, 2164*, 126-136.
- Ishii, H. & Ullmer, B. (1997). Tangible bits: towards seamless interfaces between people, bits, and atoms. In: *Proceedings of the ACM CHI'97*, Atlanta, Georgia, 234-241.
- Jacob, R.J.K. (1990). What You Look At Is What You Get: Eye Movement-Based Interaction Techniques. In: *Proceedings of the ACM CHI'90*. Reading, Mass.: Addison-Wesley/ACM Press, 11-18.
- Krause, F.-L., Israel, J. H., Neumann, J. & Beckmann-Dobrev, B. (2005). A 6-DOF User Interface for Grasping in VR-based Computer Aided Styling and Design. In: *Proceedings of the ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology (VRST)*. Monterey, CA, USA: ACM Press, 110-112.
- Latash, M.L. (1998). *Progress in motor control*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Milgram, P. & Kishino, F. (1994). A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays. *IEICE Trans. Information Systems*, Vol. E77-D, 12.
- Nielsen, J. (1996). Noncommand User Interfaces. *Communications of the ACM*, 36, (4) 83-99.

- Park, W., Chaffin, D.B. & Martin, B.J. (2004). Toward Memory-Based Human Motion Simulation: Development and Validation of a Motion Modification Algorithm. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics – Part A: Systems and Humans*, 34 (3), 376-386.
- Ruhe, N. & Sadilek, D. (2004). *MARE - Augmented Reality Environment*. Diplomarbeit, Technische Universität Berlin.
- Reiche, M. (2005). Virtual Reality – der neue Weg zur Modellvisualisierung im chemischen Anlagenbau. In L. Urbas & C. Steffens (Hrsg.), *Zustandserkennung und Systemgestaltung – 6. Berliner Werkstatt Mensch-Maschine-Systeme* (S. 13-14). Düsseldorf: VDI Verlag (ZMMS Spektrum; 19).
- Shahrokhi, M. & Bernard, A. (2004). A fuzzy approach for definition of dangerous zone in industrial systems. In: *2004 IEEE International Conference on Systems, Man, & Cybernetics, Vol. 7*, 6318-6324.
- Sharlin, E., Watson, B., Kitamura, Y., Kishino, F. & Itoh, Y. (2004). On tangible user interfaces, humans and spatiality. In: *Personal and Ubiquitous Computing*, 8 (5), 338-346.
- Spur, G. & Krause, F.-L. (1997). *Das virtuelle Produkt*. München: Hanser Verlag.
- Stork, A. (2000). *Effiziente 3D-Interaktions- und Visualisierungstechniken für benutzer-zentrierte Modellierungssysteme*. Dissertation, Technische Universität Darmstadt.
- Tang, A., Owen, C., Biocca, F., & Mou, W. (2003). Comparative effectiveness of augmented reality in object assembly. In: *Proceedings of Association for Computing Machinery Computer Human Interaction*, Ft. Lauderdale: FL, 73-80.
- Ullmer, B. & Ishii, H. (2000). Emerging Frameworks for Tangible User Interfaces. *IBM Systems Journal*, 39 (3&4), 915-931.
- Weiser, M. (1993). Some Computer Science Issues in Ubiquitous Computing. *Communications of the ACM*, 36(7), 75-84.
- Wiedenmaier, S., Oehme, O., Schmidt, L., & Luczak, H. (2003). Augmented Reality for Assembly Process Design an Experimental Evaluation. *Int'l J. Human Computer Interaction*, 16(3), 497-514.