

Digitale Stift- und Papierinteraktion in Virtuellen Umgebungen

Sophie Stellmach¹, Thomas Brücher¹, Ronny Franke², Raimund Dachselt¹

AG User Interface & Software Engineering, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg¹; Fraunhofer Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF²

Zusammenfassung

Die Interaktion mit digitalen Stiften und Papier stellt ein vertrautes und preisgünstiges Medium für den Umgang mit Computersystemen dar. Die gewohnte Handhabung mit Stift und Papier unterstützt eine natürliche Interaktion auch in virtuellen Welten. So kann die Navigation und Systemkontrolle in virtuellen dreidimensionalen Umgebungen über papierbasierte Paletten erfolgen. Für diesen Zweck stellen wir in diesem Artikel verschiedene Prototypen für diese Aufgaben vor, die auf der Anoto Technologie basieren. Dabei wurden einfache haptische Hilfselemente wie Führungshilfen und Aussparungen verwendet, um eine Benutzung zu unterstützen, für die Benutzer nicht notwendigerweise auf die Palette schauen müssen, um damit zu interagieren. Eine qualitative Benutzerstudie bestätigte den Nutzen solcher Hilfselemente, zeigte aber auch Verbesserungspotential für die Navigation in virtuellen Umgebungen mittels papierbasierten Interfaces auf.

1 Einleitung

Virtuelle dreidimensionale (3D) Umgebungen bieten ein großes Potential für verschiedene Anwendungsbereiche, wie z.B. für virtuelles Prototyping, virtuelles interaktives Training, zum Design-Review und zu Präsentationszwecken von 3D Szenen (z.B. Stadtszenarien). So kann beispielsweise ein virtuelles Modell einer Stadt zur Evaluierung und Präsentation von städtischen Umbaumaßnahmen verwendet werden. Typische Interaktionen beinhalten dabei im Allgemeinen u.a. die Navigation durch diese Szenen und die Anwendungskontrolle mittels Buttons, Menüs und anderen Interfaceelementen. Die Szene kann zum einen klassisch am Desktop mit Maus, Tastatur und Graphical User Interfaces (GUIs), zum anderen aber auch in Kombination mit Großprojektionen und reduzierter GUI gesteuert werden.

Dabei unterscheiden sich auch die verwendeten Eingabegeräte für solche Umgebungen, die neben Spezialgeräten für Experten (z.B. Flysticks) weiterhin Maus, Tastatur und Gamepads umfassen. Die Navigation mit solchen Spezialgeräten kann durchaus effizient erfolgen, erfordert aber zumeist einen gewissen Lernaufwand. Da solche Geräte bei einer wachsenden Anzahl an Funktionen schnell an ihre Grenzen stoßen, werden sie häufig durch GUIs er-

gänzt. Diese können für Präsentationszwecke jedoch störend sein, weil sie den eigentlich darzustellenden Inhalt überlagern.

Daraus folgen zwei wesentliche Problemstellungen. Zum einen soll eine einheitliche Nutzung von virtuellen Szenarien für unterschiedliche Ausgabemedien ermöglicht werden. Zum anderen sollen störende GUI-Elemente reduziert werden. Eine flexible Lösung stellt die Repräsentation von Funktionen auf externen Displays dar. Dabei wurde die Interaktion in einer Virtual Reality (VR) Umgebung mit Stift und digitaler Palette von Benutzern besser bewertet als getrackte Hand- und Armbewegungen (Bowman & Hodges, 1999). Die konstante physische Präsenz der mit der Hand gehaltenen Palette und die Vertrautheit der Nutzer mit dieser Metapher sind dabei zwei Hauptvorteile. *Pen-and-Paper User Interfaces* (PPUIs) (Steimle, 2009) bieten dabei diverse Vorteile gegenüber aktiven Displays, wie z.B. eine preiswerte Herstellung, einfache Vervielfältigung, hohe Flexibilität und Handlichkeit, sowie die Unabhängigkeit von der Bildschirmgröße und Nutzungsumgebung (z.B. Desktopbildschirme, CAVE-Systeme und 360°-Projektionen).

Der Fokus unserer Arbeit liegt auf der Entwicklung neuartiger Interaktionstechniken mit digitalen Stiften und Papierpaletten für die Arbeit in virtuellen Welten, wobei wir uns vorläufig auf Navigations- und Systemkontrollaufgaben konzentrieren. Dieser Artikel ist wie folgt gegliedert. In Abschnitt 2 werden verwandte Arbeiten vorgestellt, die sich mit digitaler Stift- und Papierinteraktion beschäftigen. Konzepte für die Erweiterung der Interaktion mit PPUIs für virtuelle Umgebungen werden in Abschnitt 3 beschrieben, und in Abschnitt 4 werden zusätzliche Implementierungsdetails präsentiert. In Abschnitt 5 stellen wir eine formative Benutzerstudie vor, die wichtige Indizien für die Weiterentwicklung des vorgestellten Systems geliefert hat. Schließlich folgen in Abschnitt 6 eine Zusammenfassung der präsentierten Ergebnisse und ein Ausblick auf zukünftige Arbeiten in diesem Gebiet.

2 Verwandte Arbeiten

Im Bereich der Interaktion mit VR-Systemen gibt es diverse Ansätze, in denen stift- oder palettenartige Eingabegeräte genutzt werden. So beschreiben Bowman et al. (2004) *physical tools*: reale physische Objekte mit darauf bezogenen virtuellen Repräsentationen. Die Position der Objekte wird getrackt, und ein 3D Interface wird auf dessen virtueller Repräsentation angezeigt. Grundlegende erste Arbeiten dazu waren der *Virtual Tricorder* (Wloka, 1995), mit dem sich sowohl Bewegung als auch Objektmanipulation durchführen lassen und der über ein eingeblendetes Kommandomenü verfügt. Eine ähnliche Herangehensweise verfolgen Angus und Sowizral (1995), die die Metapher eines Bedientabletts mit Stift in eine VR-Umgebung übertragen. Billingham et al. (1997) stellen die *3D Palette* vor, ein im Raum getracktes Grafiktablett mit Stift. In der virtuellen Welt wird die Palette durch eine 3D-Darstellung repräsentiert, die mit verschiedenen Widgets belegt werden kann, um z.B. Objekte zu erstellen oder farblich zu verändern. Ein ähnlicher Ansatz ist das *Virtual Notepad* (Poupyrev, Tomokazu, & Weghorst, 1998), das die Eingabe von Schrift auf einer digitalen Palette ermöglicht. Mit der steigenden Leistungsfähigkeit von Handheld Geräten wurden auch diese als Interaktionsgerät für VR-Systeme eingesetzt. Ein Beispiel ist die Anbindung

eines *PalmPilot* PDAs an ein VR-System, der die Einbindung eines 2D-Interfaces in 3D ermöglicht (Watson, Darken, & Capps, 1999), ohne dabei tendenziell unpassend wirkende 2D Menüs in der 3D Szene einzublenden.

Im Bereich der Interaktion mit PPUIs in VR-Systemen ist bisher wenig bekannt. Voraussetzung von PPUIs ist häufig die Anototechnologie¹. Grundlage dafür sind ein aufgedrucktes Anotomuster und ein digitaler Stift, der mit einer Infrarot-Kamera und Bildverarbeitungssoftware ausgestattet ist, die es ihm ermöglichen, Aufnahmen vom zugrundeliegenden Anotomuster zu machen. Auf Grund der besonderen Struktur des Musters ist es möglich, die absolute Position des Stifts auf dem Papier zu bestimmen. Eine direkte Konvertierung von Bildschirm-GUIs zu einem papierbasierten Interface ist nur bedingt empfehlenswert (Steimle, Brdiczka, & Mühlhäuser, 2009). Der Einsatz von PPUIs für Systemkontrollaufgaben ist relativ losgelöst von der zugrundeliegenden Dimension der Umgebung. So stellen Signer und Norrie (2007) *PaperPoint* vor, um Powerpoint-Präsentationen mittels digitalem Stift und Papier zu steuern. Die mit dem Anoto-Punktmuster auf Papier ausgedruckten Präsentationsfolien können dazu genutzt werden, um bspw. Folien mit dem Stift auszuwählen und Funktionen zu starten. Nach einem ähnlichen Prinzip können auch Papierpaletten für die Auswahl von verschiedenen Diagrammelementen für die Software-Modellierung genutzt werden (Dachselt, Frisch, & Decker, 2008).

Alles in allem gibt es diverse Ansätze für die Kombination von Stift- und Palettenvarianten im Kontext von VR-Umgebungen. Allerdings sind diese größtenteils kostspielig und verwenden getrackte elektronische Geräte. Die Verwendung von Papier-Interfaces für 3D-Interaktion wurde bisher noch nicht vorgestellt. Zudem wurde wenig über haptische Hilfselemente berichtet, die die Interaktion mit in der Hand gehaltenen Paletten vereinfachen könnten. Somit bietet dies einen Ansatzpunkt für weitere Untersuchungen.

3 Konzept

Unser Konzept konzentriert sich auf die Entwicklung eines handlichen und robusten PPUIs, das benutzt werden kann, um sich in virtuellen 3D Umgebungen zu bewegen und um Kontrollaufgaben (wie z.B. den Start von Rundflügen, die Einnahme von bestimmten Ansichten, und den Abruf von Informationen) auszulösen. Nachdem die mögliche Interaktion mit dem PPUI in Abschnitt 3.1. spezifiziert wird, konzentrieren sich die weiteren Ausführungen auf folgende Annahmen bzw. Herausforderungen:

- PPUIs sind für intuitive Interaktionen geeignet (geringer Lernaufwand)
- PPUIs können mehrere Interaktionsaufgaben integrieren
- PPUIs ermöglichen die Interaktion mit VR-Szenarien unabhängig von konkreten Nutzungsumgebungen

¹ Anoto Group AB, <http://www.anoto.com/>

3.1 Interaktion mit dem PPUI

Das PPUI soll sowohl zur Navigation durch die virtuelle Szene als auch zur Anwendungskontrolle genutzt werden. Für die Anwendungskontrolle sollen diskrete Bereiche (Buttons) auf dem Papier verwendet werden, die es ermöglichen, ähnlich wie bei virtuellen Buttons, diese durch Berührung zu aktivieren oder zu deaktivieren.

Bei der Navigation in VR-Szenen unterscheiden wir zwei Hauptkategorien: die direkte und die indirekte Navigation. Bei der indirekten Navigation kann man mittels digitalen Stifts einen Start- und Endpunkt bzw. eine Route auf einer ausgedruckten Übersichtskarte der Szene einzeichnen. Für die direkte Navigation durch die Szene gehen wir von einer vereinfachten Variante aus: der Benutzer kann die virtuelle Kamera frei in einer horizontalen Ebene (vorgegebene Höhe; Springen oder Fliegen ist nicht möglich) bewegen, wobei sich die Kamera immer in Blickrichtung bewegt. Somit genügt es, zwei Aufgaben für die Navigation zu unterscheiden: die Rotation und die Beschleunigung der Kamera. Für beide Aufgaben können kontinuierliche Bereiche auf der Papierpalette definiert werden, auf denen der Benutzer den Stift bewegen kann. Wird der Stift also bspw. auf diesem Bereich nach links bewegt, soll dies zu einer Linksdrehung der Kamera führen. Sobald der Stift den Navigationsbereich verlässt, stoppt die Kamerabewegung, um zu vermeiden, dass die Kamera sich zu weit bewegt.

3.2 Zusammenführung verschiedener Eingabemodalitäten

PPUIs stellen eine flexible Möglichkeit dar, Funktionen von verschiedenen Quellen zu vereinen, so z.B. von GUIs, aber auch anderen Eingabegeräten wie Maus und Keyboard. Tasten-Kombinationen, die ein Benutzer lernen muss und somit einen höheren mentalen Aufwand bedeuten, könnten so übersichtlich auf einer Palette positioniert werden, um ihren Wiedererkennungswert zu erhöhen und einen Wechsel zwischen verschiedenen Eingabemodalitäten zu vermeiden.

3.3 Interaktions-Feedback

Für haptisches Feedback können Führungshilfen, wie z.B. Aussparungen und Halterungen, eingesetzt werden, um die Interaktion zu erleichtern. Hachet und Kulik (2008) nutzen bspw. einfache Gummibänder für elastisches Feedback für die Stiftinteraktion mit einem PDA. Für die kontinuierliche Bewegung sind solche Führungsunterstützungen hilfreich, da der Blick auf der VR-Projektion verweilen kann, ohne die visuelle Aufmerksamkeit zwischen beiden Modalitäten wechseln zu brauchen. Dieser Vorteil soll insbesondere für die verbesserte Navigation genutzt werden, indem Aussparungen und elastisches Feedback bspw. besseren Aufschluss über die Stiftposition zur Anpassung der Kamerabewegung geben sollen.

3.4 Erstellung und Gestaltung des PPUI

Unser Konzept für das Design eines PPUI basiert auf dem Ansatz, dem Benutzer eine feste Unterlage zur Verfügung zu stellen, in die die mit verschiedenen Menüelementen bedruckten

Papierbögen flexibel und nach Bedarf eingespannt werden können. Zusätzlich sollen Haltegriffe und Befestigungen für den Stift berücksichtigt werden. Neben der Erstellung einer robusten Interaktionsunterlage müssen auch Aspekte hinsichtlich des Interfacedesigns beachtet werden. So muss Rücksicht darauf genommen werden, dass Menüelemente groß genug entworfen werden, damit die Positionserkennung des digitalen Stifts nicht beeinträchtigt wird. Die Gestaltung der Papierbögen soll auf einem modularen Ansatz basieren. Jedes Modul kann dabei aus einer Reihe von Interfaceelementen bestehen, die in ihren Wechselwirkungen abgeschlossen sein sollten. Die Module sollen ähnlich wie beim Aufbau von Webseiten (Stapelkamp, 2007) frei positionierbar an einem Rastergitter ausgerichtet werden.

4 Umsetzung

Die softwaretechnische Umsetzung des Konzeptes erfolgte auf Basis der VDT-Plattform des Fraunhofer IFF. Mit Microsoft Visual Studio 2005 wurden verschiedene Plugins in C++ mit der internen Entwicklungsbibliothek entwickelt, welche auf OpenSG², einem OpenGL basierten Open Source Szenengraphensystem, aufsetzt. Als digitaler Stift wurde der Anoto ADP-301 Stift verwendet.

Das Anwendungsszenario war ein virtuelles Stadtszenario der Lutherstadt Eisleben, die auch für die Benutzerstudie (siehe Abschnitt 5) verwendet wurde. Die Navigation erfolgte in diesem Modell bisher durch Maus, Tastatur und Gamepad. Die Systemkontrolle (Auslösen von Aktionen) erfolgte mittels einer GUI, die über der Szene dargestellt wurde. Diese Interaktionsmethoden wurden nun durch ein PPUI ersetzt, indem geeignete Menüelemente auf das Papierinterface gedruckt wurden (siehe Abb. 1). Dabei haben wir uns vorerst auf die direkte Navigation konzentriert.

Neben einer einfach gehaltenen Variante A (Abb. 2a) wurden auch Aussparungen (Abb. 2b) für eine unterstützte Navigation verwendet. So wurde mittig eine gebogene Aussparung für eine unterstützte Rotation angelegt, während kleinere rechteckige Aussparungen links für zusätzliche Systemkontrollfunktionen erstellt wurden. Die dritte Variante (Abb. 2c) integriert elastische Gummizüge, die ebenfalls als Führungshilfen für eine verbesserte Kamerarotation dienen sollen. Dabei gliedert sich der Navigationsbereich jeweils in zwei Teile, um die Palettenalternativen später besser vergleichen zu können.

Die ausgedruckten Interfaceelemente wurden mit Hilfe eines eigens entwickelten Interface-designprogramms entworfen, das es ermöglicht, in Bezug zu dem zugrundeliegenden Anotomuster Menüelemente direkt mit Systemfunktionen zu kombinieren. Auf diese Weise ist es möglich, individuelle PPUIs für unterschiedliche Szenarien zu erstellen. Für die Navigation wurden verschiedene Varianten von diskreten und kontinuierlichen Elementen umgesetzt und erprobt. Basierend auf diesem PPUI war das virtuelle Stadtmodell schließlich ebenso funktional wie mit den ursprünglichen Interaktionsmethoden (u.a. GUI und Maus).

² Siehe <http://www.opensg.org>

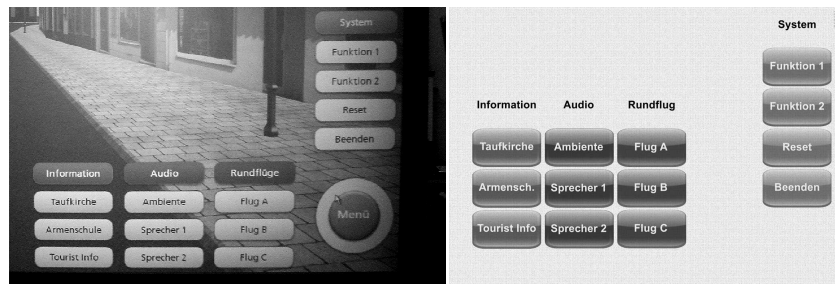


Abbildung 1: Gegenüberstellung vom GUI im Szenario und vom Paletteninterface.

5 Formative Benutzerstudie

Um die vorgestellten Prototypen hinsichtlich ihrer Benutzbarkeit und Benutzerfreundlichkeit hin zu testen, wurde eine Benutzerstudie durchgeführt. Dabei wurden zum einen die PPUI-Interaktion mit traditionellen Eingabegeräte (Gamepad und Maus) verglichen, da diese bisher für die Benutzung der VDT-Plattform verwendet wurden. Zum anderen wurden verschiedene Designalternativen verglichen. Der experimentelle Aufbau, die Durchführung und Ergebnisse werden im Folgenden beschrieben.

5.1 Teilnehmer

An der Studie nahmen 14 Personen teil, die alle männlich, zwischen 22 und 33 Jahren alt (Mittelwert $[M] = 25,8$; Standardabweichung $[SD] = 3,17$) und Rechtshänder waren. Es wurden zwei Eingabegerätekombinationen unterschieden: (1) Gamepad, Maus und GUI und (2) Stift und Palette. Die Teilnehmer wurden daher gleichmäßig auf zwei Gruppen verteilt, um die Eingabegerätekombination, mit der die Aufgaben zu Beginn bearbeitet wurden, zu variieren. Die Teilnehmer wurden zu ihren Erfahrungen mit virtuellen Welten und digitalen Stiften befragt. Dabei stellte sich heraus, dass sich die Teilnehmer häufig mit virtuellen 3D Umgebungen beschäftigen ($M = 20$ Stunden/Woche; $SD = 9,07$), während sie eher weniger Erfahrung mit digitalen Stiften haben ($M = 2,36$; $SD = 1,28$ basierend auf einer 5-Punkt-Likert-Skala mit *keine Erfahrung* [1] bis *umfassende Erfahrung* [5]).

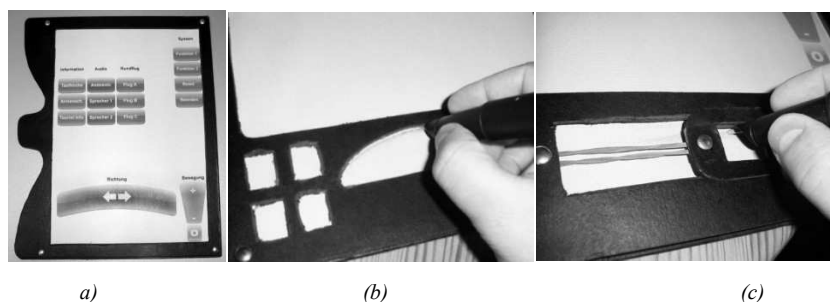


Abbildung 2: Drei Varianten der entwickelten papierbasierten Eingabepaletten. Die Navigation wird durch Führungsschienen/Aussparungen (Mitte) und durch haptisches Feedback (Rechts) unterstützt.

5.2 Materialien

Die Studie beinhaltete zwei Abschnitte. Im *Versuchsteil I* sollten die Teilnehmer drei Aufgaben mit den verschiedenen Eingabegerätekombinationen erfüllen. Dabei begann Gruppe A mit Gamepad (für die Navigation in der 3D Szene), Maus (zur Bedienung des GUIs) und GUI, während Gruppe B mit Stift und Palette (Abb. 2a) anfang. Eine kurze Zusammenfassung der Aufgaben ist im Folgenden aufgeführt:

1. **Einfache Navigation:** Bewegung zu einem vorgegebenen Zielpunkt
2. **Ausführen von Systemkommandos:** u.a. das Starten von automatischen Rundflügen und das Einblenden von zusätzlichen Informationen
3. **Navigation mit Systemkontrolle:** eine Kombination von Aufgabe 1 und 2

Im *Versuchsteil II* sollten die drei PPUI-Prototypen (siehe Abb. 2) miteinander insbesondere hinsichtlich der Navigation verglichen werden. Daher sollten die Benutzer die Paletten zur freien Bewegung im VR-Szenario nutzen und ihre Eindrücke berichten.

Die Datenerhebung hinsichtlich der Benutzbarkeit und Benutzerzufriedenheit erfolgte über Fragebögen. Dazu wurde nach jedem Versuchsteil und am Ende der Studie ein Fragebogen ausgehändigt. Die Zwischenfragebögen hinterfragten u.a. ob ein bestimmtes Eingabegerät für bestimmte Interaktionsaufgaben bevorzugt wurde und ob notwendige Funktionen problemlos gefunden wurden. Im Endfragebogen sollte neben der Einschätzung der getesteten Geräte, zudem eine Beurteilung des Layouts von Palette A erfolgen.

5.3 Versuchsaufbau

Als Versuchsumgebung diente eine mobile Rückprojektionsanlage mit einer Großleinwand, auf der ein virtuelles Stadtszenario der Lutherstadt Eisleben dargestellt wurde. Da die gestellten Aufgaben im Stehen zu erfüllen waren, wurde weiterhin ein Stehtisch aufgestellt, auf dem die Maus sowie die jeweilige Aufgabenstellung in gedruckter Form für den Probanden in Reichweite lagen (siehe Abb. 3).

Nach der Begrüßung durch den Versuchsleiter mussten die Teilnehmer zuerst einen Fragebogen zu ihrem persönlichen Hintergrund ausfüllen. Der Versuchsleiter war während des Ablaufs und bei Beantwortung der Fragen im Raum und stand für Hilfestellungen zur Verfügung. Darauf folgten eine Präsentation des virtuellen Stadtszenarios und eine Beschreibung zum Studienablauf. Ein Versuchsdurchlauf dauerte etwa 40 bis 50 Minuten.

Versuchsteil I. Vor dem Start der ersten Aufgabe konnte sich jeder Teilnehmer in einer Aufwärmphase von zwei Minuten mit der zuerst zu nutzenden Eingabegerätekombination (siehe Abschnitt 5.1) und dem Szenario vertraut machen. Der Versuchsleiter erläuterte dazu technische Details der Eingabegeräte (z.B. die Zuordnung von Steuerelementen am Gamepad zu Funktionen), sowie des Szenarios. Daraufhin wurde dem Probanden die Aufgabe vorgelesen und Unklarheiten kurz erläutert. Nach Beendigung der ersten Aufgabe mit der ersten Eingabegerätekombination konnten die Teilnehmer sich zwei Minuten lang mit der zweiten Gerätekombination vertraut machen, um dann die Aufgabe zu wiederholen. Die Durchführung der zweiten und dritten Aufgabe lief nach dem gleichen Schema ab, jeweils aber ohne



Abbildung 3: Der Versuchsaufbau mit einem Testteilnehmer, der mit der Palette vor der Projektion steht.

Aufwärmphase. Nach jeder Aufgabe wurde der gleiche Zwischenfragebogen vorgelegt, um einen Vergleich zwischen den verschiedenen Aufgaben ziehen zu können.

Versuchsteil II. Im zweiten Teil der Studie wurden den Teilnehmern zwei alternative Eingabepaletten vorgestellt (siehe Abb. 2). Nach einer kurzen Erläuterung konnten die Teilnehmer die Paletten ausprobieren, indem sie sich frei damit im Szenario bewegen konnten. Im Anschluss darauf folgten ein kurzer Fragebogen zu diesem Testteil und der Endfragebogen der Studie.

5.4 Ergebnisse & Diskussion

Wie nach Signer und Norrie (2007) bereits zu erwarten war, stellte sich die Eingabemethode mit Stift/Palette als geeignet heraus zum Ausführen von Systemfunktionen, auf die sonst über eine GUI-Lösung zugegriffen werden müsste. So würden 71% der Befragten das Stift- und Papiersystem verwenden für das Ausführen von Systemkommandos. Lediglich 14% würden diese jedoch für 3D Navigation nutzen wollen. Somit scheint zumindest in der aktuellen Umsetzung das System noch nicht geeignet für 3D Navigation zu sein. Dies könnte u.a. an zu schnellen Bewegungsänderungen der Kamera, zum anderen an Problemen mit dem Stifttracking gelegen haben. Eine Hauptfehlerquelle bei der Benutzung war die Verdeckung der Stiftkamera an den Randbereichen der Halterung. Eine Lösung wäre hier ein höheres Ansetzen der Halterung am Stift, die über der Kamera liegt. Am interessantesten für die weitere Verbesserung der Navigation stellte sich der Palettenprototyp mit elastischer Führungsunterstützung (siehe Abb. 2c) heraus.

Die Möglichkeit, durch die beiden mit Hilfselementen versehenen Paletten nicht mehr so oft zur Korrektur auf die Palette schauen zu müssen, wurde von den Teilnehmern erkannt und positiv kommentiert. Obwohl der Blickwechsel zwischen der Palette und der 3D-Szene nicht als störend empfunden wurde ($M = 2,5$; $SD = 1,13$ mit [1] *nicht störend* bis [5] *störend*), fiel der Wechsel bei Navigationsaufgaben dennoch negativer auf ($M = 2,82$; $SD = 1,30$). Dies könnte wieder in Zusammenhang mit zu schnellen Bewegungsabläufen in der Szene stehen.

Die Teilnehmer sollten das UI-Layout der im ersten Versuchsteil genutzten Palette anhand von 5-Punkt-Likert-Skalen mit zwei sich gegenüberstehenden Eigenschaftspaaren beurteilen. Eine deutliche Tendenz zeigte sich bei den Eigenschaftspaaren *effizient - überladen* und *ungeordnet - sortiert*. Das gitterartige UI-Layout der Palette wurde dabei als effizient ($M = 2,00$; $SD = 0,96$) und sortiert ($M = 4,43$; $SD = 0,85$) bewertet. Des Weiteren sollten die Teilnehmer anhand der Eigenschaftspaare *präzise - unpräzise*, *anstrengender - komfortabler* und *intuitiver - unintuitiver* einen Vergleich zwischen der Navigation mit Gamepad und Stift ziehen. Die Navigation mit dem Stift wurde dabei als unpräziser ($M = 3,74$; $SD = 1,2$), anstrengender ($M = 2,0$; $SD = 1,04$) und unintuitiver ($M = 3,43$; $SD = 0,85$) bewertet. Dabei ergaben die qualitativen Antworten, dass vorrangig die Richtungsänderung mit dem Stift dies negativ beeinflusste.

Somit ergeben sich verschiedene Verbesserungsmöglichkeiten für das vorgestellte System. Ein Hauptkritikpunkt betraf die Navigation mit dem PPUI. Für diesen Zweck sollten die Maximalgeschwindigkeit und Beschleunigung der Kamerabewegung anpassbar sein, um zu schnelle Bewegungsabläufe zu vermeiden und die Orientierung des Benutzers zu verbessern. Zum anderen sollten die haptischen Palettenelemente hinsichtlich einer guten Anotomustererkennung optimiert werden (Vermeidung von Verdeckungen).

6 Zusammenfassung

In diesem Artikel wurde ein Ansatz vorgestellt, um mit Hilfe eines digitalen Stift- und Papiersystems eine alternative Interaktionsmöglichkeit für virtuelle Umgebungen zu bieten. Dies stellt eine flexible, kostengünstige, handliche und vom Projektionssystem unabhängige Alternative zu traditionellen Eingabegeräten, wie Maus und Gamepad, dar. Zudem lassen sich haptische Hilfselemente einfach integrieren für eine bessere Führungsunterstützung. Für diesen Zweck wurden verschiedene Prototypen für digitale Pen-and-Paper User Interfaces (PPUIs) vorgestellt, die für die Navigation und Systemkontrolle in VR-Szenarien genutzt werden können. Zusätzliche haptische Hilfselemente, wie Aussparungen und elastische Führungshilfen, wurden berücksichtigt, um die Interaktion zu unterstützen. Neben der Beschreibung der Konzeption und Implementierung unseres papierbasierten Palettensystems wurde dieses in einer formativen Benutzerstudie getestet und mit traditionellen Eingabegeräten (Maus und Gamepad) verglichen. Dabei hat sich gezeigt, dass sich PPUIs sehr gut für das Ausführen von Systemkontrollaufgaben eignen, da die Interaktion als angenehmer als mit GUIs empfunden wurde. Die Navigation mittels der vorgestellten PPUI-Prototypen wurde noch nicht als intuitiv eingeschätzt, aber Verbesserungspotential wurde aufgezeigt (bspw. eine verbesserte Kamerabewegung). Somit bieten die Ergebnisse der Studie einen guten Ausgangspunkt für zukünftige Arbeiten.

Literaturverzeichnis

- Angus, I., & Sowizral, H. (1995). Embedding the 2D interaction metaphor in a real 3D virtual environment. *SPIE (Vol. 2409)*, S. 282--293.
- Billinghamurst, M., Baldis, S., Matheson, L., & Philips, M. (1997). 3D Palette: A Virtual Reality Content Creation Tool. *VRST '97* (S. 155-156). ACM.

- Bowman, D. A., & Hodges, L. F. (1999). Formalizing the Design, Evaluation, and Application of Interaction Techniques for Immersive Virtual Environments. *Journal of Visual Languages and Computing (Vol. 10)*, 37-53.
- Dachselt, R., Frisch, M., & Decker, E. (2008). Enhancing UML sketch tools with digital pens and paper. *SOFTVIS*, (S. 203-204). ACM.
- Hachet, M., & Kulik, A. (2008). Elastic Control for Navigation Tasks on Pen-based Handheld Computers. *3DUI '08* (S. 91--96). Washington, DC, USA: IEEE Computer Society.
- Poupyrev, I., Tomokazu, N., & Weghorst, S. (1998). Virtual Notepad: Handwriting in Immersive VR. *VRAIS '98* (S. 126). Atlanta: IEEE Computer Society.
- Signer, B., & Norrie, M. (2007). PaperPoint: A Paper-Based Presentation and Interactive Paper Prototyping Tool. *TEI'07*. Baton Rouge.
- Stapelkamp, T. (2007). *Screen- und Interfacedesign – Gestaltung und Usability für Hard- und Software*. Berlin: Springer.
- Steimle, J. (2009). Designing Pen-and-Paper User Interfaces for Interaction with Documents. *TEI'09*. Cambridge, UK.
- Steimle, J., Brdiczka, O., & Mühlhäuser, M. (Vol. 2, No. 3. 09 2009). CoScribe: Integrating Paper and Digital Documents for Collaborative Knowledge Work. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, S. 174-188.
- Watsen, K., Darken, R., & Capps, M. (1999). A Handheld Computer as an Interaction Device to a Virtual Environment. *International Projection Technologies Workshop*. Stuttgart, Germany.
- Wloka, M. M. (1995). The virtual tricorder: a uniform interface for virtual reality. *8th annual ACM symposium on User interface and software technology* (S. 39-40). Pittsburgh: ACM.

Danksagung

Die vorliegende Arbeit wurde vom Deutschen Ministerium für Bildung und Forschung im Rahmen des ViERforES-Projektes (BMBF, Projekt-Nr.: 01IM08003C) finanziert.

Kontaktinformationen

Dipl.-Ing. Sophie Stellmach (Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg)

Telefon: (+49-391) 67-12189

E-Mail: stellmach@acm.org