

Projizierte Benutzerschnittstellen und steuerbare Projektoren

Matthias Schicker
Medieninformatik

Ludwig-Maximilians-Universität München, Amalienstrasse 17, 80333, München
schicke@informatik.uni-muenchen.de

Betreuer: Professor Andreas Butz

Zusammenfassung. Die folgende Arbeit gibt einen Überblick über Benutzerschnittstellen, die durch einen Projektor dynamisch auf verschiedenen Oberflächen erzeugt werden. Dabei liegt der Schwerpunkt auf Technologien, die keine weiteren technischen Maßnahmen außer dem Projektor (möglicherweise im Verbund mit einer Kamera) benötigen; insbesondere werden Systeme, die auf berührungsempfindlichen Oberflächen (TouchScreens) basieren oder bei denen der Nutzer herkömmliche oder spezielle Eingabegeräte (wie Datenhandschuhe, Stifte, o.ä.) verwenden muss, nur untergeordnet betrachtet. Im Wesentlichen werden zwei Geräteklassen vorgestellt: einerseits festinstallierte, schwenkbare Projektor-Kamera-Einheiten, welche beliebige Oberflächen des Raums, in dem sie installiert sind, als Projektionsfläche verwenden, um herkömmliche Bildschirmflächen zu ersetzen oder zusätzliche Informationen zu vorhandenen Objekten anzuzeigen; andererseits kleine, tragbare Projektoren im Verbund mit Kamera und ggf. weiteren Sensoren. Interaktion erfolgt bei letztgenanntem durch Schwenken des Gerätes und Benutzung von auf diesem angebrachten Bedienelementen. Zu beiden Kategorien werden Prototypen, die wichtigsten Softwaretechniken (Bildkorrektur, Tracking, etc.) und Anwendungsbereiche vorgestellt in der Reihenfolge möglichst aufeinander aufbauender Technologien. Die Arbeit erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit; insbesondere die vorgestellten Prototypen sind als exemplarisch aufzufassen.

1 Einleitung

Digitale Projektoren (im Folgenden gelegentlich als „DP“ abgekürzt) sind traditionell statische Geräte, die hauptsächlich in Präsentationen als Ersatz herkömmlicher Dia- und Overhead-Projektoren eingesetzt werden. Für andere Zwecke scheinen sie in ihrer früheren Erscheinungsform auch kaum geeignet: Projektoren waren lange Zeit zu groß und schwer, um wirklich portabel zu sein, und zu teuer, um sie an Einzelarbeitsplätzen zu verwenden. Zusätzlich war erheblicher Kalibrierungsaufwand und - auf Grund geringer Leuchtstärke - eine spezielle Leinwand notwendig, damit überhaupt akzeptable Bildqualität erreicht werden konnte. Durch stete Weiterentwicklung und neue Technologien hat sich dieses Bild in den letzten Jahren allerdings zunehmend gewandelt: Projektoren der neuesten Generation sind klein, billig, leucht-

stark und erreichen bisher Monitoren vorbehaltene Auflösungen. So zeichnen sie die Entwicklung von Computersystemen nach: Die Ära der anfänglichen Großrechner-systeme und Mainframes wurde bald durch die Vorherrschaft von Workstations oder PCs abgelöst – denen wiederum zurzeit der Rang als dominante Rechnerform von mobilen Systemen wie Notebooks oder PDAs abgelassen zu werden scheint. Analog scheinen auch Projektoren den Sprung hin zum personalisierten Gerät zu schaffen – z.B. in Form von Heimkinoanlagen [2]. Auch der Trend zur Mobilität lässt sich deutlich erkennen: In Universitäten ist es inzwischen weitgehend üblich, dass Dozenten neben eigenen Notebooks auch eigene Projektoren mitbringen. Der tatsächliche Gebrauch des Projektors erfolgt aber weiterhin statisch.

Daneben finden sich aber auch Ansätze und erste Systeme, welche die Projektoren in weniger klassischer Weise verwenden:

- Automatisch kalibrierende Systeme: Von automatischer Keystone-Korrektur [6] über Anpassung an beliebige Projektionsflächen-Geometrien [1] bis hin zum Ausgleich optischer Eigenschaften der Projektionsfläche [13]. Erweiterung auf ad-hoc-Projektoren-Cluster und schwenkbare Projektoren [2].
- Systeme, welche die direkte Interaktion mit dem angezeigten Bild erlauben, z.B. Escritoire, SmartBoard oder Everywhere-Display (Näheres in Kapitel 2).
- Systeme, die Objekte in der Umgebung erkennen und auf sie reagieren [5][15].
- In der Hand gehaltene Systeme (siehe Kapitel 3).

...

Die folgende Arbeit gibt einen Überblick über Benutzerschnittstellen, die durch einen Projektor dynamisch auf verschiedenen Oberflächen erzeugt werden. Dabei liegt der Schwerpunkt auf Technologien, die keine weiteren technischen Maßnahmen außer dem Projektor (möglicherweise im Verbund mit einer Kamera) benötigen; insbesondere werden Systeme, die auf berührungsempfindlichen Oberflächen (TouchScreens) basieren ([17] gibt einen Überblick über diese) oder bei denen der Nutzer herkömmliche oder spezielle Eingabegeräte (wie Datenhandschuhe, Stifte, o.ä.) verwenden muss, nur am Rande betrachtet (Genaueres über diese Systeme sind in diversen anderen Arbeiten dieses Bandes zu finden). Im Wesentlichen werden zwei Geräteklassen vorgestellt: einerseits festinstallierte, z.T. schwenkbare Projektor-Kamera-Einheiten, welche eine oder mehrere Oberflächen des Raums, in dem sie installiert sind, als Projektionsfläche verwenden, um herkömmliche Bildschirmflächen zu ersetzen oder zusätzliche Informationen zu vorhandenen Objekten anzuzeigen; andererseits kleine, tragbare Projektoren im Verbund mit Kamera und ggf. weiteren Sensoren. Interaktion erfolgt bei letztgenannten durch Schwenken des Gerätes und Benutzung von auf diesem angebrachten Bedienelementen. Zu beiden Kategorien werden Prototypen, die wichtigsten Softwaretechniken (Bildkorrektur, Tracking, etc.) und Anwendungsbereiche vorgestellt, möglichst in der Reihenfolge aufeinander aufbauender Technologien.

Der rasante Fortschritt der angesprochenen Systeme und die Vielzahl der in diesem Bereich forschenden Teams lassen dabei nur eine unvollständige, exemplarischen Auswahl zu.

2 Statische Projektoren

Dieses Kapitel beschäftigt sich mit fest installierten Systemen, also Einheiten aus Projektoren und Kameras, die im laufenden Betrieb nicht bewegt werden. Dabei treten sehr unterschiedliche Konzepte und (mögliche) Anwendungsfelder zu Tage – ein deutliches Indiz für das Potential und die geringe Auslotung dieses Forschungsfeldes. Hier am Rande zu erwähnen sind Technologien, die zwar neu und innovativ sind, aber keine neuen Anwendungsbereiche eröffnen: Darunter fallen zum Beispiel aktuelle Software-Systeme, die es erlauben, das Bild mehrerer Projektoren (mit nicht zwingend gleicher Auflösung und Leuchtstärke) zu einem nahezu übergangslosen, größeren Gesamtbild zu vereinen – und das (nach ungefährender manueller Ausrichtung) mit Hilfe von Kameras fast automatisch [1]. Dennoch kann diese Technik nur eine altbekannte Aufgabe (nämlich die großflächige Darstellung von Bildern) besser erfüllen, aber per se keine neuen Verwendungszwecke eröffnen - Interessierten zu diesem Thema seien die Arbeiten von Aditi Majumder et al. empfohlen. Dasselbe gilt für die damit verwandte Technik „Virtuelle Rück-Projektion“ [2][10]: Mit Hilfe von mindestens zwei ausreichend weit voneinander platzierten Projektoren und einer Kamera wird ein Anstrahlen der Projektionsfläche simuliert, d.h. ein ausgeklügeltes Software-System kompensiert störende Schatten im Bild (siehe Abbildung 1), z.B. von einer Vortragenden Person, durch dynamische Anpassung der Videosignale zu den Projektoren. Dennoch werden die Geräte weiterhin „nur“ zur visuellen Unterstützung von Präsentationen gebraucht.



Abbildung 1: Schattenkompensation durch virtuelle Rückprojektion [10]

2.1 Tele-Graffiti

Das „Tele-Graffiti“ [3] getaufte System verwendet ähnliche Technologien, setzt diese aber für einen anderen Zweck ein. Der Prototyp besteht aus einem Projektor, der mit Hilfe eines Spiegels Bildsignale auf einen Zeichenblock werfen kann, und einer Kamera, die auf den selben Block ausgerichtet ist. Diese Konstruktion ist mit einem PC verbunden, der mit einem entfernten PC, an den der selbe Aufbau angeschlossen ist, per Netzwerk kommuniziert (siehe Abbildung 2).

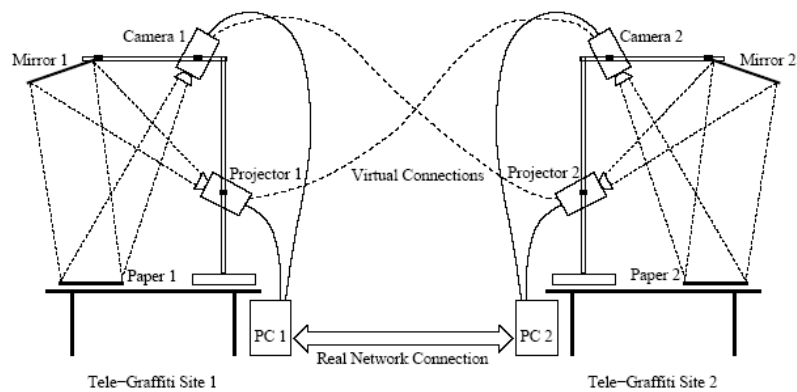


Abbildung 2: Schematischer Aufbau des Tele-Graffiti-Systems [3]

Die Idee dahinter ist nun, dass zwei räumlich von einander getrennte Benutzer auf natürlich Weise an der selben Zeichnung arbeiten können: Das auf einer Seite aufgenommene Bild wird über das Netzwerk übertragen und auf den Zeichenblock des Gegenübers projiziert (und umgekehrt). So soll auf beiden Zeichnungen ungefähr das gleiche Bild zu sehen sein.

Eine besondere Herausforderung bei diesem und vielen anderen Systemen, bei denen eine Kamera eine projizierte Fläche aufnimmt, stellt dabei das Problem der Rückkopplung [3] dar: Die Kamera nimmt sowohl tatsächliche Zeichnungen, als auch das Bild von einem Projektor und einem vielleicht gerade zeichnenden Benutzer, auf und schickt es zur Anzeige an den Projektor der Gegenseite – wo es wieder aufgenommen wird, usw. Damit werden „Altlasten“ wie z.B. die Hand des Benutzers immer wieder hin und her übertragen; das angezeigte Bild wird so schnell unbrauchbar. Selbst ohne menschliche Eingriffe ist so eine Rückkopplungskatastrophe möglich: Ist die Helligkeitswiedergabe der Kameras nicht exakt eingestellt, wird das Bild schnell heller oder dunkler bis das Auflösungsvermögen der Kamera überschritten ist – somit ist in beiden Fällen das System nicht mehr verwendbar, wenn auch der zweite Effekt durch Software-Eingriffe nahezu ausgeschlossen werden kann: In [3] wird ein Algorithmus vorgeschlagen, der einen erwarteten Helligkeitswert für jeden Pixel berechnet und die übertragenen Bilder entsprechend anpasst.

Dennoch bleibt das System höchst instabil und ist in der Praxis kaum verwendbar: Jede Helligkeitsänderung im Zeichenbereich (wie eine an- oder abgeschaltete Schreibtischlampe, ein Nutzer, der sich über das Blatt beugt, ...) kann zu einer Rückkopplungskatastrophe führen. Eine mögliche Abhilfe wäre die Verwendung von Stiften mit spezieller fluoreszierender Tinte, sodass eine mit entsprechendem Filter ausgestattete Kamera nicht von der Projektion beeinflusst wird; die Möglichkeit der Farbwiedergabe wird dadurch aber genommen. Bei Verwendung einer anderen Technologie zur Erkennung der Zeichnungen, wie z.B. berührungsempfindliche Oberflächen, besteht die Gefahr, dass der große Vorteil für den Nutzer, nämlich auf natürliche Weise zeichnen zu können, verloren geht.

Darüber hinaus ist noch zu beanstanden, dass keinerlei Interaktionsmöglichkeiten mit dem System vorgesehen sind, herkömmliche Ein- und Ausgabegeräte sind also nach wie vor notwendig – ein Problem, welchem der folgende Entwurf begegnet.

2.2 Einzelplatz-Projektor

Das sogenannte „Escritoire“¹-System [4] ist ein Vertreter der „personal projected displays“ (kurz: PPD, im Deutschen ungefähr „Einzelplatz-Projektor“), also ein Digital-Projektor für einen Arbeitsplatz.

Der Prototyp besteht aus zwei Standard-Projektoren, die wie in Abbildung 3 angeordnet sind. Dabei bestrahlt der unter dem Schreibtisch aufgestellte DP über einen Spiegel die gesamte Schreibtischfläche, während der zweite DP oberhalb des Schreibtischs nur auf einen kleinen Bereich auf der Arbeitsfläche fokussiert. Ein PC mit moderner 3D-Grafikkarte und zwei Monitoranschlüssen speist hierbei beide Projektoren. Für die Interaktion stehen ein per Ultraschall georteter Stift und ein großer Digitalisierer (ähnlich einem Grafik-Tablett) zur Verfügung.

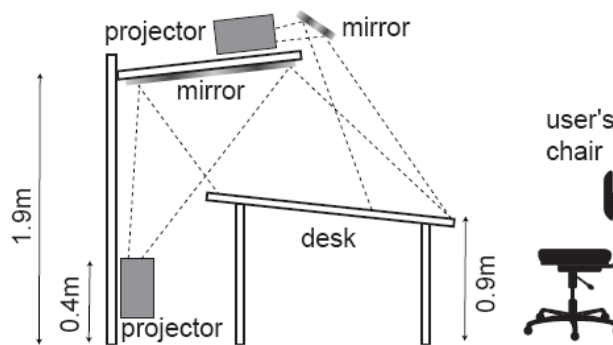


Abbildung 3: Schematischer Aufbau des "Escritoire"-Systems [4]

Eine Besonderheit bei dem „Escritoire“-System ist, dass weder Spezialprojektoren noch besondere Optiken zur Entzerrung des Bildes verwendet werden; diese Korrekturen werden durch Software und die 3D-Karte vorgenommen: Ist eine Rekalibrierung der Anzeige notwendig, werfen beide Projektoren nacheinander mehrere vom Benutzer zu berührende Ziele auf die Arbeitsfläche [4]. Mit Hilfe des Digitalisierers kann so die normale Verzerrung bestimmt und durch entsprechende Anweisungen an die Grafikkarte ausgeglichen werden. Anders ausgedrückt werden Daten über die Umgebung gesammelt und für die Bildwiedergabe verwendet – ein Konzept, das in später vorgestellten Systemen wieder auftauchen wird.

Der Ansatz mit zwei Projektoren und entsprechenden Programmen ermöglicht dem Nutzer, die Arbeitsfläche ähnlich wie einen normalen Schreibtisch zu verwenden: Mit

¹ Französisch: Schreibtisch

Hilfe des Ultraschall-Stifts können beliebige Dokumente wie ein Blatt Papier auf der Projektionsfläche des PPD umhergeschoben und sogar gestapelt werden. Möchte der Anwender ein Dokument genauer betrachten oder bearbeiten, schiebt er es von der grob aufgelösten Peripherie (also der Fläche, die nur von dem DP hinter dem Tisch beschienen wird) in das durch den zweiten Projektor höher aufgelöste Zentrum. Hier können nun mit dem von dem Digitalisierer georteten Stift Eingaben oder Anmerkungen gemacht werden.

Eine Anwendung für das System ist die gemeinsame Arbeit an einer Zeichnung wie im vorher vorgestellten „Tele-Graffiti“ durch mehrere verbundene PPDs – ohne dass die vorher beschriebenen Rückkopplungseffekte auftreten können; das Zeichnen erfolgte bei Letztgenanntem allerdings natürlicher. Außerdem macht die beschriebene Arbeitsweise das Escritoire besonders für Personen interessant, deren Hauptaufgabe in der Auswahl und Kommentierung von Dokumenten besteht (z.B. Lektoren oder Chefredakteuren). Durch entsprechend angepasste Programme kann das Anwendungsfeld auch auf Grafiker ausgeweitet werden, die häufig bereits mit Grafik-Tabletts arbeiten und sich so schnell an den ähnlichen Digitalisierer gewöhnen dürften.

Für einen tatsächlichen Praxis-Einsatz spricht dabei der geringe technische und finanzielle Aufwand: Digitale Projektoren und die angesprochenen Ortungssysteme sinken beständig im Preis, die Anforderungen an den PC liegen unterhalb der Zeit verfügbarer Standardhardware und der Restaufbau (Tisch, Spiegel, Projektorhaltungen) muss neben einer gewissen Stabilität keine besonderen Eigenschaften aufweisen, sodass der Gesamtpreis für die Apparatur unter 5.000 € liegen dürfte (vergleiche [4]). Gegen eine allgemeine Verbreitung spricht der hohe Spezialisierungsgrad: Eine der am häufigsten genutzten Computer-Anwendungen ist die Eingabe von Text, und genau hierfür scheint das Escritoire-System aufgrund noch zu langsamer und fehleranfälliger Programme zur Handschriftenerkennung ungeeignet. Allerdings sind auch Lösungsansätze wie eine ausziehbar unter dem Tisch angebrachte Tastatur denkbar. Der Schattenwurf der eigenen Hände wurde von Testpersonen bei einer durchgeführten Evaluation [4] als kaum störend empfunden und bedarf somit auch keiner Lösungsstrategien. Bisher ungelöste Kritikpunkte sind die starke Wärmeabgabe und Lärmbelästigung durch die Projektoren – ein deutlicher Störfaktor für konzentriertes Arbeiten.

2.3 SearchLight

Alle bisher vorgestellten Ansätze und Systeme haben als Gemeinsamkeit, dass die Projektions- und Eingabefläche während des Gebrauchs unverändert an der selben Stelle verharrt und somit auch den Nutzer an einen Ort bindet. Zur Einführung flexiblerer Konzepte wird nun das „SearchLight“ [5] (dt.: „Suchscheinwerfer“) vorgestellt.



Abbildung 4: Prototyp des "SearchLight"-Systems aus [5]

Der Prototyp besteht aus einer Einheit aus einem handelsüblichen DP und einer daran befestigten Kamera, die zentral an der Decke in einem Raum fest installiert ist. Diese Einheit ist so aufgehängt, dass sie um die räumliche Hochwertachse rotieren und nach oben und unten geschwenkt werden kann (siehe Abbildung 4). Dadurch ist nahezu jeder Ort im Raum – sofern keine Gegenstände wie z.B. Regale im Weg stehen – von der Kamera aufnehmbar und vom Projektor beleuchtbar.

Durch optische Marker (und adäquate Software) wird dieser Aufbau nun zu einer Suchfunktion für reale Objekte aufgewertet: Jedes Objekt, das von dem System in Zukunft gefunden werden soll, erhält einen individuellen optischen Marker an seiner der Raummitte zugewandten Seite. Die Zuordnung zwischen Objekt und Marker wird zusätzlich in einer Datenbank festgehalten. Die Software, die den „Suchscheinwerfer“ ansteuert, lässt diesen nun zeilenweise den ganzen Raum „absuchen“ und nimmt eine Folge überlappender, hochauflösender Fotos auf. Diese Bilder, zu denen die korrelierenden Rotations- und Neigungswinkel gespeichert werden, durchsucht das Programm anschließend nach den vergebenen optischen Markern und speichert die Position des Markers im Bild zusammen mit den Rotations- und Neigungsdaten zu diesem Bild in der Datenbank der suchbaren Objekte. Die Fotografie kann nun verworfen werden. Startet ein Anwender nun eine Suchanfrage nach einem gefundenen Objekt (bei nicht gefundenen erhält er eine Fehlermeldung), stellt die Software die Projektor-Kamera-Einheit auf die gespeicherten Rotations- und Neigungswerte ein und lässt den Projektor dann an der gespeicherten Position im aufgenommenen Bild eine optische Hervorhebung anzeigen (z.B. eine leuchtende Ellipse) [5]. Wurde das Objekt seit dem letzten Suchvorgang nicht bewegt, sollte es nun beleuchtet und damit schnell auffindbar sein.

Ein tatsächlicher Einsatz des Systems in realen Umgebungen scheint unwahrscheinlich, da nur sehr spezielle Umgebungen und Objekte in Frage kommen: Die markierten Objekte müssen eine bestimmte Größe haben, um überhaupt markiert werden zu können, und sie müssen immer in der selben Orientierung (nämlich mit dem Marker zur Raummitte) im Raum platziert werden; Bibliotheken würden diese Anforderungen erfüllen. Allerdings sind Bibliotheken normalerweise mit stehenden

Regalen ausgestattet, wodurch manche Bücher einfach ignoriert oder für jede Regalreihe „SearchLights“ installierten werden müssten. Außerdem ist die Anzahl zuverlässig unterscheidbarer optischer Marker durch deren geringe Größe und perspektivische Verzerrungen der Fotos begrenzt und wahrscheinlich für Bibliotheken nicht ausreichend. Darüber hinaus ist das System durch unachtsame Nutzer, die die Gegenstände falsch orientiert oder verdeckt ablegen, verwundbar. Zuletzt bedingt die Pflege der Objekt-Datenbank einen deutlichen Wartungsaufwand. Positiv herzuheben ist allerdings, dass das System sonst keinerlei Kalibrierungsarbeiten oder dreidimensionaler Nachmodellierung des Raums notwendig macht.

2.4 Tragbare Projektionsflächen

Das nun vorgestellte System der „tragbaren Projektionsflächen“ [6] gleicht im technischen Aufbau dem gerade beschriebenen „Suchscheinwerfer“ (siehe Abbildung 4), erreicht aber durch andere Programme und Algorithmen ein neues Anwendungsgebiet und lässt auch direktere Interaktion mit der Projektion zu. Allerdings erfordert es für die anfängliche Kalibrierung weitere Kameras.

Für das Problem der perspektivischen Korrektur von projizierten Bildern werden bei diesem System gleich zwei Lösungsstrategien verwendet. Vorauszuschicken ist, dass gerade Linien, die von einer Lichtquelle aus auf eine gerade Oberfläche perspektivisch projiziert werden, wieder auf Geraden abgebildet werden (von einem beliebigen Standort aus gesehen). Die Transformation, die die Gerade dabei erfährt, kann durch eine invertierbare 3×3 -Matrix dargestellt werden. Durchläuft die Gerade vor der Projektion die zu dieser inverse Matrix, wird die Gerade so dargestellt, als würde die Oberfläche senkrecht bestrahlt [6].

Mit diesem Vorwissen und der Erkenntnis, dass die meisten Oberflächen in Räumen eben sind, haben S. Borkowski et al. [6] folgendes Verfahren in zwei Phasen zur Darstellung entzerrter Bilder auf beliebigen (ebenen) Oberflächen in einem Raum entwickelt: Die Projektor-Kamera-Einheit fährt wie beim „SearchLight“ den Raum in diskreten Schritten zeilenweise ab und strahlt dabei ein Gittermuster aus farblich codierten Linien aus. Weitere im Raum befindliche Kameras (für eine Vollautomatisierung des Kalibrierungsprozesses sind weitere steuerbare Kameras nötig!) nehmen die bestrahlten Flächen auf und geben die Bilder an den zentralen Rechner weiter. Dort erkennen spezielle Algorithmen, wo die Linien „abknicken“; aus der farblichen Kodierung der Linien kann nun bestimmt werden, wo die Umrisse einer Oberfläche liegen. Diese Informationen werden zusammen mit Rotations- und Neigungsdaten des Projektors gespeichert und bilden so eine genaue Umgebungskarte von Oberflächen unterschiedlicher Orientierung. Zur Feststellung, welche genaue Orientierung eine Oberfläche hat, wird ein Algorithmus verwendet, dessen Erklärung den Rahmen dieser Arbeit sprengen würde – genauere Informationen finden sich unter [6], [18] und [19]. Dieser Algorithmus verwendet allerdings auch nur die angeführten Gerätschaften und liefert als Ergebnis hinreichend genaue Transformationsmatrizen für jede gefundene Oberfläche ausreichender Größe.

Das gerade vorgestellte Verfahren ist automatisierbar und sehr flexibel, aber prinzipiell langsam und ungeeignet, perspektivische Korrekturen für mobile Projektions-

flächen zu errechnen. Für diese Aufgabe verwenden S. Borkowski (et al.) eine andere Lösung. Diese braucht zwar keine weiteren Kameras im Raum außer der auf dem DP montierten, stellt dafür aber Ansprüche an die verwendete Projektionsfläche: nur rechteckige, helle Flächen mit deutlich abgesetztem dunkleren Rand (siehe Abbildung 5) können erkannt werden. Wie im ersten Verfahren ist auch hier das Ziel, eine Transformationsmatrix für die Projektionsfläche anzugeben. Durch die Einschränkungen bei den geeigneten Zielen der Projektion reicht es aber nun, die vier Ecken der Fläche zu verfolgen, da aus diesen die gesuchte Matrix direkt erstellt werden kann. Sind die Ecken erkannt, übernimmt ab dann ein optischer Algorithmus (eine genaue Beschreibung findet sich unter [6]) die Verfolgung derselben. Zusätzlich wird der Schwerpunkt dieser vier Punkte berechnet und seine Abweichung vom Zentrum des aufgenommenen Bildes zur Nachführung der Projektor-Kamera-Einheit herangezogen. Somit wird das darzustellende Bild beständig an die herumgetragene Fläche angepasst.

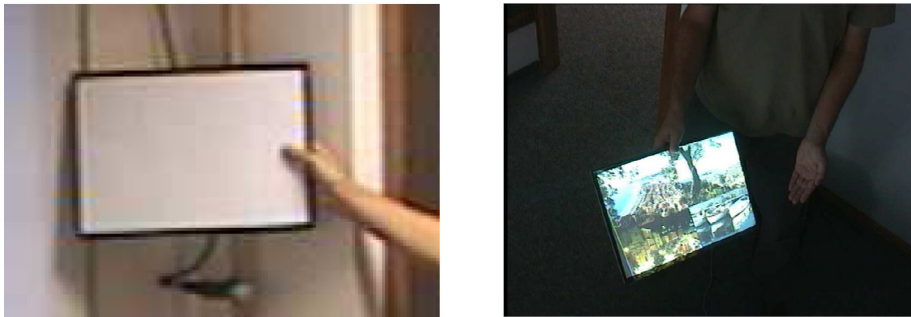


Abbildung 5: *links:* eine tragbare Projektionsfläche; *rechts:* die selbe Fläche im mobilen Betrieb [6]

Das Zusammenspiel dieser beiden Techniken kann nun für den virtuellen Transport des darzustellenden Bildes eingesetzt werden: Angenommen, eine beliebige statische Oberfläche im Raum wird als Bildschirm verwendet, der Nutzer möchte aber, dass das Bild auf einer anderen Oberfläche dargestellt wird, dann genügt es, eine portable Fläche, die den oben angegebenen Restriktionen entspricht, in den Erfassungsbereich der Kamera einzuführen. Das System erkennt die portable Fläche und „überträgt“ die Projektion auf diese (siehe Abbildung 5, rechts). Nun trägt der Anwender den tragbaren Bildschirm zur gewünschten Ziel-Oberfläche und verharret dort für einen Augenblick. Dies wertet das System als weiteren Übertragungswunsch und stellt von nun an das Bild auf der Fläche dar, die der größte Teil des getragenen Schirms überdeckt.

Eine Verwendung des Systems für sich genommen ist in der Praxis noch kaum zu erwarten: Zwar sind die Anschaffungskosten der nötigen Geräte gering, v.a. da nur Standard-Produkte benutzt werden, und die vorgestellten Technologien funktionieren nachweislich – eine tatsächliche Anwendung ist aber nicht auszumachen. Der Einsatz als Substitution für herkömmliche Monitore ist zwar denkbar, dürfte sich aber in der Praxis kaum lohnen.

Vor allem bestimmte Schwächen des Systems erschweren einen sinnvollen Einsatz. So ist zwar die Darstellung auf nahezu allen Oberflächen des Raums möglich, aber nur für wenige sinnvoll: Die perspektivische Korrektur wird durch eine Vorverzerrung des Bildes erreicht, d.h. nur noch ein kleinerer Teil des Auflösungsvermögens des Projektors kann für die Darstellung verwendet werden – die tatsächliche Bildauflösung sinkt. Zudem bedingt die Vorverzerrung bei manchen vormals geraden Linien ein Kippen in eine bestimmte Richtung, was sich vor allem bei Text als störend erweist. Diese Effekte verschlimmern sich je spitzer der Winkel zwischen Oberfläche und optischer Achse des DPs wird. Die verbliebene Zahl adäquater Projektionsflächen wird weiterhin durch die optischen Eigenschaften der Oberfläche reduziert: Wild gemusterte Teppiche sind so ungeeignet wie (saubere) Glastische oder Wandpaneele in Klavierlack-Optik. Da außerdem die Interaktion mit dem System (außer dem „Übertragen des Bildes“) weiterhin über klassische Eingabemedien erfolgt, ist der Nutzer für klassische Interaktionen an seinen normalen Arbeitsplatz gebunden. Besonders hervorzuheben ist dennoch die einfache Kalibrierung im Vergleich mit anderen Systemen, die eine vollständige dreidimensionale Nachmodellierung des Raums benutzen und dementsprechend unflexibler sind, und der intuitive Wechsel zwischen den Projektionsflächen. Wie viel Potenzial der Ansatz tatsächlich hat, zeigt der folgende Prototyp.

2.5 Der „Everywhere Displays Projektor“

Der „Everywhere Displays Projektor“ (dt.: „Überall Bildschirme Projektor“, im Folgenden mit „EDP“ abgekürzt) wurde von IBM als Teil des Gesamtkonzeptes „BlueSpace“ [7], einem Entwurf des Büros der Zukunft, vorgestellt und seitdem fortlaufend weiterentwickelt [8][19]. Tatsächlich ist der EDP das erste Konzept gewesen, bei dem die Projektionsfläche nicht statisch ist, sondern während des Betriebs dynamisch und automatisch geändert wird – so ist durch den EDP das Forschungsfeld der steuerbaren Projektoren überhaupt erst eröffnet und die Grundlage für die zuletzt vorgestellten Prototypen geschaffen worden. Im Folgenden wird nur auf den zuletzt präsentierten Entwicklungsstand des Systems eingegangen. Der Aufbau der Projektor-Kamera-Einheit folgt demselben Ziel wie bei dem vorher beschriebenen Entwurf, nämlich der Projektion von Computerausgaben auf möglichst alle Flächen eines Raumes, erreicht dies aber über einen dreh- und schwenkbaren Spiegel (siehe Abbildung 6). Angesteuert wird der EDP von einem zentralen Computer, der auch die anderen Bestandteile des „BlueSpace“-Konzeptes verwaltet [7].

Die Bildkorrektur wird durch eine Standard-3D-Grafikkarte übernommen, die auf ein dreidimensionales Modell des Raums zurückgreift. Hierbei wird der Umriss des darzustellenden Bildes als Textur auf die virtuelle Entsprechung der realen Projektionsfläche gelegt und von einer virtuellen Kamera, die sich möglichst genau an der Position des realen EDP befindet aufgenommen. So erhält man einen perspektivisch verzerrten Umriss des Bildes, der wie im Abschnitt 2.3 zur Erstellung einer Transformationsmatrix des Bildes genutzt wird [7][19].

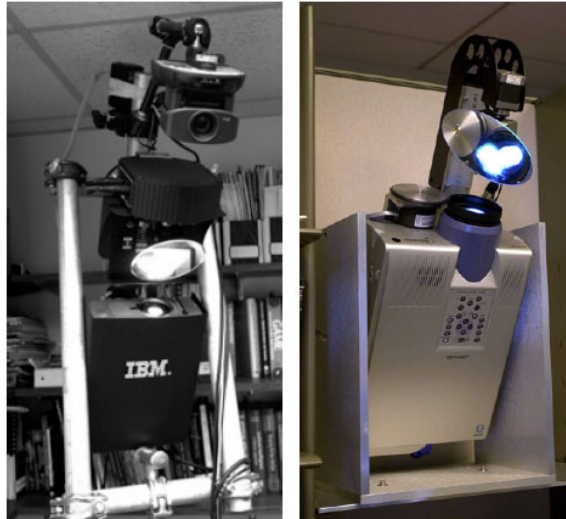


Abbildung 6: Zwei Prototypen des "Everywhere Displays Projector" [8]

Hinzu kommt, dass das EDP-System Handerkennungs-/verfolgungs- Algorithmen mit einbezieht, wodurch eine direkte Interaktion mit dem projizierten Bild möglich ist [8]. Diese Algorithmen arbeiten rein optisch, indem sie abweichende Helligkeiten in einzelnen aufgenommenen Bildern und zwischen aufeinanderfolgenden Bildern erkennen und zu einer Folge von schwarz/weiß- Bildern (schwarzer Pixel: keine Auffälligkeiten, weißer Pixel: hier ist eine Abweichung oder Änderung erkannt worden) erzeugt. Diese Daten werden nun aufbereitet und das Ergebnis mit einer Finger- oder Handvorlage verglichen (siehe Abbildung 7. Eine detailliertere Einführung gibt [11]) [8]. Auf diese Weise kann nicht nur die Hand eines Benutzers verfolgt, sondern auch Gesten erkannt werden: Ein plötzliches (optisches) Verkürzen gefolgt von einem Strecken des Zeigefingers, könnte so als Betätigen einer Schaltfläche interpretiert werden.

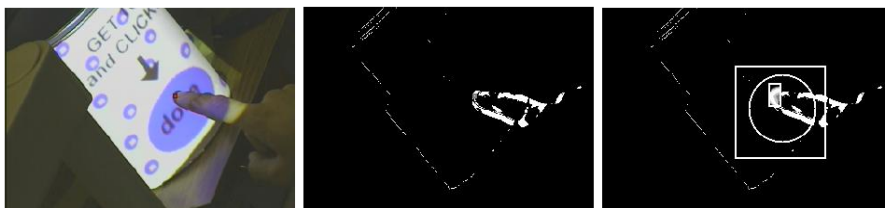


Abbildung 7: Ablauf einer Finger-Erkennung [8]. Links: aufgenommenes Bild. Mitte: Änderungsanalyse. Rechts: Interpretation der Änderung als Finger.

Ähnliche Algorithmen werden im Rahmen des EDP-Systems auch verwendet, um herauszufinden, wo sich der oder die Nutzer gerade befinden, allerdings mit größeren Toleranzrahmen und ungenauem Ergebnis: Die Erkennung der exakten Haltung

und Orientierung eines Menschen im Raum anhand von zweidimensionalen Aufnahmen überfordert immer noch jeden bekannten Bilderkennungsalgorithmus [8].

Für das EDP-System gelten die selben Einschränkungen für verwendbare Projektionsflächen, die im Abschnitt 2.3 vorgestellt wurden. Hinzu kommt noch die weitere Restriktion, dass bei manchen Flächen der Nutzer zwischen Projektor und Bild steht, und somit effektives Arbeiten durch seinen eigenen Schattenwurf beeinträchtigt. Außerdem ist der EDP-Ansatz zwar relativ flexibel, sobald die aufwändige Einrichtung erfolgt ist, kann aber nicht mit Änderungen der Inneneinrichtung des Raumes umgehen: Werden die Möbel umgestellt, ist eine erneute Modellierung notwendig (Alternativen zu dieser Modellierung werden aber bereits erforscht und getestet [19]). Zudem wird damit von den Anwendern erwartet, dass sie ihre Räumlichkeiten in penibler Ordnung halten, da herumliegende Gegenstände und Papiere vom System nicht erkannt werden und so die Bildwiedergabe beeinträchtigen. Daneben können die Gestenerkennungsalgorithmen nur vernünftige Ergebnisse liefern, wenn die Hand sehr nah an der Projektionsfläche ist und/oder die Fläche fast senkrecht bestrahlt wird – ansonsten ist Erkennung des Ortes von Gesten (z.B. welchen Button der User gerade drückt) durch fehlende Tiefeninformationen sehr ungenau.

Trotz dieser Schwächen, eröffnet die EDP-Technologie eine Vielzahl von Anwendungsfeldern. Im Rahmen eines Büros der Zukunft kann der steuerbare Projektor als Großbildschirm für spontane Besprechungen mit Mitarbeitern verwendet werden. Oder er ergänzt den bestehenden Monitor als zweiter, berührungsempfindlicher Bildschirm. Wird das Gerät gerade nicht verwendet, ist eine Anwendung als Gestaltungsmittel denkbar, wie z.B. der Anzeige eines virtuellen Fensters (vgl. Abbildung 8). Außerdem ist das System dazu in der Lage, Informationen in einer unaufdringlichen Art im peripheren Blickfeld des Anwenders zu positionieren [9]. Die Technologie kann aber auch außerhalb von Büros sinnvoll eingesetzt werden, z.B. zur Unterhaltung wie die „Fro..og!“[19]-Anwendung: Der Benutzer soll einen Frosch, der auf einer beliebigen Fläche im Raum angezeigt wird, fangen, indem er auf ihn tippt (vgl. Abbildung 8). Das System erkennt die entsprechende Handbewegung und lässt den Frosch zu irgend einer anderen Oberfläche im Raum „springen“. Das Programm ist zwar bisher rudimentär, zeigt aber die Möglichkeiten auf. Ähnlich geartete Anwendungen bieten sich als neue, intuitivere Lernsysteme für Kinder an. Im industriellen Bereich könnten EDP eingesetzt werden, um die nächsten Arbeitsschritte zu verdeutlichen, usw.

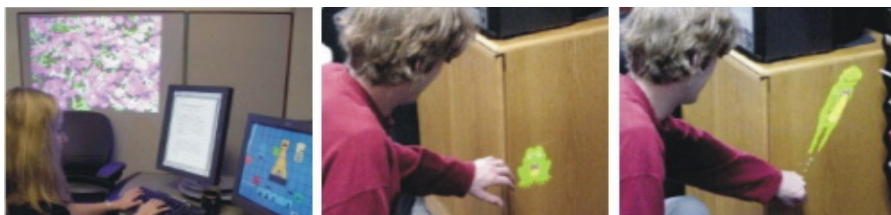


Abbildung 8: Anwendungen des ED-Projektors. Links: Darstellung eines virtuellen Fensters [19]. Mitte, rechts: Ein Benutzer spielt „Fro..og!“ [19]

2.6 Weitere Technologien

Abschließend für dieses Kapitel sollen nun noch zwei vielversprechende Technologien vorgestellt werden, die die Möglichkeit bieten, die Nutzbarkeit der bisher vorgestellten Prototypen weiter zu verbessern.

Die meisten bekannten Systeme zur Gestenerkennung müssen vor deren ersten Gebrauch von Service-Personal angelernt werden. Dabei stellen sich die Systeme tatsächlich auf die anlernende Person ein und zeigen mit dieser die größte Zuverlässigkeit bei der Erkennung. Ein neuer Ansatz von A. Licsár (et al.) [12] erlaubt nun das dynamische Training des Systems während der Anwendung, sodass auch bei ungeübten und häufig wechselnden Nutzern befriedigende Ergebnisse erzielt werden können – und das bei neun verschiedenen Gesten, die aus einer Kombination von Unterarm-, Handflächen- und Fingerbewegungen bestehen. Die dynamisch Anpassung an den Nutzer beruht auf der Einführung einer zusätzlichen Geste, die dem System mitteilt, dass eine Bewegung falsch erkannt wurde. Die Software wechselt dann in den Trainings-Modus, in dem der Nutzer die fragliche Geste wiederholen soll, um dem Programm die neuen Parameter für diese einzugeben. Wurde eine Geste richtig erkannt, d.h. die „Falsch-Erkant“-Geste wird nicht eingegeben, übernimmt das System die Parameter von der zuletzt eingegebenen Bewegung [12].

Eine weitere neue Technologie soll Projektionen unabhängiger von der verwendeten Projektionsfläche (und damit fast universal einsetzbar) machen: Anders als frühere Ansätze, die störenden Oberflächenbeschaffenheiten durch vorher festgelegte Modelle der Fläche entgegen wirken, nähert sich der vorgeschlagene Algorithmus von S. Nayar (et al.) [13] in mehreren Durchläufen einem ausgeglichenen Bild an, indem die Helligkeit (bei farbigen Bildern die Intensität einer Farbe) jedes Pixels betrachtet und mit der durchschnittlichen Helligkeit des erwünschten Bildes, des projizierten Bildes und der Helligkeit des Pixels im Originalbild verrechnet wird. Daraus ergeben sich grobe kompensierte Pixelhelligkeiten, die nun angezeigt werden. Der Vorgang beginnt von vorne, bis eine hinreichende Übereinstimmung erreicht ist [13].

3 Mobile Projektoren

Das vorausgegangene Kapitel war ausschließlich auf statische Systeme beschränkt, die z.T. durch Motoren bewegt, Bilder auf verschiedene, ebenfalls meist statische Oberflächen projiziert haben. Die Prototypen dieses Kapitels gehen einen Schritt weiter: Sie sind so konzipiert, dass sie von Benutzern einfach mitgenommen und im mobilen Betrieb verwendet werden können.

3.1 Gemischte Realität mit einem Rucksack-Projektor

Der erste hier vorgestellte Prototyp bringt alle Systembestandteile (DP, Kamera und Beleuchtungseinheit mit Infrarotfilter und mobilem PC) in einem Rucksack unter, sodass Projektor und Kamera über die Schulter des Benutzers hinweg auf eine Fläche vor diesem fokussieren (siehe Abbildung 9) [14].



Abbildung 9: Der Rucksack-Projektor in Aktion [14]

Zur Darstellung korrekter Bilder ist das System auf optische Marker, die an der Projektionsfläche angebracht sind, angewiesen. Dazu werden spezielle, das von der Lampeneinheit ausgestrahlte Infrarotlicht reflektierende Markierungen verwendet. Diese sind an den vier Ecken der notwendig rechteckigen Projektionsfläche angebracht und definieren so den Umriss des darzustellenden Bildes. Der Algorithmus zur Korrektur perspektivischer Verzerrungen arbeitet analog zu dem Algorithmus zur Erkennung tragbarer Projektionsflächen aus Abschnitt 2.4. Zusätzliche in bestimmten Mustern angebrachte Markierungen dienen als Identifikatoren und weisen so einer Oberfläche ein Anwendung zu. Interaktionsmöglichkeiten werden durch eine am Zeigefinger angebrachte Infrarot-Leuchtdiode eröffnet – inwieweit damit Gesten wie das Antippen einer Schaltfläche erkannt werden können, konnte bis jetzt nicht evaluiert werden [14].

Der bestehende Prototyp beinhaltet bisher zwei praktische Anwendungen: Einerseits ein Ringbuch, dessen einzelne Seiten mit verschiedenen Identifikatoren für unterschiedliche Applikationen wie Videobetrachtung oder ein Kartenspiel versehen sind. Andererseits ein personalisiertes schwarzes Brett: Das System erkennt an den optischen Markern des „schwarzen Bretts“ (eine ansonsten leere Fläche) die verlangte Applikation sowie Umgebungsvariablen und projiziert auf den Nutzer abgestimmte Informationen auf die Fläche [14].

Der prinzipielle Ansatz des Systems, vor dem Nutzer befindliche Gegenstände mit zusätzlichen Inhalten zu erweitern, klingt vielversprechend, ist aber bisher nur rudimentär umgesetzt: Die Verwendung von groben Mustern als Identifikatoren nimmt noch zuviel Platz in Anspruch und scheint kaum skalierbar. Ebenso genügt die Interaktion mit dem System kaum den Anforderungen eines praktischen Einsatzes. Erschwerend kommt noch die Unhandlichkeit und das Gewicht der Apparatur hinzu. Allerdings scheinen weiterentwickelte Systeme dieser Art gegenüber anderen Versuchen, die Realität durch computergenerierte Inhalte zu erweitern (wie z.B. Datenhelmen mit halbdurchlässigen Bildschirmen) zwei Vorteile zu besitzen: Der Nutzer kann direkt mit der projizierten Schnittstelle durch Gesten interagieren und anderen Personen seine gespeicherten Daten zeigen.

3.2 Der objekt-adaptive Bildschirm

Einen ähnlichen Ansatz stellt das „object-adaptive Display“ [2] (dt.: objekt-adaptiver Bildschirm, kurz: OAD) dar: Der OAD verwendet ebenfalls optische Marker zur Identifikation von Objekten und zur perspektivisch korrekten, ortsangepassten Darstellung von Informationen. Dafür werden Marker eingesetzt, die an Tortendiagramme erinnern und sich untereinander durch Farbgebung und Größe der einzelnen Segmente unterscheiden; so sind mehrere tausend von diesen eindeutig identifizierbar. Der OAD-Prototyp besteht im Wesentlichen aus einer Einheit aus Projektor, Kamera, Computer und Neigungssensor, und ist dazu gedacht, in der Hand gehalten und getragen zu werden. Dies ermöglicht die Integration einer mausartigen Bedienung: Weil das projizierte Bild durch die Marker an eine bestimmte Stelle gebunden ist, bewirkt ein Schwenken des Gerätes nur eine Verschiebung des Bildes im Pixel-Raster des Projektors – mit anderen Worten: Der Prototyp kann in bestimmten Grenzen gedreht und geneigt werden ohne das Bild zu beeinflussen. Lässt man nun einen Maus-Zeiger an einer festen Position auf der Bildfläche des Projektors darstellen, kann man durch Drehen und Schwenken des Gerätes einen Zeiger über die angezeigte Benutzerschnittstelle bewegen; bringt man nun noch Tasten an dem OAD an, stehen sämtliche Funktionen zur Verfügung, die auch mit einer Maus erledigt werden können. Dabei scheint das Zeigen mit dem Gerät intuitiver und natürlicher als indirekte Eingaben mit einer klassischen Maus – wenn auch die Bedienungs-Geschwindigkeit hinter dieser zurückstehen dürfte[2].

Der OAD, bzw. ein ausgereifterer Nachfolger, ist auf dem besten Weg, praktischen Einsatz zu finden. Das System dient in erster Linie dazu, zusätzliche Informationen zu erkannten Objekten anzuzeigen – diese Eigenschaft könnte in Verbindung mit einem stetigen Abruf neuer Daten (wie von Raskar et al. Vorgeschlagen [2]) überaus nützlich zur Verwaltung größerer Lagerhallen oder visueller Markierung von Rohr- oder Kabelverläufen bei Umbauarbeiten in Gebäuden sein. Darüber hinaus kann der OAD auch für die Bedienung einfacher Nutzerschnittstellen benutzt werden, wodurch die Verwendung als PDA-Ersatz denkbar wäre – aber erst müssen OAD-artige System deutlich leichter und handlicher werden.

3.2 RFIG Lamps

Der „RFIG Lamps“ [15] getaufte Prototyp ähnelt im generellen Aufbau und der Funktionsweise dem OAD, besitzt aber zusätzlich eine Empfangseinheit für Radiowellen, einen Beschleunigungssensor und ein Gyroskop (siehe Abbildung 10).

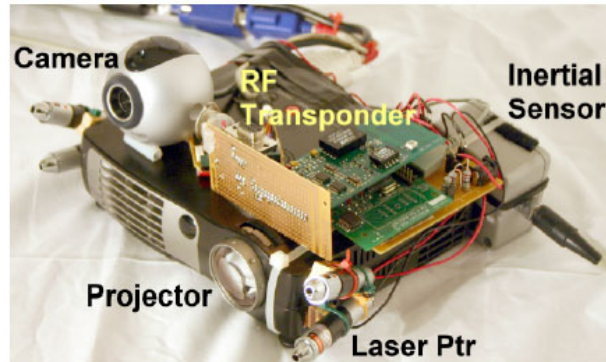


Abbildung 10: Das Innenleben des "RFIG-Lamps"-Systems

Statt optischen Markern verwendet das System aber „Radio Frequency Identity and Geometry“-Marker. Dabei handelt es sich um intelligente, mit einem Photosensor ausgestattete Mikro-Computer, die nach Aktivierung über ein Radio-Signal Ihre Identifikationsnummer und die im Moment erhaltene Lichtintensität über Radiowellen aussenden; die Intensität bei der Aktivierung wird dabei als 0 bestimmt. Diese Eigenschaft ermöglicht es dem Prototypen, die räumliche Lage der einzelnen Marker festzustellen, indem er eine Folge binärer Lichtmuster sendet, sodass jeder bestrahlte Pixel von einer eindeutigen Folge von Helligkeitswerten beleuchtet wird. Der Hauptvorteil dieser aufwändigeren Technik gegenüber optischen Markern ist die nahezu unbegrenzte Verfügbarkeit an Markern mit unterschiedlichen Identifizierungsnummern [15].

Eine andere Weiterentwicklung gegenüber dem OAD ist die „quasi-stabilisierte Projektion“, d.h. mit Hilfe der von Beschleunigungssensor und Gyroskop gelieferten Daten können Schwenks des Gerätes auch ohne optische Bezugspunkte erkannt werden. Dadurch wird es möglich, die Projektion auf einer ebenen Fläche zu bewegen, ohne dass perspektivische Verzerrungen auftreten. Alternativ kann mit dieser Technologie die Projektion auch ohne Bezugspunkte nahezu stabil gehalten werden, was insbesondere die Verwendung des Gerätes auf jeder beliebigen (ebenen) Oberfläche gestattet [15].

Die Anwendbarkeit und der Nutzen der Technik der tragbaren Projektoren in der Praxis ist mit diesen neuen Technologien weiter verbessert worden, das Problem des hohen Gewichts und der Unhandlichkeit ist allerdings geblieben. Zudem ist der Prototyp nach wie vor an ein Kabel zur Stromversorgung gebunden. Diese Kritikpunkte konnten bei folgendem Entwurf nahezu beseitigt werden.

3.4 Spotlight Navigation

Der „Spotlight Navigation“ genannte Prototyp ist in einem kleinen und leichten Gehäuse untergebracht (siehe Abbildung 11). Technische Details sind nicht verfügbar, aber es ist anhand der Funktionalität des Geräts davon auszugehen, dass neben dem offensichtlichen, monochromen Projektor und obligatorischer Computer-

Hardware noch ein Beschleunigungsmesser und ein Gyroskop verwendet werden. Allerdings besitzt das System weder eine Kamera noch eine andere Aufnahmeeinheit, die es ihm erlauben würde, Bezugspunkte und Identifikatoren in der Umgebung ausfindig zu machen; damit kann das „Spotlight Navigation“ anders als die bisher in diesem Kapitel vorgestellten Systeme nicht zur Erweiterung der Realität mit zusätzlichen computergenerierten Inhalten eingesetzt werden.

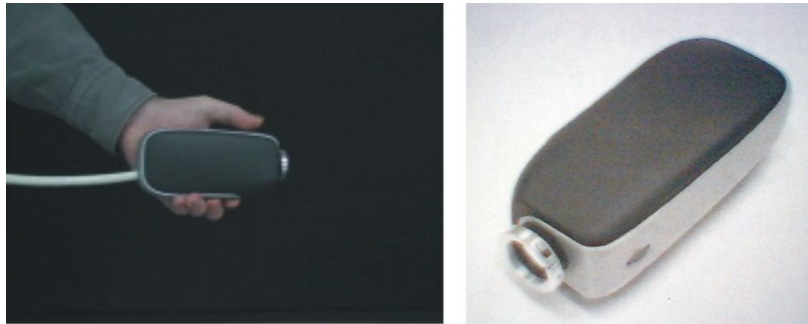


Abbildung 11: Prototyp des "Spotlight Navigation"-Systems [16]

Als tatsächlich neue Technologie ist die für das System entwickelte Benutzerschnittstelle einzustufen: Der schon im Namen vorweg genommenen Metapher der Taschenlampe folgend, bewirkt ein Schwenken des Gerätes, dass andere Bereiche der virtuellen Arbeitsfläche „beleuchtet“ werden; der Benutzer setzt so die angezeigten Bildausschnitte mental zu einem großen Bild zusammen. Die Interaktion mit der Benutzerschnittstelle erfolgt durch die bereits vorgestellte mausartige Handhabung und einem auf dem Projektor angebrachten Zoom-Rad, das das „Hineintauchen“ in Dokumente gestattet: Je weiter herangezoomt wird, desto mehr Details und Interaktionselemente werden dargestellt – und vice versa beim Herauszoomen. Zusätzlich bietet das System noch die Möglichkeit „einzukuppeln“, d.h. durch Schwenken des Gerätes wird nicht der Maus-Zeiger vor virtuell statischem Hintergrund bewegt, sondern die gesamte Oberfläche wird wie ein Fenster in klassischen graphischen Benutzerschnittstellen verschoben [16].

Eine praktische Anwendung des „Spotlight Navigation“ als Alternative zu herkömmlichen PDAs wäre denkbar, ist aber bisher unwahrscheinlich: Die Leuchtkraft des Mikro-Projektors reicht nicht aus, um in normal beleuchteten Räumen vernünftig damit zu arbeiten. Außerdem zwingt die ausschließliche Interaktion über projizierte Bilder den Nutzer dazu, sämtliche angezeigten Daten auch für Dritte einsehbar zu machen. Für die meisten PDA-Nutzer kommt eine Veröffentlichung ihrer Daten allerdings nicht in Frage. Zuletzt ist die Eingabe von Daten durch „Schreiben“ mit dem Gerät auf der Projektionsfläche für den häufigen Gebrauch zu langsam und fehleranfällig [16].

4 Zusammenfassung und Ausblick

Der rasante Fortschritt bei der Leistungsfähigkeit von digitalen Projektoren bei immer kleineren Abmessungen und gleichzeitig sinkenden Preisen der Geräte erschließt den Projektoren völlig neue Anwendungsfelder, die zum Teil noch nicht abzusehen sind. Welches Potenzial in dieser Technologie steckt, kann an der großen Zahl in diesem Bereich aktiver Forschungsteams und fast ebenso vieler Forschungsrichtungen abgelesen werden: Projektoren werden statisch eingesetzt, um konkurrenzlos große Bildschirmflächen zu erzeugen, zur Simulation einer gemeinsamen Zeichnung zweier räumlich getrennter Personen oder als überlegener Ersatz für herkömmliche Monitore; daneben werden fest installierte Einheiten aus Kamera und Projektor zur Erzeugung visueller Umgebungselemente (z.B. um auf Objekte zu zeigen) genutzt oder, um jede beliebige Fläche eines Raumes in einen Bildschirm zu verwandeln. Projektoren sind inzwischen auch klein genug, dass sie auf dem Rücken oder in der Hand mitsamt einem mobilen Rechner transportiert werden und im mobilen Betrieb erweiterte Informationen zu bestimmten Objekten in die Umwelt einblenden können. Neueste Entwicklungen zeigen sogar Möglichkeiten auf, Projektoren als Ergänzung oder vollständigen Ersatz zu PDAs einzusetzen.

Allerdings zeigen die in dieser Arbeit vorgestellten Prototypen, dass bei den meisten Ansätzen noch ein weiter Weg hin zu einem serienreifen Produkt zu überwinden ist. Dies gilt allerdings nicht nur für die projizierten Benutzerschnittstellen, sondern auch für viele verwandte Themengebiete aus dem Bereich neuartiger Benutzerschnittstellen, wie z.B. „augmented reality“ (dt.: „erweiterte Realität“), berührbare Benutzerschnittstellen, Sprachein- und -ausgabe, interaktive Oberflächen, intelligente Kleidung, usw.. Tatsächlich ist die klare Abgrenzung zwischen den Themengebieten bei manchen innovativen Ideen kaum noch möglich und verschwimmt zusehendst; so finden sich Projektoren auch in diversen anderen Artikeln dieses Bandes.

5. Quellen

- [1] A. Majumder, D. Jones, M. McCrory, M. Papka, R. Stevens, Using a camera to capture and correct spatial photometric variation in multi-projector displays. In *IEEE International Workshop on Projector Camera Systems 2003*
- [2] R. Raskar, J. van Baar, P. Beardsley, T. Willwacher, S. Rao, and C. Forlines. ilamps: Geometrically aware and self-configuring projectors. In *ACM SIGGRAPH 2003 Conference Proceedings*. ACM Press, 2003.
- [3] N. Takao, S. Baker, J. Shi, Steady-state feedback analysis of Tele-Graffiti. In *Proceedings of the IEEE International Workshop on Projector-Camera Systems*, Oktober 2003
- [4] M. Ashdown, P. Robinson, Experiences implementing and using personal projected displays, In *Proc. ICCV Workshop on Projector-Camera Systems (PROCAMS)*, Oktober 2003.
- [5] A. Butz, M. Schneider, M. Spassova. SearchLight – a lightweight search function for pervasive environments. In *Proceedings of Pervasive 2004*.
- [6] S. Borkowski, O. Riff, J. Crowley. Projecting Rectified Images in an augmented environment, In *Proc. ICCV Workshop on Projector-Camera Systems (PROCAMS)*, Oktober 2003.

- [7] Claudio Pinhanez, The Everywhere Displays Projector: A device to create ubiquitous graphical interfaces. *Proc. of Ubiquitous Computing 2001 (UbiComp'01)*, Atlanta, Georgia, September 2001
- [8] C. Pinhanez, F. Kjeldsen, A. Levas, G. Pingali, J. Hartman, M. Podlaseck, V. Kwatra, P. Chou. Transforming surfaces into touch-screens. IBM Research Report RC22273 (W0112-016), December 4, 2001
- [9] C. Pinhanez, R. Kjeldsen, A. Levas, G. Pingali, M. Podlaseck, and N. Sukaviriya. Applications of steerable projector-camera systems. In *Proceedings of the IEEE International Workshop on Projector-Camera Systems at ICCV 2003*, Nice Acropolis, Nizza, Frankreich, 12. Oktober 2003. IEEE Computer Society Press.
- [10] J. Summet, M. Flagg, J. Rehg, G. Corso, G. Abowd. Increasing the usability of virtual rear projection displays. In *Proc. ICCV Workshop on Projector-Camera Systems (PROCAMS)*, Oktober 2003
- [11] Kenji Oka, Yoichi Sato, Hideki Koike. Real-Time Fingertip Tracking and Gesture Recognition. In *IEEE Computer Graphics and Applications 22(6)*: 64-71, 2002
- [12] A. Licsár, T. Szirányi. Dynamic training of hand gesture recognition system. In *ICPR'04*, Cambridge, UK, IEEE & IAPR, Vol.4, 971-974, August 2004
- [13] S. Nayar, H. Peri, M. Grossberg, P. Belhumeur. A projection system with radiometric compensation for screen imperfections. In *Proc. ICCV Workshop on Projector-Camera Systems (PROCAMS)*, Oktober 2003
- [14] T. Karitsuka, K. Sato. A wearable mixed reality with on-board projector. In *ISMAR 2003*
- [15] R. Raskar, P. Beardsley, J. van Baar, Y Wang, P Dietz, J. Lee, D. Leigh, T. Willwacher. RFIG Lamps: Interacting with a self-describing world via photosensing wireless tags and projectors. In *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, Vol. 23, Issue 3, pp. 406-415, August 2004
- [16] S. Rapp, G. Michelitsch, M. Osen, J. Williams, M. Barbisch, R. Bohan, Z. Valsen, M. Emele. Spotlight Navigation: Interaction with a handheld projection device. In *Proceedings of Pervasive*, 2004
- [17] Julius Bahr. Interaktive Oberflächen. Seminar UI-Update 1.0. Ludwig-Maximilians-Universität München, Feb. 2004. <http://www.hcilab.org/events/ui-update1.0/>
- [18] Marc Breisinger. 3D-Scanning und Rekonstruktion als Benutzerschnittstelle. Seminar UI-Update 1.0. Ludwig-Maximilians-Universität München, Feb. 2004. <http://www.hcilab.org/events/ui-update1.0/>
- [19] C. Pinhanez, F. Kjeldsen, A. Levas, G. Pingali, M. Podlaseck, P. Chou. Ubiquitous interactive graphics., In IBM Research Report RC22495 (W0205-143), 22.05.2002