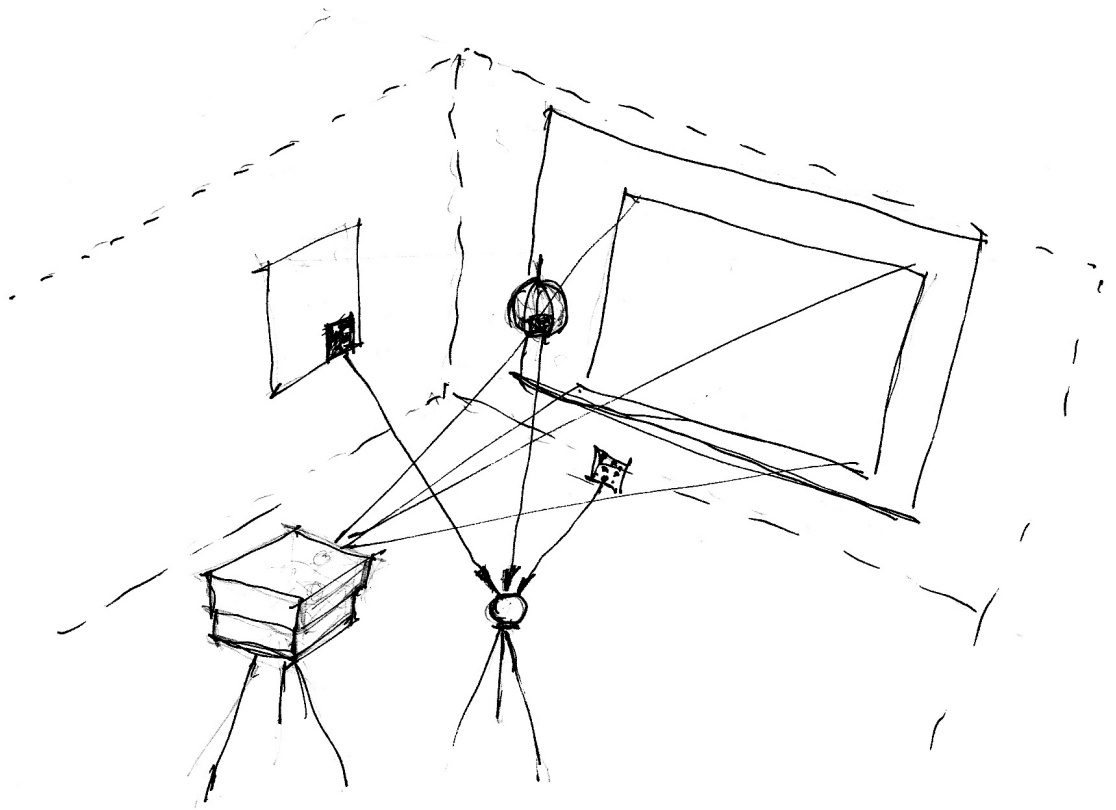


# SARSamplingKit

Spatial Augmented Reality Sampling Kit



Diplomarbeit  
Thomas Kuhlmann  
Bauhaus-Universität Weimar

## Simulation von Farbe, Material und Licht in einer Spatial-Augmented-Reality Umgebung zur Planungsunterstützung

-Entwicklung von Interaktionsmöglichkeiten zwischen Nutzer und System-

Betreuung:

Prof. Dr. D. Donath, Professur Informatik in der Architektur

Jun Prof. Dr.-Ing. Frank Petzold, Juniorprofessur Architekturinformatik

April 2007

## Inhaltsverzeichnis

<b>1. Einleitung .....</b>	<b>3</b>
1.1 Präambel .....	3
1.2 Zielstellung .....	4
<b>2. Differenzierung von Virtual Reality, Augmented Reality und Spatial     Augmented Reality .....</b>	<b>6</b>
2.1 Mixed Reality .....	6
2.2 Virtual Reality .....	7
2.3 Augmented Reality .....	7
2.3.1 Augmented Reality - Überblick und Anwendungsbeispiele .....	8
2.3.2 Augmented Reality - Prinzipieller Aufbau eines AR-Systems.....	10
2.4 Spatial Augmented Reality .....	15
2.4.1 Projektorunterstützte SAR-Systeme .....	16
<b>3. Gegenwärtige Planungsstrategien von Farbe, Material und Licht     im Bestand .....</b>	<b>24</b>
<b>4. Analyse von Colored Architecture .....</b>	<b>30</b>
4.1 Benutzeroberfläche .....	32
4.2 Entwurf – 2D/3D-Planung.....	33
4.3 Entwurf – Farbauswahl, Farbsysteme.....	34
4.4 Entwurf – Materialauswahl.....	36
4.5 Farbbewertung – Visualisierung .....	37
4.6 Farbbewertung – Beleuchtung.....	38
4.7 Farbumsetzung – Ausgabetechniken .....	39
4.8 Fazit der Analyse .....	39
<b>5. Konzeption von SARSamplingKit .....</b>	<b>41</b>
5.1 Die Fiktion einer dynamischen Planung von Farbe, Material und Licht.....	41
5.2 Verwendete Technologien.....	44
5.3 Konzeptionelle Umsetzung des Prototyps SARSamplingKit.....	47
5.3.1 Setup des Prototyps SARSamplingKit.....	47
5.3.2 Die Planungsphasen mit SARSamplingKit.....	50

5.3.2.1	Grundlagenermittlung und Analyse.....	50
5.3.2.2	Entwerfen und Bewerten von Farbe, Material und Licht .....	51
5.3.2.3	Umsetzung von Farbe, Material und Licht.....	60
<b>6.</b>	<b>Umsetzung des Prototyps SARSamplingKit .....</b>	<b>61</b>
6.1	Setup des Prototyps SARSamplingKit .....	62
6.2	Umsetzung der Interaktionen.....	64
6.2.1	Desktop-PC –gesteuerte Interaktionen.....	64
6.2.2	Markergesteuerte Interaktionen .....	66
6.3	Demonstration der Funktionalität auf der OpenLap-Night.....	70
6.4	Rückschlüsse und Reaktionen von der Präsentation auf der OpenLap-Night..	75
<b>7.</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick.....</b>	<b>78</b>
<b>8.</b>	<b>Anhang.....</b>	<b>81</b>
8. 1	Literaturverzeichnis .....	81
8. 2	Verzeichnis der Web-Seiten im Internet.....	83
8. 3	Abbildungsverzeichnis.....	84
8. 4	Fussnoten .....	88
8. 5	Thesen der Diplomarbeit .....	91
8. 6	Eidesstattliche Erklärung.....	92

## 1. Einleitung

### 1.1 Präambel

In der Honorarordnung für Architekten und Ingenieure <sup>1</sup> (HOAI) ist eine verbindliche Vergütung für Planungsleistungen im Bauwesen geregelt. Dazu ist in § 15 Absatz 2 HOAI die Zusammensetzung des Leistungsbildes aus Grundleistungen und besonderen Leistungen definiert, wobei Grundleistungen jene Leistungen umfassen, die zur ordnungsgemäßen Erfüllung eines Auftrages im Allgemeinen erforderlich sind.

Die Planungsleistungen „Farb-, Licht-, und Materialgestaltung bzw. Materialbestimmung“ sind in der HOAI in den Leistungsphasen 3 (Entwurfsplanung) bzw. 5 (Ausführungsplanung) explizit als Grundleistung genannt und bilden somit einen integralen Bestandteil der Entwurfsarbeit von Architekten.

Des Weiteren gewinnt das Bauen im Bestand gegenüber dem Neubau zunehmend an Bedeutung<sup>2</sup>, sodass die vorhandene baulich- räumliche Substanz eine maßgebliche Grundlage in der Entwurfsarbeit ist und in diesem Zusammenhang relevant für die Farb-, Material und Lichtgestaltung.

Bei der Planung von Farbe, Material und Licht beschränkt sich der Einsatz von Computersystemen in der gegenwärtigen Planungspraxis, sofern nicht gar eine analoge Planung stattfindet, häufig auf das Erstellen virtueller Modelle. Aus diesen Modellen werden in der Folge Bilder am Monitor und evtl. auf Papier abgeleitet, die zur Verifizierung des Farb- und Materialentwurfs bzw. der Lichtsituation dienen.

Dementsprechend sind neue Planungssysteme wünschenswert, die die Planung von Farbe, Material und Licht konsistenter unterstützen.

An der Bauhaus-Universität Weimar und im Besonderen im Forschungsprojekt „Spatial Augmented Reality For Architecture“ [www1] werden Technologien entwickelt, die das Gestalten und Planen in und mit der vorhandenen Bausubstanz digital unterstützen. Dabei werden Technologien aus anderen Forschungsbereichen adaptiert.

So eröffnet zum Beispiel ein neu entwickeltes Computersystem, die SmartProjector-Technologie [1], die Möglichkeit (zumindest hypothetisch) direkt vor Ort

Entwürfe zur Farb-, Material-, und Lichtgestaltung zu prüfen und verifizieren. Diese zukunftsweisende mobile projektionsbasierte Technologie zur Augmentierung, d.h. zur „Anreicherung“ der Realität (z.B. eine Wand im Gebäude) mit virtuellen Elementen (computervisualisierten Bildern), bietet in diesem Zusammenhang vielversprechende Perspektiven.

Des Weiteren werden Trackingverfahren eingesetzt um innovative Interaktionsmöglichkeiten zu entwickeln. Eines dieser Verfahren, das Laserpointer-Tracking, ermöglicht das Interagieren mit einem Laserpointer auf verschiedenen Oberflächen, wobei der Laserpointer wie ein Arbeitswerkzeug ähnlich einer Maus eingesetzt werden kann [www2].

Ebenfalls neu ist das prototypische Softwarekonzept „Colored Architecture“ [2]. Dieses Entwurfswerkzeug bietet dem Planer innovative Funktionen bzgl. der Farb-, Material- und Lichtgestaltung, jedoch unter Verwendung einer herkömmlichen Benutzeroberfläche.<sup>3</sup>

Neue Techniken und Werkzeuge erfordern somit ein Nachdenken über den Einsatz, die Bedienung, die Effizienz und die Anwendung derselben in der Architekturplanung, gerade in Anbetracht der gegenwärtigen Planungspraxis.

Zusammen mit der Projektions-Technologie „SmartProjector“ werden in dieser Arbeit innovative Interaktionsmöglichkeiten zwischen dem Nutzer und dem System entwickelt, um auf der Grundlage des Funktionsumfangs von Colored Architecture und darüber hinaus, Entwurfsmöglichkeiten für die Planung von Farbe, Material und Licht im Bestand zu definieren, die dem gegenwärtigen Stand der Technik entsprechen.

## 1.2 Zielstellung

Aufbauend auf der Analyse aktueller Forschungsaktivitäten, sowohl in den Bereichen Augmented Reality (AR) und Spatial Augmented Reality (SAR) sowie der Interface-Entwicklung und der Funktionsanalyse des Software-Prototyps Colored Architecture (CA) wird in dieser Arbeit ein Konzept erarbeitet. Dieses Konzept soll Architekten beim Planen von Farbe, Material und Licht in und mit der vorhandenen Bausubstanz, unter Einbeziehung

neuester Technologien, ein Entwurfswerkzeug zur Verfügung stellen. Optimierte Interaktionsmöglichkeiten zwischen dem Nutzer und dem System, explizit in der Bedienung und Darstellung, sind Prämissen bei dem zu entwickelnden Entwurfswerkzeug, dessen Handhabung intuitiv erfolgt. Dabei fungiert der Planer oder der Architekt als Schnittstelle und interagiert in und mit der vorhandenen baulich-räumlichen Umgebung.

Das intuitive Erfassen der zur Verfügung stehenden Auswahl- und Bearbeitungsfunktionen wird mit dem zu entwickelnden Entwurfswerkzeug ausgereizt. Zum Interagieren sind keine grafischen Steuerelemente notwendig, sodass keine Schieberegler bedient werden müssen. Ebenso muss nicht, wie in den meisten Augmented-Reality-Anwendungen, durch ein Display hindurchgesehen oder ein solches aufgesetzt werden, um die Überlagerung virtueller und realer Objekte zu erleben. Stattdessen bewegt sich der Entwerfende in der augmentierten Umgebung.

Zum Hinein- oder Herauszoomen tritt der Entwerfende näher an den Entwurfsgegenstand heran bzw. etwas zurück. Interessante Details können mit den eigenen Augen fokussiert oder mit den Händen bzw. tragbaren Interaktionswerkzeugen bearbeitet werden. Gleichzeitig bietet das im Hintergrund arbeitende Computersystem nützliche Funktionen wie „Harmonie erzeugen“, „Variante speichern“ oder „simulieren einer Beleuchtungssituation“.

Die Vorteile der realen Bemusterung sollen mit den Vorteilen der virtuellen Bemusterung kombiniert werden.

Anhand des zu erarbeitenden Konzeptes werden ausgewählte Teile und Funktionen in Softwaremodulen umgesetzt, die das Bemusterungswerkzeug „SARSamplingKit“ repräsentieren. Hierzu wird die grafische Programmier-Engine „Quest3D“ genutzt. In Kombination mit den verschiedenen Interface- und Interaktions-Technologien wird in einem Testszenarium der Funktionsumfang des Prototyps dargestellt und die erreichten Ergebnisse werden diskutiert.

## 2. Differenzierung von Virtual Reality, Augmented Reality und Spatial Augmented Reality

In diesem Abschnitt werden mit Hilfe von Literatur- und Internetrecherchen die Begriffe „Virtual Reality“, „Augmented Reality“, und „Spatial Augmented Reality“ im Kontext zu dieser Arbeit differenziert, damit deren Semantik in dem weiteren Verlauf eindeutig ist.

### 2.1 Mixed Reality

Virtual Reality und Augmented Reality wurden 1994 von Milgram im Reality–Virtuality Continuum klassifiziert.

Milgram beschreibt das Realität–Virtualitäts Kontinuum als einen fließenden Übergang von echter Umgebung (Real Environment) zu virtueller Umgebung (Virtual Environment). Nach Milgram umschließt eine virtuelle Umgebung den Betrachter vollkommen mit einer synthetischen Welt und ersetzt somit die reale Umgebung. Als eine echte Umgebung wird eine Welt bezeichnet, in der der Betrachter nur echte Objekte sieht, wobei Videobilder auch als echte Umgebung klassifiziert werden.

Der Bereich zwischen Real Environment und Virtual Environment wird als Mixed Reality (MR) bezeichnet.

Die Mixed Reality vermischt sowohl virtuelle Bilder als auch reale Bilder. Laut Milgram werden bei Augmented Reality virtuelle Objekte der realen Umgebung hinzugefügt. Werden aber in einer prinzipiell virtuellen Umgebung reale Objekte (z.B. ein Videobild) eingebunden, dann bezeichnet Milgram das als Augmented Virtuality [3].

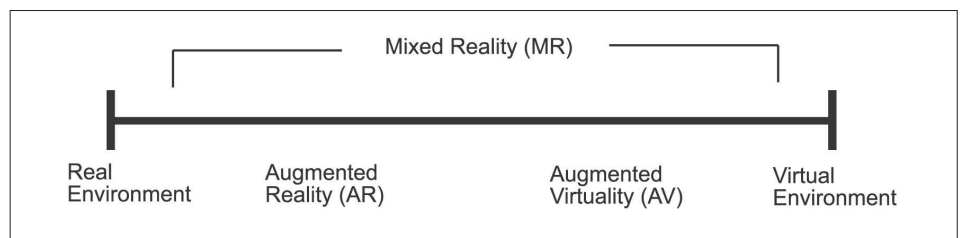


Abb. 2.1: Vereinfachte Darstellung des RV Kontinuums [3]



## 2.2 Virtual Reality

Virtual Reality (VR) stammt aus dem englischen Sprachgebrauch und wird im deutschen Sprachgebrauch mit „virtuelle Realität“ übersetzt. Sie setzt sich dementsprechend aus den Begriffen „virtuell“<sup>4</sup> und „Realität“<sup>5</sup> zusammen.

VR beschreibt die vom Computer simulierte Wirklichkeit bzw. die künstliche Welt, in die sich mit Hilfe der technischen Ausrüstung scheinbar hineinversetzt werden kann [24].

Der Begriff „Virtual Reality“, wurde 1989 von Jaron Lanier geprägt und wird seither für die unterschiedlichsten Formen digital generierter künstlicher Welten verwendet. Das Spektrum reicht von textbasierten virtuellen Kommunikationsumgebungen (MUDs - Multi-User-Dimension) bis hin zu aufwändigen multimedialen Simulationsumgebungen.

Virtual Reality zeichnet sich dadurch aus, dass die Nutzer (auch User genannt) nicht nur in einen Datenraum eintauchen, sondern mit den Daten ebenso interagieren können, wie mit anderen Benutzern des gleichen Raumes [25]. Um hierbei ein Gefühl der Immersion zu erzeugen, werden spezielle Ausgabegeräte, wie z.B. das Head-Mounted Display (HMD), eine Großbildleinwand oder die Cave benötigt.

Die Interaktion in oder mit der virtuellen Welt erfolgt über spezielle Eingabegeräte, wie die Spacemouse oder den Datenhandschuh, wobei auch herkömmliche Eingabegeräte (z.B. Tastatur oder Maus) verwendet werden können.

Zur Positionserfassung von Objekten im Raum werden Trackingsysteme (siehe Abschnitt „Trackingsysteme“) verwendet.

## 2.3 Augmented Reality

Virtual Reality hat keinen absoluten Bezug zur Realität, d.h. der Benutzer in der VR kann die reale Welt um sich herum nicht mehr wahrnehmen. Augmented Reality ermöglicht dem User im Gegensatz zur VR-Technologie die konstante Wahrnehmung seiner physischen Umgebung.



Abb. 2.2: Realer Tisch mit virtueller Lampe und virtuellen Stühlen [4]

Im deutschen Sprachgebrauch wird Augmented Reality als erweiterte Realität bezeichnet. Darunter wird das exakte Zusammenfügen von computergenerierten virtuellen Informationen mit der physischen Wirklichkeit verstanden, um so die Wahrnehmungsfähigkeit des Benutzers zu steigern. Die virtuelle Information kann dabei alle menschlichen Empfindungskomplexe wie Sehen, Hören, Riechen, Schmecken und Fühlen ansprechen, wobei überwiegend nur die visuelle Darstellung von Informationen gemeint ist.

Um Augmented Reality nicht auf spezifische Technologien zu beschränken definiert Ronald T. Azuma 1997 folgende Kriterien für ein AR-System [4]:

- Virtuelle Realität und Realität sind miteinander kombiniert (überlagert oder teilweise überlagert).
- Es findet eine Interaktion in Echtzeit statt.
- Reale und virtuelle Informationen stehen dreidimensional zueinander in Bezug.

(siehe Abbildung 2.2)

### 2.3.1 Augmented Reality – Überblick und Anwendungsbeispiele

Augmented Reality-Systeme können in vielen verschiedenen Bereichen und zu den unterschiedlichsten Zwecken eingesetzt werden. Um einen besseren Überblick und die facettenreiche Bandbreite derartiger Systeme zu vermitteln, werden im Folgenden ausgewählte Anwendungsbeispiele veranschaulicht.

Forschungsprojekte oder Anwendungen, die in einem näheren Zusammenhang mit dieser Arbeit stehen, werden im Kapitel 2.4 umfangreicher beschrieben.

#### Produktion und Instandhaltung

Augmented Reality bietet die Möglichkeit, große und komplexe Maschinen leichter herzustellen, zu warten und zu reparieren, indem einem Monteur Informationen aus Schaltplänen, Bedienungsanleitungen oder Arbeitsanweisungen direkt in die reale Szene eingeblendet werden. Es besteht so die Möglichkeit, Fehler schneller zu finden und korrekt zu beheben, ohne wichtige Schritte zu übersehen oder gar zu vergessen.

### Entwicklung und Konstruktion

Mit Hilfe der Augmented Reality erhalten Kunden einen vorausschauenden, dreidimensionalen Anblick eines neuen Produktes oder dessen Konstruktion. Zudem kann jeder Teilnehmer mit dem neuen Produkt in Interaktion treten. In Echtzeit können Designer bestimmte Bereiche des neuen Produktes markieren und ändern. Dadurch kann die Bewertung und somit Kaufsentscheidung von Kunden stark beeinflusst werden.

### Unterhaltung

Ein bekanntes Beispiel sind die Wetterprognosen, bei denen ein Moderator im Fernsehstudio vor einer blauen Wand steht. Jegliche Bilder oder Spezialeffekte sind virtuelle Elemente und werden mit Hilfe spezieller Software anstelle der blauen Wand eingesetzt. Der Zuschauer sieht auf seinem Bildschirm ein zusammengesetztes Bild aus realen und virtuellen Elementen, wobei er zwischen diesen nicht mehr unterscheiden kann.

Nach einem ähnlichen Prinzip ergeben sich für Fernsehsender neue, ertragreiche Werbeflächen. So kann mittels Augmented Reality Werbung an Stellen eingeblendet werden, an denen in der realen Szene keine vorhanden ist. Trackingsysteme auf Kameras sorgen dafür, dass Größe und Position der Werbung immer korrekt eingeblendet werden, sodass der Zuschauer keinen Unterschied zwischen überlagertem und realem Teil erkennt.

### Militär

Kampfpiloten erhalten Informationen via Display, die während des Flugs direkt in das Sichtfeld eingeblendet werden. Beispielsweise sind Flugdaten oder Entfernungen zu feindlichen Objekten mögliche Einblendungen.

Ebenfalls werden AR-Systeme zum Training am Boden eingesetzt, um Kosten sparend realitätsnahe Übungen zu absolvieren.

### 2.3.2 Augmented Reality – Prinzipieller Aufbau eines AR-Systems

Die wesentlichen Komponenten eines Augmented Reality-System sind einerseits ein Darstellungs-System, mit dessen Hilfe der Betrachter die erweiterte Realität angezeigt bekommt, andererseits ein Tracking-System, welches für die exakte Übereinstimmung zwischen realer und virtueller Szene sorgt. Ein angeschlossenes Computersystem verbindet die Komponenten so, dass dem Betrachter die erweiterte Realität dargestellt werden kann.

#### Darstellungssysteme

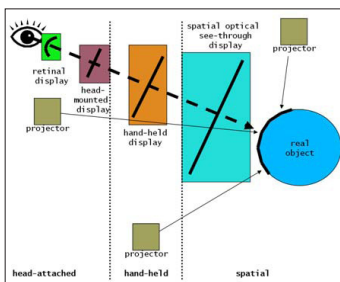


Abb. 2.3: Bilderzeugung bei Augmented Reality Displays [5]

Visuelle Darstellungssysteme bestehen aus optischen, elektronischen und mechanischen Komponenten und generieren ein Bild im Sichtbereich des Betrachters. Dabei wird das Bild je nach System an verschiedenen Punkten auf dem optischen Pfad zwischen dem Betrachter und dem physischen Objekt erzeugt [5].

Bei visuellen Augmented Reality-Systemen kann technisch zunächst zwischen kopfbasierten Ausgabegeräten im Blickfeld des Benutzers und nicht kopfbasierten Displays unterschieden werden. Kopfbasierte Displays sind fest mit dem Betrachter verbunden (Head-Mounted-Displays (HMD)) [5]. Bei nicht kopfbasierten Displays gibt es keine feste örtliche Kopplung mit dem Betrachter (z. B. PDA als Anzeigegerät).

Bei den derzeit mit HMD realisierten Anwendungen sind mehrere Arten zu differenzieren [5].

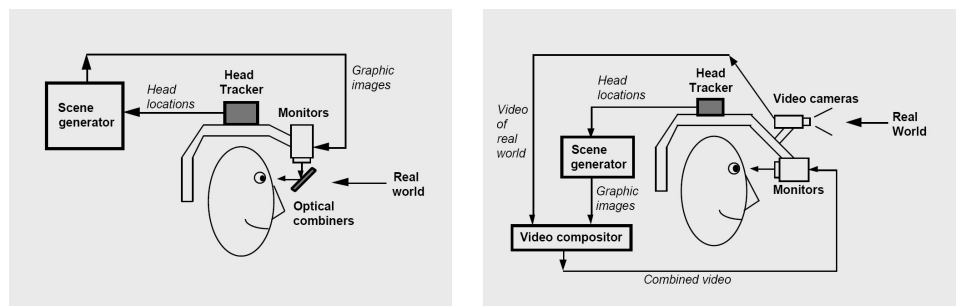


Abb. 2.4: Videobasiertes HMD (links) und Optisches Durchsicht-HMD (rechts) [2]

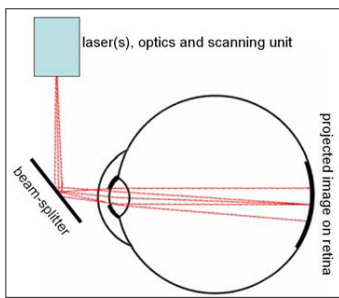


Abb. 2.5: Schema vom Retinal Scanning Display [5]

(I) Optische Durchsicht-HMD (See-Through, Optical-See-Through), die den realen Lichtstrahlengang durchlassen und das künstliche Bild wie eine Schablone vor das menschliche Auge halten.

(II) Videobasierte HMD (Video-See-Through), die zunächst das Sichtfeld digitalisieren, mit den AR-Daten anreichern und dem Benutzer ein rein digitales Videobild vor Augen führen.

(III) Eine Mischform aus den beiden zuvor genannten Arten sind Look-Around-Systeme, bei denen in eine Durchsichtbrille ein kleines, nicht durchsichtiges Videodisplay eingebaut ist, um welches herumgesehen werden kann.

(IV) Eine weitere Kategorie bilden Systeme, bei denen virtuelle Informationen direkt auf die Netzhaut des menschlichen Betrachters projiziert werden. Ein Vertreter dieser Kategorie ist das Retinal Scanning Display (siehe Abb. 2.5). Es ähnelt in seiner Bauweise den obigen Darstellungssystemen, ersetzt jedoch lediglich Displays (Monitore) durch einen oder mehrere Laser.

Die Vor- und Nachteile der HMD-Typen werden von Azuma [4] diskutiert, wobei diese Systeme auch nach vierzigjähriger Forschung und Entwicklung Schwächen bzgl. visueller Qualität (Auflösung, Sichtfeld, Bildschärfe), technischer Belange (Tracking, Beleuchtung) und soziologischer Eigenschaften (Lästigkeit, geringe Akzeptanz) [6] aufweisen.

Erhältliche HMDs sind vor allem auf Entwicklungen für die Bereiche Militär, VR-Visualisierung oder aber auch den Home- bzw. Entertainmentbereich zurückzuführen.

Eine andere Technik kommt bei projektorbasierten Systemen zum Einsatz, wobei eine AR-Umgebung mit Laser- oder Videoprojektoren erzeugt wird. Es werden virtuelle Objekte von den Geräten, die beispielsweise an der Decke eines Raumes montiert sind, auf die reale Szene projiziert. Mit Hilfe dieser Technik können viele Betrachter die gleiche AR-Umgebung wahrnehmen, was einen entscheidenden Vorteil darstellt. Nachteilig ist, dass die AR-Szene durch Betrachter ebenso verdeckt werden kann.

In den neunziger Jahren wurden projektorbasierte Systeme vor allem im Bereich der Virtual Reality populär. Setups die eine vollständige Immersion (CAVE [7]) des Anwenders ermöglichten, wurden ebenso wie teilimmersive Arbeitsumgebungen entwickelt.

Gegenwärtig sind „Optical-See-Through“- und „Video-See-Through“-HMDs die üblichen Darstellungssysteme bei AR-Applikationen, obwohl sie die genannten Schwächen aufweisen, die projektorbasierte Systeme nicht besitzen. Ein Grund hierfür könnte der ausgeprägte Focus auf mobile Anwendungen sein, welche ebenso mobile Displays erfordern.

### Trackingsysteme

In Augmented Reality Anwendungen werden virtuelle Objekte in die reale Welt eingebettet. Reale und virtuelle Welt existieren zunächst unabhängig voneinander und müssen mit rechnerischen Methoden aufeinander abgestimmt werden. Diese Anpassung wird durch Tracking realisiert.

Um die Koordinatensysteme beider Welten zu überlagern muss das Blickfeld des Betrachters bestimmt werden. Zu diesem Zweck werden Sensoren benötigt, die in der Lage sind Positionen und Orientierungen festzustellen, entsprechend dem Standpunkt und der Blickrichtung des Betrachters. Sollen reale Objekte mit virtuellen Objekten interagieren, muss ebenfalls deren Position und Orientierung bekannt sein.

Die Sensoren, die für diese Zwecke eingesetzt werden, müssen sich an verschiedenen Kriterien messen, die im Wesentlichen das Einsatzgebiet des Sensors bestimmen und hier nur genannt werden, um einen Überblick zu vermitteln. Folgende Kriterien sind relevant: die Update-Rate, die Präzision, die Reichweite, die Freiheitsgrade und der Preis.

Werden absolute Koordinaten in einem globalen Koordinatensystem ermittelt, unterscheiden sich Tracking-Systeme generell in Outside-In- und Inside-Out-Systeme.

Outside-In-Systeme besitzen in der AR-Umgebung fixierte Sensoren, die die dazugehörigen Signale auf beweglichen Objekten verfolgen. Entsprechend äquivalent sind Inside-Out-Systeme aufgebaut, bei denen sich die Sensoren auf beweglichen Objekten befinden, die dann in der Lage sind, ihre Position relativ zu den in der AR-Umgebung fixierten Sendern zu bestimmen.

Differenzieren lassen sich Outside-In- und Inside-Out-Tracking-Systeme anhand der eingesetzten Sensoren, die auf unterschiedliche Technologien basieren. Im Folgenden werden die gebräuchlichsten Systeme prinzipiell vorgestellt. Die Gliederung orientiert sich an dem physikalischen Funktionsprinzip der einzelnen Systeme [www3].

## Zeit- und Frequenzmessung

Eine sehr präzise Sensortechnik ist die Zeit- und Frequenzmessung. Optische oder akustische Signale werden von einem Emitter ausgesandt und von einem Transmitter empfangen. Durch die Messung von Signallaufzeiten lassen sich Entfernungen zwischen Emitter und Transmitter berechnen.

Vertreter dieser Sensortechnik basieren auf Ultraschall- (Sonaranlagen) oder Radiowellen (Global Positioning System – GPS, siehe Abb. 2.6) und zeichnen sich vor allem durch eine hohe Präzision und eine sehr hohe Update-Rate aus. Sie sind jedoch anfällig gegenüber Störsignalen. Angewendet wird diese Technik u. a. bei Navigationssystemen oder dreidimensionalen Mensch-Maschine-Interaktionen (3D Human-Interface-Devices).

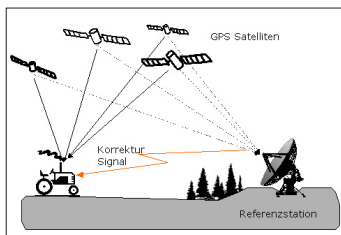


Abb. 2.6: Schema von GPS [www4]

## Mechanische Kopplungen

Eine der frühesten Sensortechniken sind Mechanische Kopplungen. Die zu trackenden Objekte werden über Stangen und Gelenke oder Seile mit festen Referenzpunkten verbunden. Über Beugungssensoren in den Gelenken oder Spannungssensoren an den Seilenden kann die Position des zu trackenden Objektes errechnet werden.

Dieses Trackingsystem zeichnet sich vor allem durch eine hohe Präzision und eine einfache technische und damit günstige Realisierung aus. Die Nachteile dieser Technik sind systembedingt: durch die physische Verbindung mit fixen Punkten ist die Reichweite des Systems eingeschränkt und die Bedienung gestaltet sich durch den sperrigen Aufbau unkomfortabel.



Abb. 2.7: Mechanische Kopplung an einem Datenhandschuh

## Inertialsysteme

Ausgehend von einem Anfangszustand messen Inertialsysteme Veränderungen relativ zu ihrer vorherigen Position oder Orientierung. Inertialsysteme kennen ihre absolute Position nicht. Mit ihnen können lediglich Positionsveränderungen



Abb. 2.8: Anwendung einer Gyro-Mouse [www5]

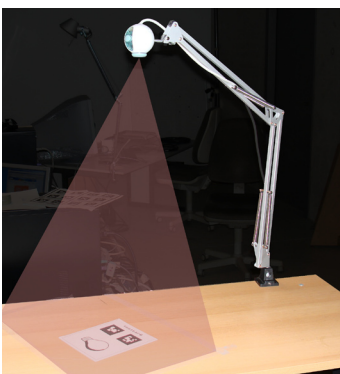


Abb. 2.9: Scannen eines Markers mit einer Webcam

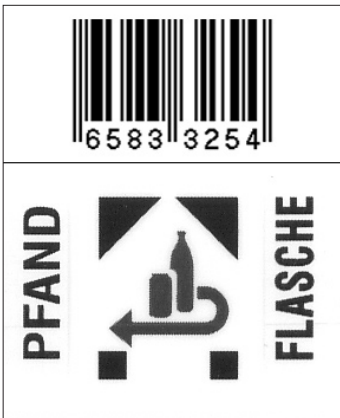


Abb. 2.10: Strich-Code (oben), Pfandflasche-Marker (unten)

gemessen werden. Selbst wenn die Position eines Referenzpunktes bekannt ist, eignen sich Inertialsysteme nur bedingt zur Bestimmung von Positionen, da sich kleine Fehler in den Messdaten sehr schnell potenzieren.

Mechanische Gyroskope oder Beschleunigungssensoren basieren auf dieser Technik. Sie bietet eine hohe Update-Rate und ist bzgl. ihrer Kosten als günstig zu bezeichnen.

#### Räumliche Scans

Räumliche Scans umfassen eine Vielzahl von Technologien. Angefangen bei der optischen Erfassung mit Video- oder Infrarotkameras bis hin zur Abtastung von Volumina mit Laser- oder Lichtstrahlen.

Ein ausgewähltes Beispiel ist die Videometrie (die Beobachtung eines Volumens mit Videokameras), die in den letzten Jahren mehr an Bedeutung gewonnen hat. Obwohl bei den zahlreichen verfügbaren Systemen mit verschiedensten Kameratypen gearbeitet wird, haben sie eines gemeinsam: Zur Gewinnung von relevanten Daten wie Position/Orientierung eines Objekts bedarf es eines großen Aufwands an Bilderkennung. Systeme wie ARToolkit [www6] oder ARTag [www7] können diesen Aufwand reduzieren, indem sie Marker nutzen, die relevante Stellen in einem Bild kennzeichnen.

Marker sind in diesem Kontext einfache optische Zeichen, die von einem System eindeutig registriert werden. Zu den wohl bekanntesten Markern gehören Strich-Codes oder jene optische Kodierungen, mit deren Hilfe Rücknahmesysteme Pfandflaschen erfassen.

Die Videometrie arbeitet sehr präzise und liefert theoretisch eine hohe Update-Rate, die jedoch durch die Bildverarbeitung auf dem Rechner verzögert wird. Durch den Einsatz von einfachen WebCams und selbst gedruckten Markern ist diese Technik eine sehr kostengünstige Variante, Positions- und Orientierungsdaten zu ermitteln. Zu beachten ist indes, dass das System sehr sensibel auf Beleuchtungssituationen und Verdeckungen reagiert.

#### Direkte Feldmessungen

Sensortypen aus dem Bereich der Feldmessung nutzen sowohl künstliche, als auch natürliche physikalische Felder zur Bestimmung von Position oder Orientierung. Sie sind generell störanfällig gegenüber Unregelmäßigkeiten der ge-



nutzten Felder oder deren Beeinflussung durch äußere Felder.

Kompasser bzw. Magnetfeldsensoren sind beispielhaft zu erwähnen, sie sind weit verbreitet und bzgl. ihrer Kosten günstig. Für einige Anwendungen ist diese Technik zu ungenau, da natürliche Felder oftmals nicht die erforderliche Gleichförmigkeit besitzen und künstliche Felder einen hohen technischen Aufwand erfordern, um andere elektronische Geräte nicht zu beeinflussen.

Um die speziellen Schwächen einzelner Sensortypen auszugleichen werden oft Hybrid-Systeme verwendet, eine Kombination verschiedener Typen, die sich gegenseitig ergänzen. Hybrid-Systeme sind heutzutage aus dem Tracking-Bereich kaum noch wegzudenken. Auch zu Redundanzzwecken werden verschiedene Sensoren kombiniert, um Ausfälle zu kompensieren.

### 2.4 Spatial Augmented Reality

Bereits 1998 erweitern Raskar et al. das Realitäts-Virtualitäts-Kontinuum von Milgram um einen weiteren Ansatz und veröffentlichen „Spatially Augmented Reality“ [8]. Sie beschreiben darin prinzipiell die Idee, nicht das Sichtfeld eines Anwenders mit virtuellen Informationen zu überlagern, sondern seine physische Umgebung und schlagen vor, mit Projektoren Bilder direkt auf reale Objekte zu projizieren oder Flachbildschirme in die Nutzerumgebung zu integrieren. Diesen Ansatz einer AR-Umgebung nennen sie „Spatially Augmented Reality“ oder „Spatial Augmented Reality“ (SAR)

Raskar et al. weisen auf Probleme hin, die mit SAR-Systemen einhergehen und geben Lösungsansätze vor. So erscheinen z.B. zweidimensionale Bilder auf dreidimensionalen Oberflächen verzerrt. Entsprechend muss dem System die Oberflächenbeschaffenheit bzw. die Geometrie unregelmäßiger Projektionsflächen bekannt sein, damit Verzerrungen ausgeglichen werden können. Des Weiteren weisen die Autoren darauf hin, dass für Interaktionen mit dem virtuellen Objekt das fehlerlose Tracken des Nutzers oder seiner Interaktionswerkzeuge im besonderen Maße wichtig ist, da kleinste Fehler Ungenauigkeiten bei der Überlagerung von virtuellen und realen Elementen hervorrufen, die letztlich die angestrebte Imagination unglaubwürdig erscheinen lassen.

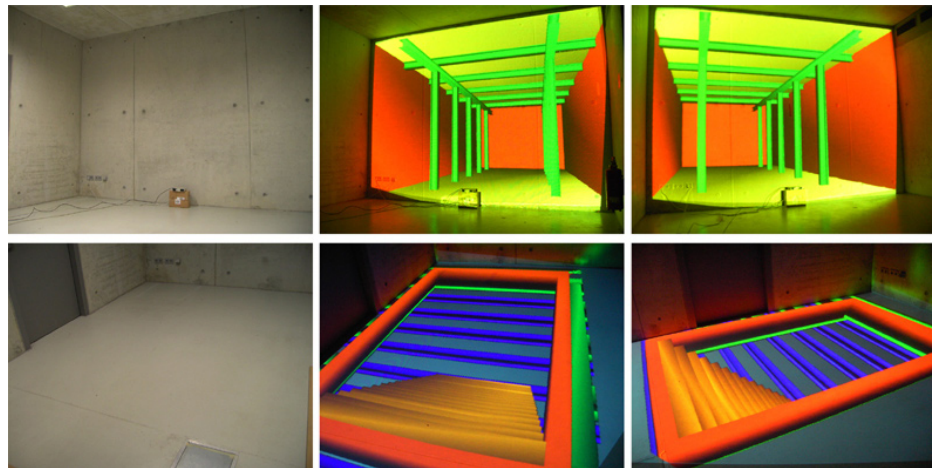


Abb. 2.11: Prototyp einer Spatial Augmented Reality Umgebung an der Bauhausuniversität Weimar, Umgesetzt 2005 [6].

#### 2.4.1 Projektorunterstützte SAR-Systeme

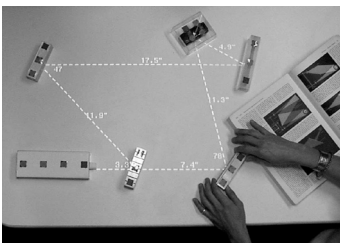


Abb. 2.12: Projekt „Luminous Room“: Projektionen stellen Streckenverläufe und Distanzen auf einem Tisch dar [12].

Projektorunterstützte SAR-Systeme können je nach Verwendungszweck und Komplexität in drei übergeordneten Gruppen unterteilt werden [9].

Die erste Gruppe umschreibt Entertainment-Anwendungen, wobei Naimarks bekannte Installation „Displacements“ [10] und Dorseys Projektor-System zur Augmentierung von Theater-Kulissen [11] an dieser Stelle nur genannt seien.

Das Projizieren von grafischen Informationen auf plane Oberflächen wie in den Projekten „Luminous Room“ [12] und „Digital Desktop“ [13] differenziert die zweite Gruppe.

Die dritte Gruppe umfasst das Implementieren (Einflechten) von komplexen virtuellen geometrischen Formen und Attributen in die reale Welt, wobei sowohl die virtuellen Objekte als auch die Projektionsflächen nicht plan sind. Im „Office of the Future“ (OOFT) von Raskar et al. [14] ist der Benutzer von Projektionen umgeben, die durch im Raum verteilte und synchronisierte Kameras gesteuert, registriert und interpretiert werden. In einem anderen Projekt „Shader Lamps“ [15] projiziert Raskar auf reale Modelle, deren Oberflächen von neutral weißer oder grauer und ebenso diffuser Erscheinung sind, u. a. geometrisch entsprechende Materialattribute und berücksichtigt dabei Glanzpunkt, Schattenbildung und Reflexionsverhalten.

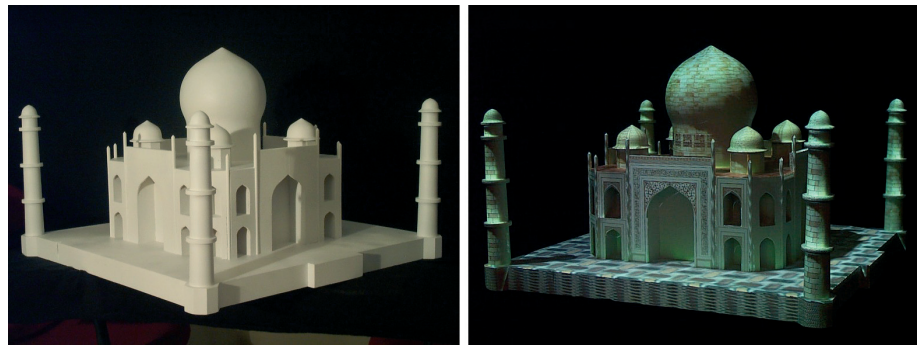


Abb. 2.13: Projekt „Shader Lamps“: auf ein materialneutrales Modell (links) werden geometrisch korrekte Materialien projiziert [15].

Im folgenden Abschnitt werden SAR-Projekte vorgestellt, die entwickelt wurden, um Materialeigenschaften auf realen Objekten zu simulieren.

### Material Light: exploring expressive materials

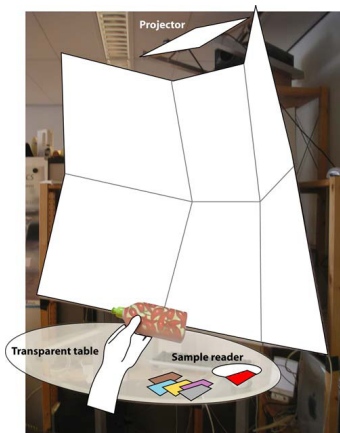


Abb. 2.14: TRI-Setup [16].

Daniel Saakes beschreibt in seiner Veröffentlichung „Material light: exploring expressive materials“ [16] ein Verfahren für Produktdesigner, mit dem bereits in der konzeptionellen Phase des Designprozesses visuelle Materialeigenschaften beurteilt werden können. Er orientiert sich dabei am Projekt „Shader Lamps“. Die Applikation von Saakes unterstützt zwei Anwendungen, zum einen das Visualisieren bzw. Projizieren der Material-Texturen auf Modellprototypen und zum anderen das Selektieren unterschiedlicher Materialien.

Die Arbeitsumgebung basiert auf dem TRI-Setup [17]. Synthetische Material-texturen werden dabei von oben auf matt-weiße Prototypen projiziert, die auf einer transparenten Arbeitsfläche liegen oder per Hand in den Projektionskegel gehalten werden. Aufgrund der Transparenz der Arbeitsfläche wird lediglich der Prototyp augmentiert (siehe Abb. 2.14).

Für die Materialauswahl wird RFID-Technologie<sup>6</sup> eingesetzt. Jedes Materialmuster besitzt ein RFID-Etikett und ist eindeutig durch ein Lesegerät identifizierbar. Im Vorfeld wird eine Datenbank mit entsprechenden Texturen zu den einzelnen Materialmustern angelegt. Erkennt das RFID-Lesegerät eine Materialmuster-ID, wird je nach Verknüpfung in der Datenbank die äquivalente Textur projiziert.

Mit der Absicht, dem Designer während des Designprozesses ein hohes Maß an Experimentierfreiheit zu gewährleisten, einschließlich der Möglichkeit



Abb. 2.15: Materialprojektion und Modell stehen geometrisch nicht zueinander in Bezug [16].

Designprototypen schnell auszutauschen oder manuell zu manipulieren, werden Materialien als einfache zweidimensionale Bilder auf die Designprototypen projiziert. Dabei besteht kein räumlicher bzw. zeitlicher Zusammenhang zwischen der Projektion und dem Prototyp (siehe Abb. 2.15). Die Verzerrungen der projizierten Materialien, die bei dieser Art der Projektion unvermeidlich beim Bewegen der Designprototypen entstehen, sind laut Saakes durchaus beabsichtigt, um die schöpferische Kreativität des Entwerfenden zu potenzieren.

Die Möglichkeit, haptisches und visuelles Feedback während der Materialevaluation zu kombinieren, beschreibt Saakes als wesentlichen Vorteil seiner Applikation gegenüber rein virtuellen Visualisierungen. Die äußerst einfache Handhabbarkeit von „Material Light“ und das ebenso kostengünstige Setup sind weitere positive Aspekte.

### Dynamic Texturing of Real Objects

Spatial Augmented Reality Systeme finden ebenso Einsatz in der Architektur. Speziell für den Design- oder Entwurfsprozess wurde ein SAR-System entwickelt, um reale Objekte (z.B. Architekturmodelle) mit virtuellen Objekten zu kombinieren. Beabsichtigt wurde, Modelle in unterschiedlichste Kontexte zu setzen bzw. Materialerscheinungen experimentell zu prüfen.

Die Arbeit „Dynamic Texturing of Real Objects in an Augmented Reality System“ [18] beschreibt dieses Verfahren.

Das System setzt sich aus dem 3D Table und dem Texture Painter zusammen, wobei beide Komponenten auch unabhängig voneinander funktionieren.

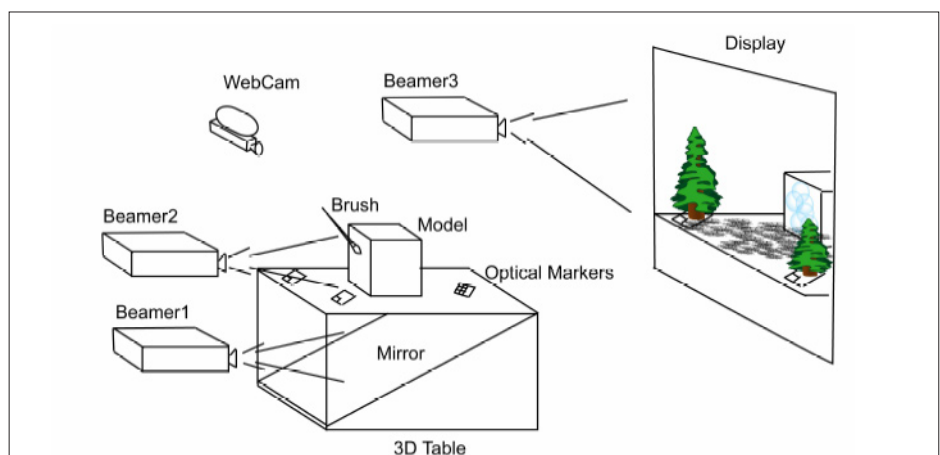


Abb. 2.16: Prototyp-Setup im Projekt „Dynamic Texturing of Real Objects in an Augmented Reality System“ [18].

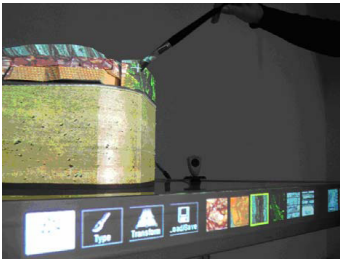


Abb. 2.17: Mit dem Texture Painter werden Texturen aufgetragen [18].

Der 3D Table ist ein Tisch mit einer semitransparenten Glasplatte. Unter dieser Glasplatte ist ein geneigter Spiegel montiert, mit dessen Hilfe Projektoren, die neben dem 3D Table aufgestellt sind, Bilder auf die Unterseite der Glasplatte projizieren (siehe Abb. 16).

Für den interaktiven Entwurfsprozess wird das reale 3D-Modell auf dem 3D-Table platziert und über ein Kalibrierungsverfahren eingemessen, sodass dem System die geometrischen Informationen des Modells bekannt sind und entsprechend die virtuellen Texturen bzw. Materialitäten mit dem realen Modell-Objekt synchronisiert werden können. Zu bedenken ist, dass Bewegungen des Modells nach der Kalibrierung nicht berücksichtigt werden und demzufolge Projektionen fehlerhaft sind, sollte das Modell im Nachhinein beabsichtigt oder unbeabsichtigt bewegt werden.

Mit der Intention, dem Benutzer ein Werkzeug zur Verfügung zu stellen, mit dem „virtuelle Farbe“ auf reale Objekte aufgetragen werden kann, wurde das Texture Painter Tool entwickelt (siehe Abb. 2.17). Zentrales Element ist in dieser Applikation ein gewöhnlicher Pinsel. Mit einem Frequenz-Tracking-Verfahren werden Bewegungen des Pinsels verfolgt und der Pinsel permanent lokalisiert.

Die „virtuelle Farbe“ wird auf das Modell „gestrichen“, indem Polygonflächen mit dem Pinsel definiert und daraufhin mit einer gewählten Textur gefüllt werden.

Diese Art der Interaktion zwischen Nutzer und System, wobei mit einem „echten“ Pinsel auf Oberflächen wie in der Realität „gemalt“ wird, ist den meisten Menschen sehr vertraut und wird daher von seinem Entwickler als äußerst intuitiv bezeichnet.

Das Tragen von unbequemen und soziologisch kaum etablierten [6] Head-Mounted-Displays (HMD) wird von Matkovic et al. als nachteilig empfunden und soll in der Applikation entsprechend vermieden werden. Diesbezüglich beschreiben sie in der Veröffentlichung zwei Ansätze.

Im ersten Ansatz wird das HMD durch eine Leinwandprojektion ersetzt. Dabei wird die reale Szene bestehend aus dem Modell und dem Texture-Painter-Interface von einer Kamera gefilmt. Virtuelle Elemente wie Texturen oder weitere 3D Umgebungs-Objekte werden der AR-Szene mittels Software hinzugefügt und die zusammengesetzte AR-Szene wird auf die Leinwand

projiziert. Zur Positionsbestimmung der virtuellen Umgebungs-Objekte werden optische Marker (ARToolkit) verwendet. Die eingesetzte Kamera ist in der Lage, diese Marker zu registrieren und deren Position relativ zur Kamera zu bestimmen. (siehe Abb. 2.18)

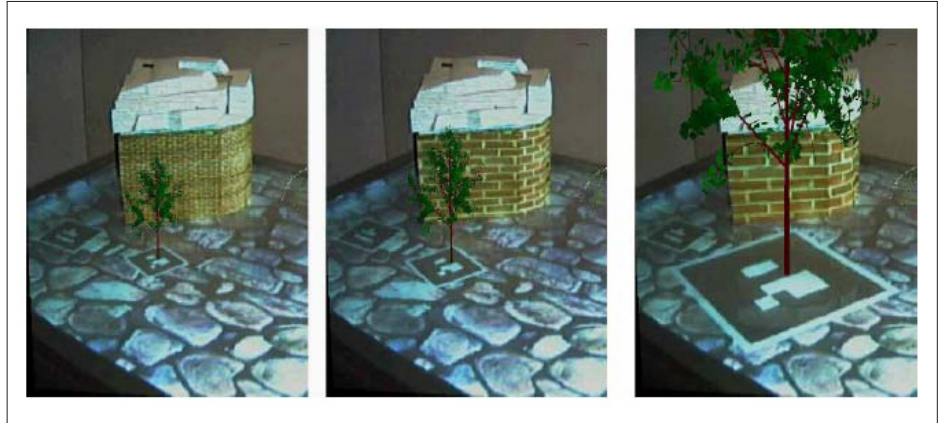


Abb. 2.18: Optische Marker werden verwendet um in der AR-Umgebung Positionsdaten zu ermitteln [18].

Der Vorteil auf das HMD verzichten zu können, geht in diesem Ansatz mit dem Nachteil einher, dass die visuelle Rückkopplung (Feedback) von der Arbeitsumgebung getrennt ist und somit den Arbeitsprozess wiederum einschränkt. Der zweite Ansatz sieht vor, virtuelle Texturen direkt auf das reale Modell bzw. auf die semitransparente Tischplatte zu projizieren. Dadurch ist weder ein HMD noch eine separate Projektionsfläche notwendig und der Benutzer kann sich auf seine Arbeitsumgebung konzentrieren. Zusätzliche räumliche Umgebungsobjekte können bei dieser Systemkonfiguration nicht in die Szene eingebunden werden, da ihnen die nötige physische Projektionsfläche fehlt. Obwohl die verwendeten Komponenten dieser Applikation nicht neu sind, ist der gemeinsame Einsatz in diesem Kontext einzigartig. Die Autoren beschreiben letztlich einen interessanten Ansatz eines intuitiven und interaktiven Entwurfswerkzeuges für Architekten.

### Material and Color Design Using Projectors

Die gegenwärtigen Entwicklungen im Bereich der Grafik-Hardware ermöglichen das exakte Simulieren der farblichen Erscheinung eines Objektes in Echt-

zeit-Anwendungen. Dazu werden sogenannte Pixel-Shader verwendet, die je nach Bedarf programmiert werden, sodass diese in der Lage sind, Reflexionseigenschaften komplexer Oberflächen physikalisch korrekt darzustellen.

J. Konieczny und G. Meyer beschreiben in ihrer Veröffentlichung „Material and Color Design Using Projectors“ [19] ein Verfahren, bei dem derartige Pixel-Shader angewendet werden, um Farben (speziell Metalllackierungen) auf physische Objekte zu projizieren. Das Ziel dieser Anwendung ist die realistische Simulation von Farbwirkungen.

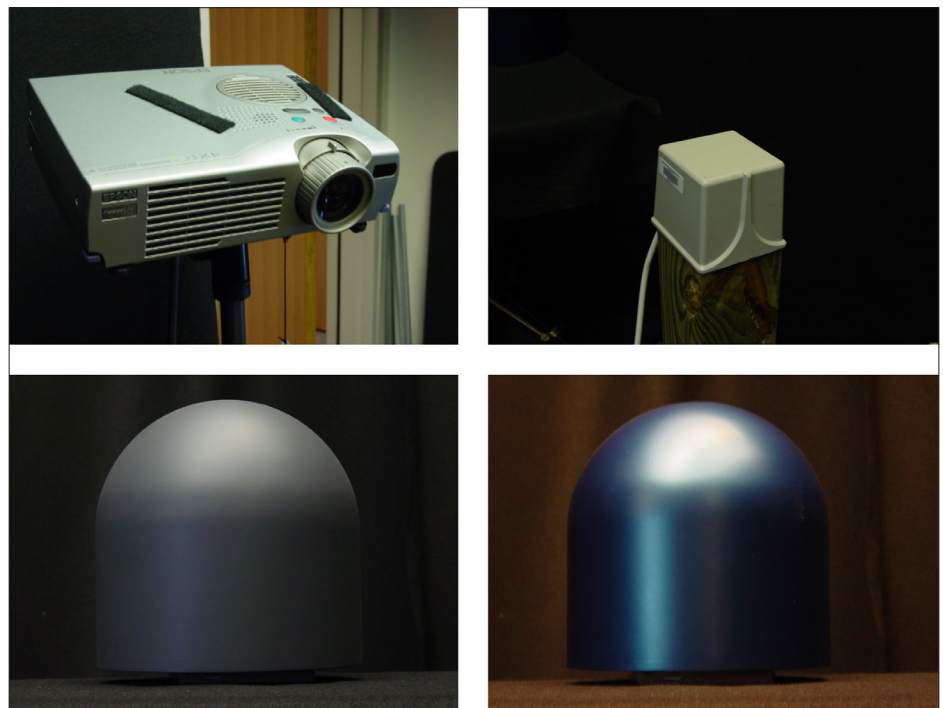


Abb. 2.19: Prototyp-Setup des Projektes „Material and Color Design using Projectors“ oben links - Projektor um Farben auf das Modell zu projizieren; oben rechts - Magnettracking-System um das Umgebungslicht zu simulieren; unten links - das neutrale Modell; unten rechts - das augmentierte Modell [19].

Konieczny und Meyer nutzen ein einfaches Setup für ihre Versuche. Sie stellen eine primitive dreidimensionale Figur (ein Zylinder, dessen Deckfläche sphärisch gewölbt ist) auf einen Tisch und richten einen Projektor auf dieses Objekt. Die simulierte Farbe, eine metallische Lackierung, soll bei dem Versuch durch die spezifischen Reflektionseigenschaften und durch die Position der Lichtquelle beeinflusst werden (siehe Abb. 2.19). Im Versuch soll das Objekt an der richtigen Stelle einen Glanzpunkt aufweisen und ebenso die Umgebung widerspiegeln. Dazu wird neben spezieller Soft- und Hardware, die von Shadern unterstützt wird, eine High-Dynamic-Range-Aufnahme<sup>7</sup> der realen Umgebung

verwendet, um diese in der Projektion realitätsnah mit abzubilden. Um den größtmöglichen Realitätsgrad bei der Farbsimulation zu erreichen, berücksichtigen Konieczny und Meyer auch die Reflexion des Lichtes vom augmentierten Objekt auf die Umgebung. Dazu wird ein zweiter Projektor eingesetzt, der die entsprechende Reflexion auf die Umgebung projiziert. Das eigentliche Objekt wird von diesem jedoch nicht beleuchtet, sondern mit einer Maske ausgespart.

## Being There

Walk-through-Anwendungen, also die Besichtigung kompletter Räume im Maßstab 1:1, die lebensgroß mit virtuellen Elementen angereichert werden, sind wohl die eindringlichsten Anwendungen im Verständnis von Spatial-Augmented-Reality nach Raskar et al.. Ein derartiges Projekt wurde u. a. von Kok-Lim Low an der University of North Carolina at Chapel Hill realisiert und wird „Being There“ genannt [6]. Dabei wurden primäre Strukturen einer Innenraum-situation aus Polystyrol errichtet, die als Projektionsflächen dienten, um die entstandene lebensgroße Umgebung mit virtuellen Elementen durch Videoprojektoren anzureichern.

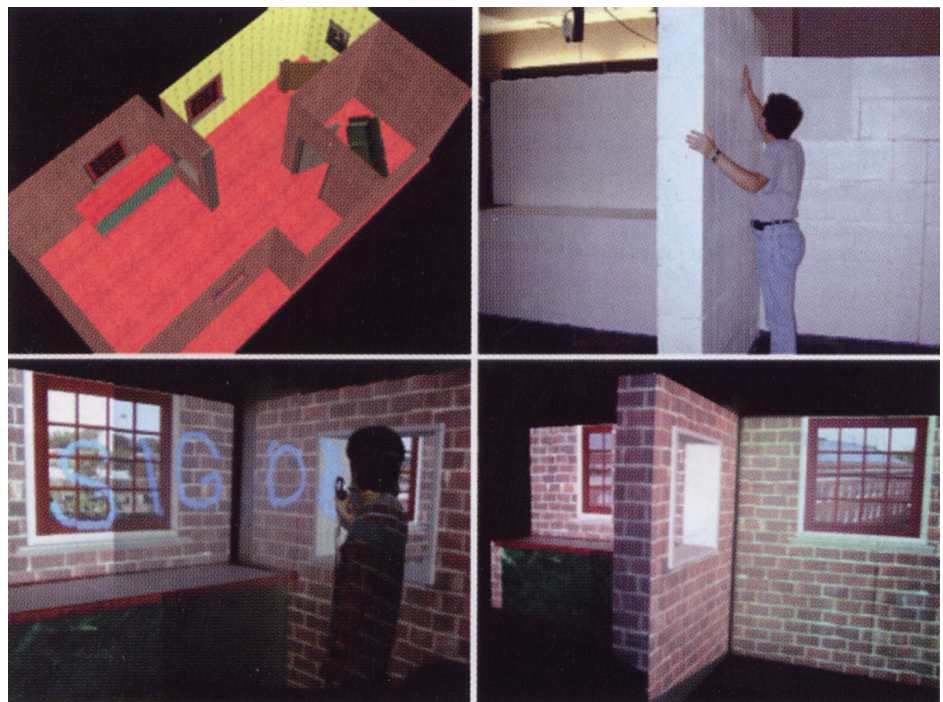


Abb. 2.20: Projekt „Being There“ [6]



Einfache raumbildende Elemente (Mauerwerksstruktur), deren korrekte Projektion relativ unabhängig vom Blickpunkt des Betrachters war, wurden 3D autostereo projiziert. Details hingegen, wie Fenster, die die Sicht auf eine virtuelle Umgebung ermöglichen, wurden blickpunktabhängig projiziert, indem die Position des Kopfes und die Blickrichtung des Betrachters durch ein Tracking-Verfahren ermittelt wurden.

Das Projekt überzeugte vor allem durch den hohen Immersionsgrad, im Vergleich zu anderen Spatial-Immersive-Displays. Es eröffnete jedoch auch Schwächen, die besonders im Bereich der strategischen Platzierung der Projektoren zu sehen waren. Es bestand die Möglichkeit, dass der Betrachter die Projektionsflächen mit seinem eigenen Körper gegenüber den Projektoren verdeckt.

### 3. Gegenwärtige Planungsstrategien von Farbe, Material und Licht im Bestand

CAAD ist in den meisten Architekturbüros heutzutage allgegenwärtig und unterstützt mit hoher Effizienz und Qualität viele Aspekte der Planung.

Planungsunterstützende Systeme zeichnen sich u. a. dadurch aus, dass sie dem Planer Fachwissen, Informationen, ein konsistentes Datenmodell, einfache und umfassende Kontrolle, sowie Anpassbarkeit und Erweiterbarkeit im Zusammenhang mit plausiblen, fachspezifischen Hilfen und Werkzeugen zur Verfügung stellen [20].

Obwohl gestiegene Rechenleistungen und neue Hardwaretechnologien digitale Planungswerkzeuge stetig verbessern, findet die Farb-, Material- und Lichtgestaltung kaum architekturegerechte und konsistente Unterstützung in CAAD-Systemen [21]. Zwar existieren Insellösungen für architektonische Visualisierungen, Präsentationen oder aufwendige physikalische Lichtsimulationen, es wird jedoch keine durchgängige Planungsunterstützung vom Entwurf bis zur Ausführung in der Praxis angeboten [20].

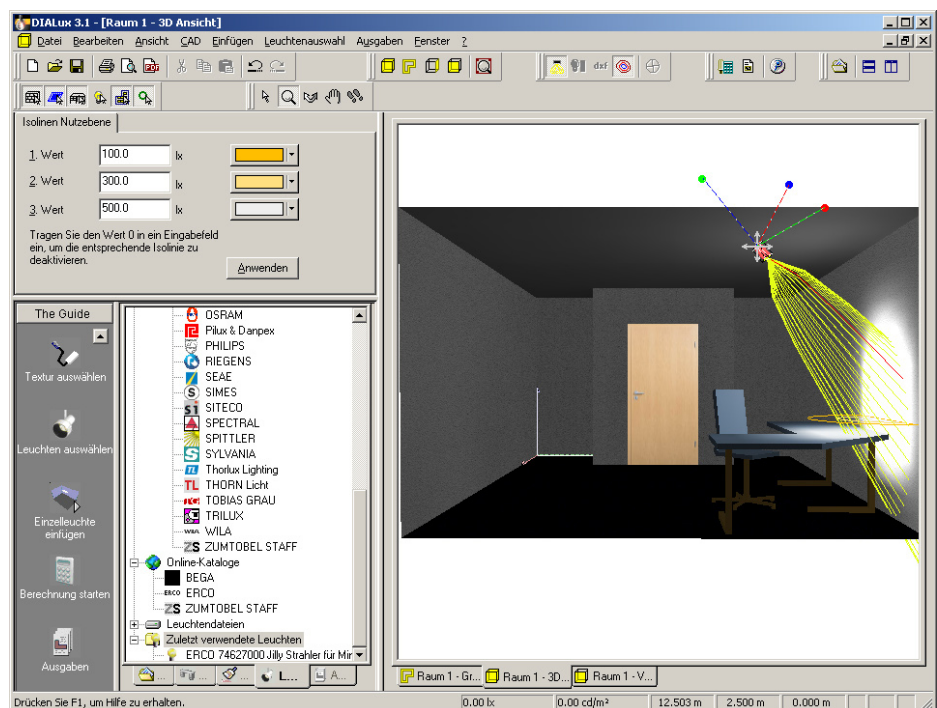


Abb. 3.1: Screenshot der Lichtplanungssoftware „DIALux“. Die Software bietet professionelle Einstellungs- und Simulationsmöglichkeiten verschiedener Beleuchtungssituationen, ohne jedoch im gleichen Maße die Planung von Farben und Materialien zu unterstützen [22].

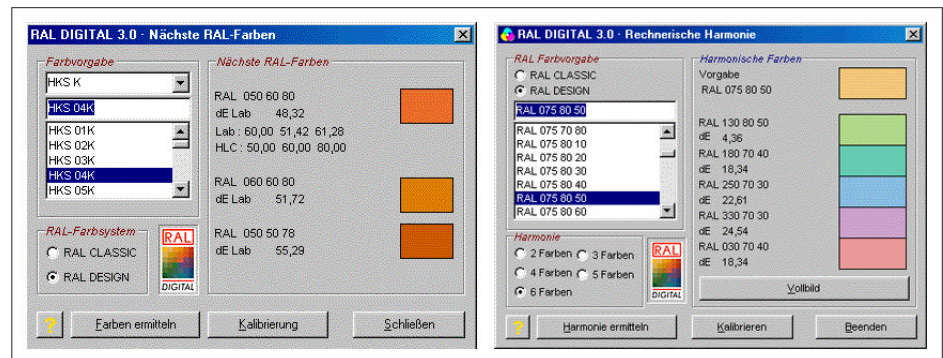


Abb. 3.2: Screenshots der Farbplanungssoftware „RAL DIGITAL“. Die Software ermittelt eigenständig Farbharmenien und Farbvorschlage, ohne jedoch im gleichen Maße die Planung von Materialien und Licht zu unterstützen [23].

Die Planung von Farbe, Material und Licht findet in der gegenwärtigen Praxis häufig losgelöst vom CAAD-Modell statt, wobei sich die Vorgehensweise in den letzten Jahren nicht wesentlich geändert hat. Dominierende Arbeitsmethoden und Hilfsmittel sind Gestaltungskonzepte (vorzugsweise Farbkonzepte) auf dem Papier, Farbfächer, Materialmuster oder Musterflächen.

Die Vorgehensweise bei der Planung von Farbe, Material und Licht ist bei der Gestaltung in einer gebauten, realen Architektur eine andere als bei der Gestaltung einer noch zu planenden Architektur. Der wesentliche Unterschied ist der vorhandene oder fehlende Kontext vor Ort.

Im Bezug zu dieser Arbeit werden im Folgenden Vorgehensweisen beschrieben, die bei der Farb-, Material- oder Lichtplanung einer Innenraumgestaltung vor Ort zur Anwendung kommen.



Abb. 3.3: Farbfächer [23]

Die Analyse der baulich-räumlichen Situation vor Ort bildet die Grundlage einer solchen Planung, wobei bereits vorhandene Farben angrenzender Bauteile oder Nachbarbebauungen, die Vegetation, Blickbeziehungen der Räume zur Umwelt, Lichtverhältnisse, Raumdimensionen, vorgesehene Funktionen und Zielgruppen entscheidenden Einfluss haben.

Aufbauend auf diese analytische Betrachtung, bilden das Bewusstsein durch Erfahrung und die geistige Imagination des Planers die Grundlage für ein erstes Konzept vor Ort. Mit Hilfe handlicher Muster, wie Farbfächer oder Materialproben kann der Planer Kontraste, Harmonien und Wirkungen von diesem ersten Konzept vor dem geistigen Auge verifizieren.

Nachdem erste Vor-Ort-Konzepte dokumentiert sind, dienen diese im Büro als Arbeitsgrundlage und werden differenziert.

Die zur Differenzierung verwendeten Darstellungsmethoden werden im Folgenden kurz erschlossen, wobei kein Anspruch auf Vollständigkeit erhoben wird. Zunächst sind handgezeichnete und kolorierte (I) perspektivische Ansichten und (II) Wandabwicklungen herauszuheben, die Varianten, Studien, Harmonien und Kontraste abbilden. Abwicklungen und Perspektiven können ebenso mit Hilfe von CAAD-Systemen erstellt sein, wobei diese Zeichnungen vorwiegend losgelöst vom CAAD-Modell sind. Bildbearbeitungsprogramme wie Adobe Photoshop oder Corel Photopaint kommen in diesem Zusammenhang ebenso zum Einsatz.

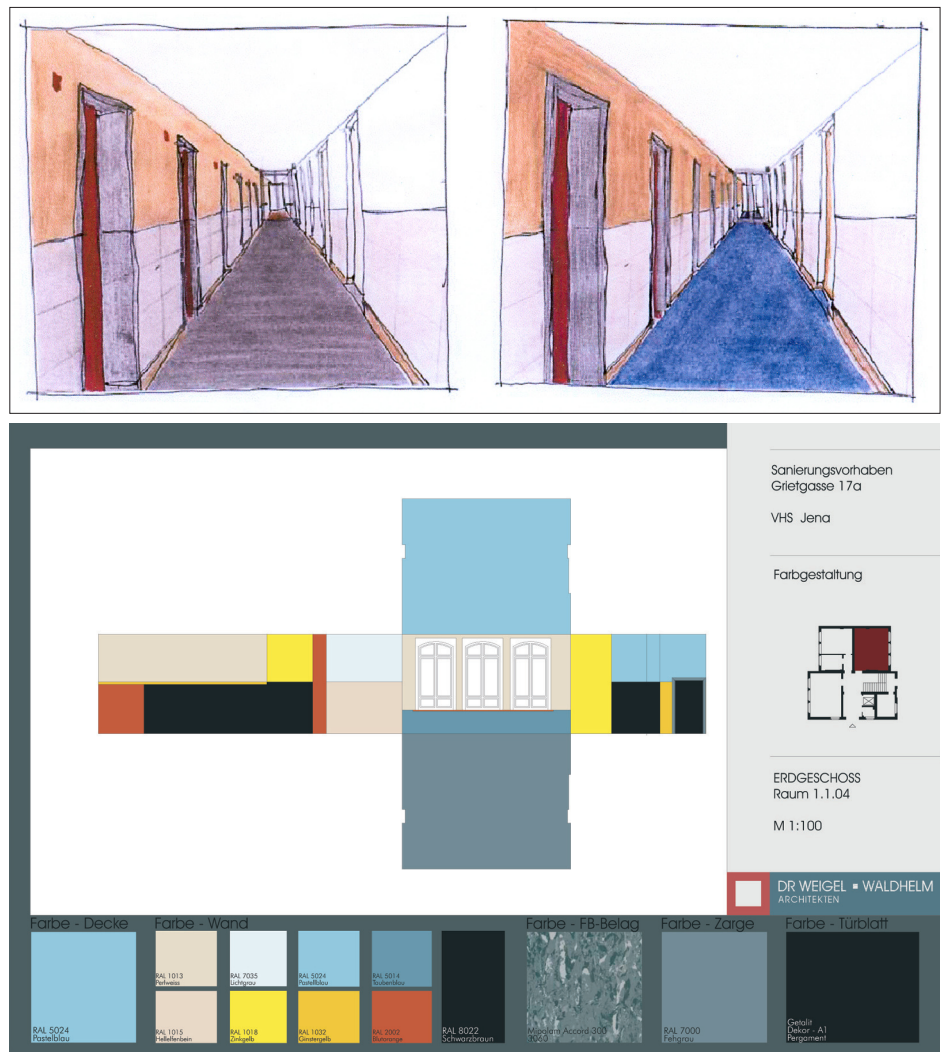


Abb. 3.4: Mit perspektivischen Ansichten und Wandabwicklungen werden im Planungsbüro Farb- und Materialkonzepte erstellt. Dazu werden sowohl Handskizzen als auch CAAD-Zeichnungen erstellt [2].

Bei einem anderen Ansatz werden rechenaufwendige (III) Lichtsimulationen unter Verwendung von BRDF-Lichtmodellen durchgeführt. Farben, Materialien und Licht werden physikalisch korrekt und miteinander in Beziehung stehend berechnet und als Renderings ausgegeben. Derartige Berechnungen sind ressourcenintensiv und werden nur von spezialisierter Planungssoftware unterstützt, die derzeit nicht in CAAD-Systeme implementiert sind. Somit existiert keine konsistente und architekturengerechte Anbindung an das CAAD-Modell.

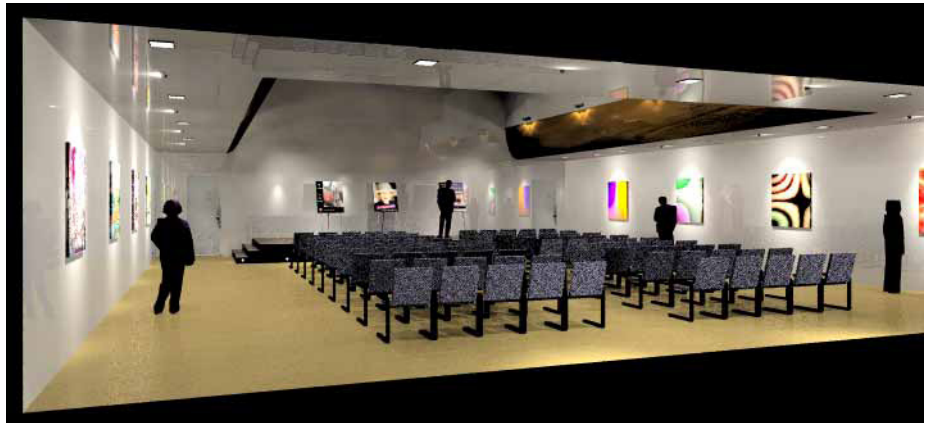


Abb. 3.5: Eine physikalisch korrekte Lichtberechnung mit DIALux, sie wird jedoch mit einem separaten Modell berechnet [22].

Bewertet und beurteilt werden derartig erstellte Konzepte anhand zweidimensionaler Darstellungen in unterschiedlichen Maßstäben auf dem Papier oder dem Monitor, ohne dass weitere Interaktionen möglich sind.

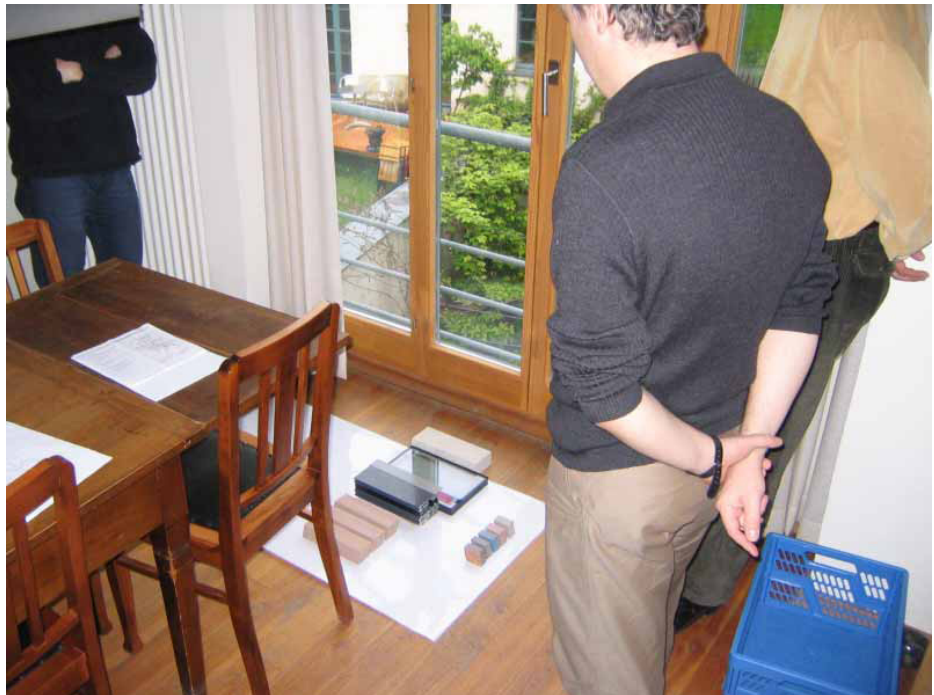


Abb. 3.6: Bewertung einer Materialcollage im Planungsbüro [23].

(IV) Mustercollagen und (V) Musterflächen sind weitere Möglichkeiten, um Farben, Materialien und Licht miteinander in Bezug zu setzen und derartige Kompositionen zu prüfen. Sie erweitern die visuelle Darstellung um das haptische Feedback, beanspruchen jedoch die Fähigkeit des Betrachters den dargestellten Ausschnitt in den beabsichtigten Kontext zu transferieren.



Abb. 3.7: Die Verifizierung einer Farb- und Materialplanung vor Ort [23].

Eine ausreichende Dokumentation der erstellten Konzepte vom Entwurf über die Planung bis zur Ausführung ist in jedem Fall notwendig.

Die beschriebenen Vorgehensweisen dokumentieren einen relativ statischen Prozess. Ausgehend von einer analytischen Vorbetrachtung und ersten gedanklichen Planungsansätzen vor Ort, werden dabei weitere grundlegende skizzenhafte Vorstudien zu verschiedenen Varianten im Planungsbüro erstellt. Es folgen komplexe Untersuchungen des Wechselspiels zwischen Farbe, Material und Licht von konkreten Entwürfen. Diese werden im Büro am Monitor oder auf dem Papier bzw. durch Mustercollagen verifiziert oder vor Ort mittels Musterflächen.

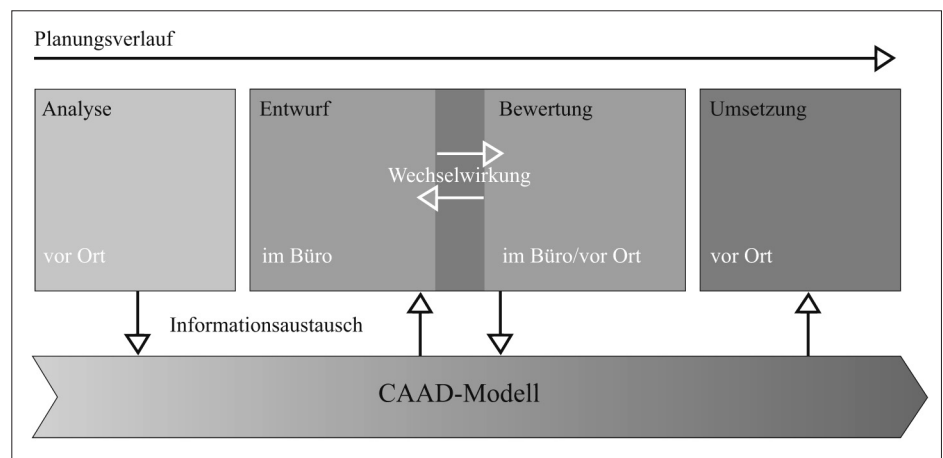


Abb. 3.8: Schema vom statischen Verlauf der Planung von Farbe, Material und Licht

Ein dynamischer Prozess, bei dem die einzelnen Arbeitsschritte (Analyse, Entwerfen, Bewerten, letztlich sogar die Umsetzung) sich gegenseitig und in unbestimmter Reihenfolge permanent beeinflussen können, wird durch die örtliche Trennung zwischen Planungsbüro und Planungsobjekt und der fehlenden Interaktivität der Zeichnungen, Collagen und Musterflächen verhindert.

Ein fachspezifisches Modul zur Untersuchung von architektonischen Räumen bzgl. der Parameter Licht, Material und im Besonderen der Farbe ist der Softwareprototyp „Colored Architecture“ [2], der sich fachspezifisch in das „Building Information Modeling“ (BIM) integriert. Dieses Werkzeug ist im Bemühen entstanden, die Planung von Farbe, Material und Licht in der Architektur fachlich und kompetent zu unterstützen.

Im nachfolgenden Kapitel wird dieses Softwaresystem auf Funktionsumfang und Handhabung untersucht.

## 4. Analyse von Colored Architecture

„Colored Architecture“ ist die funktionelle Grundlage des zu entwickelnden Software-Prototyps, aus diesem Grund ist die genaue Beschreibung des gegenwärtigen Funktionsumfangs und der Handhabung von CA in diesem Kapitel von besonderem Interesse.

Der architektonische Farb- und Materialentwurf von Bauteiloberflächen gliedert sich in dem Modul „Colored Architecture“ in

- den Entwurf
- die Bewertung bzw. die Beurteilung und
- die Umsetzung

der Farb- und Materialkonzeptionen, wobei der Entwurf und die Bewertung ständig wechselseitig in Beziehung stehen und mitunter mehrfach durchlaufen werden.

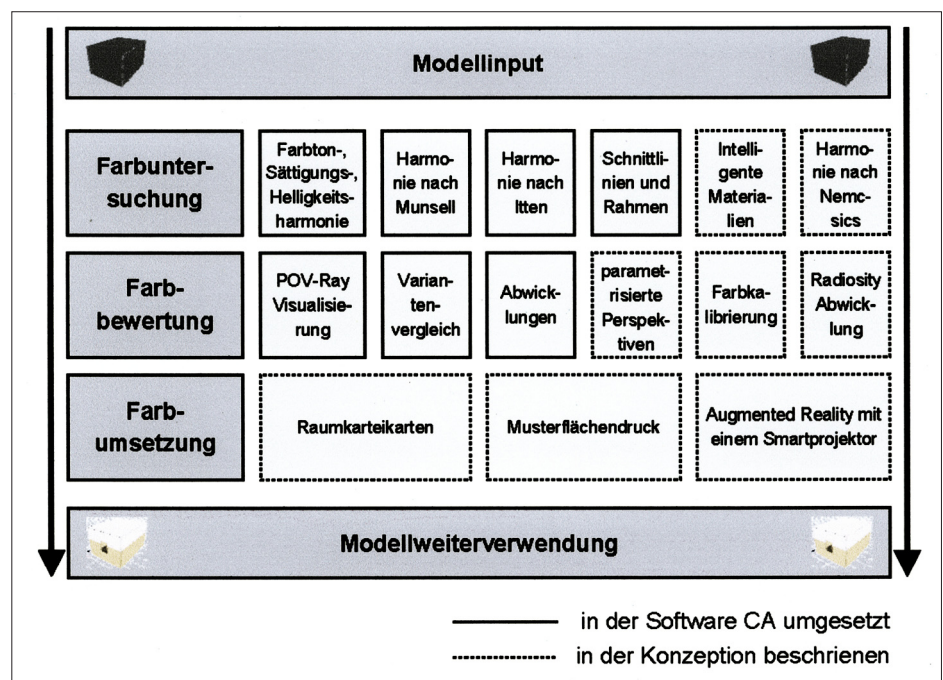


Abb. 4.1: Programmaufbau von Colored Architecture [2]

Grundlegend soll CA im Rahmen von Building Information Model (BIM) die gesamte Planung von Farbe, Material und Licht abdecken und zu einem konsistenten Planungsmodell beitragen. Die Applikation greift dabei auf das



zentrale Informationsmodell nach dem Client-Server-Prinzip<sup>2</sup> zurück. Benötigte planungsrelevante Informationen werden vom zentralen Modell bezogen und im Gegenzug werden neue Informationen dem zentralen Modell hinzugefügt.

Die digitale Unterstützung durch CA adaptiert bewährte Vorgehensweisen, Darstellungen und Werkzeuge der gegenwärtigen Planungspraxis. So werden Varianten, Farbstudien, Farbharmonien und Farbkontraste ebenso für die Bewertung und Beurteilung des Entwurfes verwendet, wie Ansichten und Perspektiven eines dreidimensionalen CAAD-Modells. In diesem Zusammenhang bildet die Raumabwicklung eines dreidimensionalen Raumes zu einer interaktiven, konsistent bearbeitbaren zweidimensionalen Planansicht eine innovative Darstellungsform in CA [20].

Ebenso sind Visualisierungen mit Radiosityberechnungen implementiert, um gegenseitige Wechselwirkungen verwendeter Materialien bewertbar darzustellen. CA unterstützt sowohl eine externe Radiosity-Visualisierung mit POV-Ray (Persistence of Vision Raytracer Pty. Ltd.) als auch eine interne, physikalisch korrekte Radiosityberechnung für den interaktiven Farb- und Materialentwurf.

Die Simulation einer korrekten Tageslichtberechnung ist für den Entwickler von CA von herausgehobener Bedeutung. Dabei ist die Sonne nicht als einzelne Lichtquelle interpretiert, sondern der gesamte Himmel beleuchtet aus allen Richtungen der Himmelskuppel das Architekturmodell. Hierfür wurden 15 definierte CIE - Himmelstypen integriert, welche je nach Sonnenstand, Bewölkung und Atmosphäre unterschiedliche Strahlungseigenschaften haben [20].

Zur Umsetzung der Farb- und Materialkonzeptionen werden Raumkarteikarten, Musterflächenausdrucke und Vor-Ort-Projektion mittels eines SmartProjectors [1] unterstützt.

Für die Untersuchungen in dieser Arbeit stand eine ältere Testversion von „Colored Architecture“ zur Verfügung. In dieser Version war die interne, physikalisch korrekte Radiosityberechnung für den interaktiven Farb- und Materialentwurf noch nicht implementiert.

Von besonderem Interesse ist jedoch das Konzept CA, welches im Rahmen eines Forschungsprojektes ständig weiterentwickelt wird. Aus diesem Grund ist

nicht nur die Testversion die analytische Basis, bisherige Veröffentlichungen zum Stand der Forschungsarbeit [20, 21, 2] finden ebenso Berücksichtigung. Analytische Schwerpunkte sind bei der nachfolgenden Untersuchung die

- 2D-, 3D-Planung,
- Farbauswahl, Farbsysteme,
- Materialauswahl
- Visualisierung,
- Beleuchtung,
- Ausgabefunktionen.

#### 4.1 Benutzeroberfläche

„Colored Architecture“ ist ein eigenständiges Programm, das mit Microsoft Visual C++ 7.0 geschrieben wurde und auf MFC<sup>1</sup> basiert, sodass die grafische Benutzeroberfläche ähnlich aufgebaut ist, wie bei bekannten Softwareprodukten von Microsoft (Office u. a.).

Die grafische Benutzeroberfläche gliedert sich in die allgemeinen Werkzeugleisten, die Farbharmonieleiste, die Farbwahlleiste und das Fenster zur grafischen Darstellung des Geometriemodells. Das Geometriemodell wird in der Draufsicht, Vorder- und Seitenansicht sowie in der Perspektive dargestellt, wobei sich die einzelnen Ansichtsgrößen frei einstellen lassen.

- 1 Navigationswerkzeuge
- 2 Darstellungswerkzeuge
- 3 Selektionswerkzeuge
- 4 Werkzeuge zur Farbgestaltung
- 5 Farbharmonieleiste
- 6 Farbwahlleiste
- 7 Perspektive-, Grundriss- und Ansichtsfenster

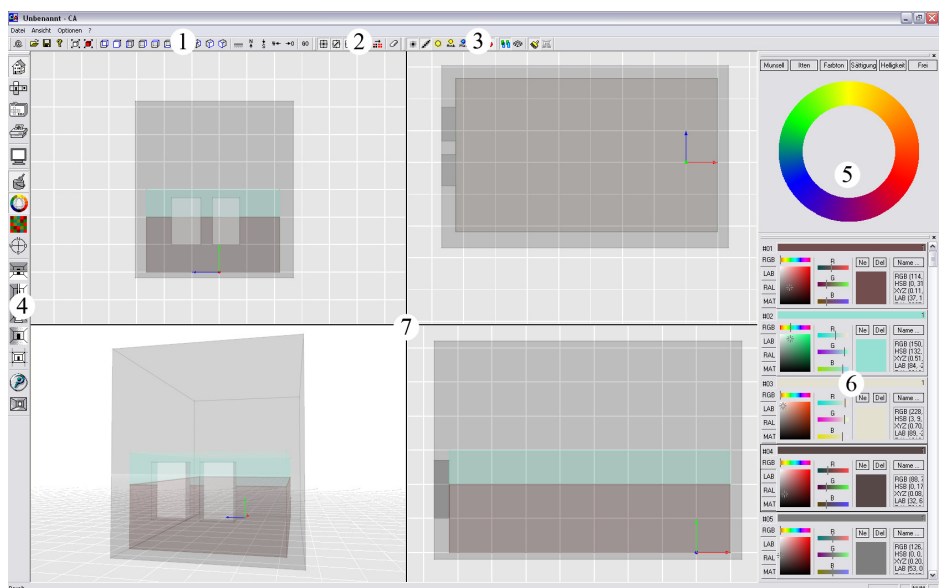


Abb. 4.2: Aufbau der Benutzeroberfläche von Colored Architecture

## 4.2 Entwurf – 2D/3D-Planung

Sowohl einfache, zweidimensionale Zeichnungen, die skizzenhaft der Vorplanung entspringen, als auch komplexe dreidimensionale Gebäudemodelle können in CA geöffnet oder importiert werden, um Grundlage für den Farb- und Materialentwurf zu sein.

Die Betrachtung der geöffneten Geometrien erfolgt in verschiedenen Ansichtsfenstern, die eine 2D- oder 3D-Sicht in Grundriss, Ansicht und Perspektive ermöglichen (siehe Abb. 4.2). Bei diesen verschiedenen Ansichten handelt es sich um jeweils unterschiedliche Kamera-Abbildungen desselben Modells.

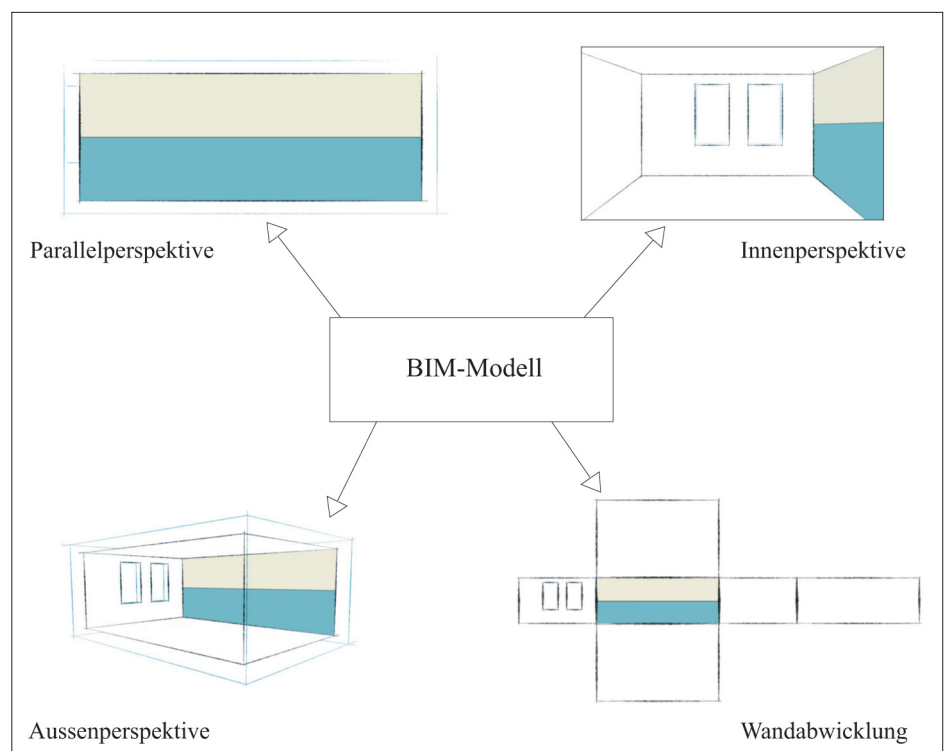


Abb. 4.3: Verschiedene Ansichten vom gleichen BIM-Modell. Änderungen in einer Ansicht betreffen immer das gesamte Modell und werden unverzüglich von allen anderen Ansichten berücksichtigt.

Das Geometriemodell kann in CA begrenzt bearbeitet werden. Operationen wie Schnittlinien und Schnittrahmen dienen dazu das 3D-Modell zu differenzieren

(z.B. Bordüren, Sockel, Scheuerleisten und Türrahmen), sie werden in den planaren Ansichten und in der Abwicklung angewendet.

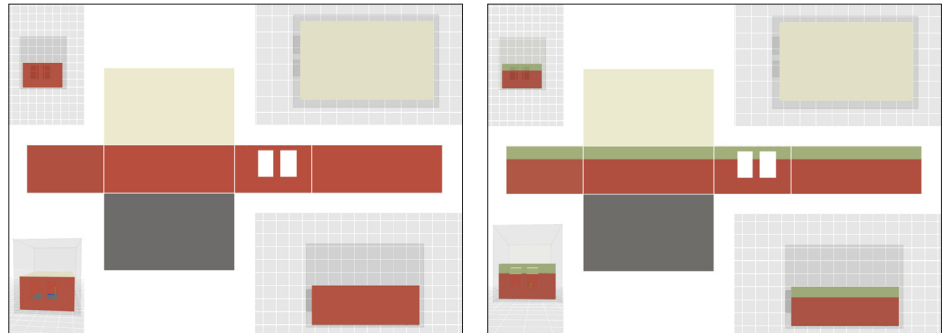


Abb. 4.4: Mit der Funktion „Schnittlinien erzeugen“ wurden die roten Wandbereiche geteilt, um ihnen unterschiedliche Farben zuzuweisen.

### 4.3 Entwurf – Farbauswahl, Farbsysteme

CA bietet mehrere Möglichkeiten an, Farben zu untersuchen. Je nach Vorgehensweise können verschiedene Beleuchtungssysteme Berücksichtigung finden oder zunächst unberücksichtigt bleiben, da Licht, Schatten und farbige Reflexionen die Darstellung der Farbe entscheidend beeinflussen.

Neben der Arbeit mit Geometriemodellen unterstützt Colored Architecture mit der Farbstudienleiste ein abstraktes Umgehen mit Farbe. Im Zeichenbereich wird ein Rechteck beliebiger Dimension aufgespannt und durch Hilfslinien in Flächen unterteilt. Dies kann manuell oder automatisiert über einen vordefinierten Parameterdialog erfolgen.

Die Flächen können dann mit Farben belegt und in ihren Abhängigkeiten zueinander variiert werden. So lassen sich schnell Farbuntersuchungen durchführen, die zu einer ersten Eingrenzung des Farbspektrums führen.

Die eigentliche Farbwahl wird über einen Farbwahldialog durchgeführt.

Hierbei handelt es sich um ein Fenster, in dem verschiedene Farbwerte über differenzierte Karteikarten und Wahlfelder je nach Bedarf eingestellt werden. Die Größe dieses Fensters variiert individuell. Der getestete Prototyp unterstützt die Farbsysteme RGB und HSB, sowie die Farbpaletten RAL Classic und RAL Design. Andere Farbsysteme und -paletten sollen hinzugeladen werden können.

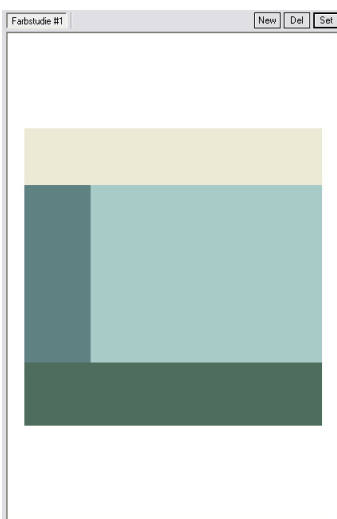


Abb. 4.5: Farbstudienleiste

Die verschiedenen Farbsysteme und -paletten werden ineinander umgerechnet und im „Farbinformation Textfeld“ ausgegeben.

Bei der Verwendung von mehreren Farbvarianten werden die Farbwerte der inaktiven Farbvarianten als Referenz, symbolisiert durch kleine Fadenkreuze und Striche, angezeigt.

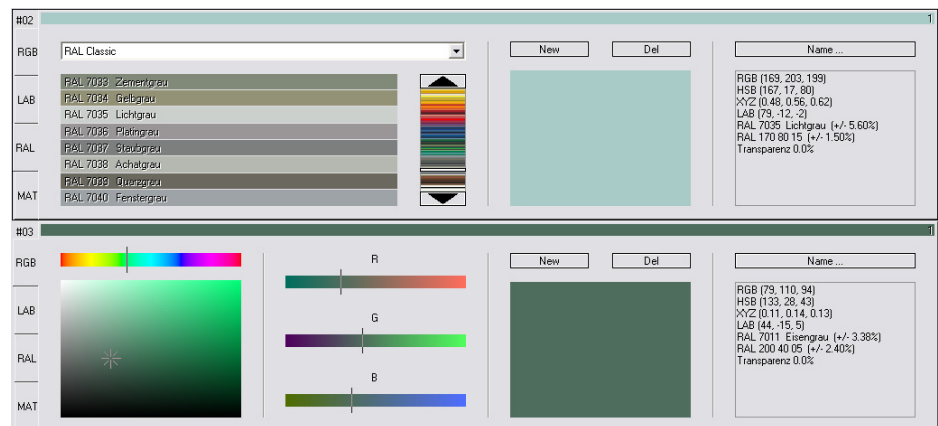
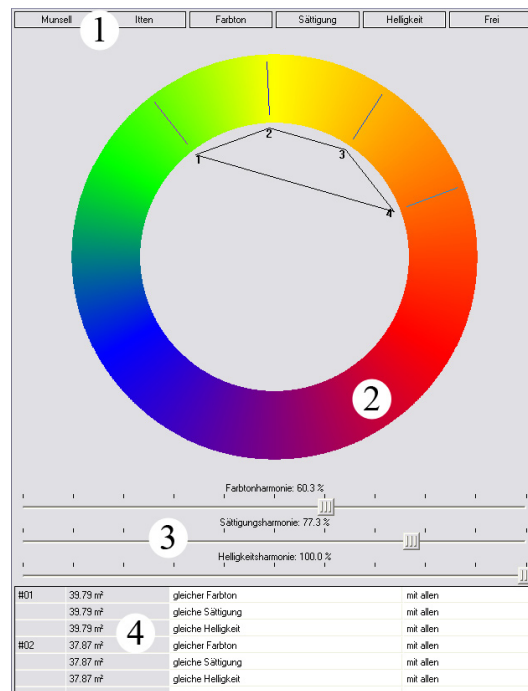


Abb. 4.6: Farbwahl-Dialog

Die Farbzweisung erfolgt nach der Drag&Drop<sup>3</sup> –Methode, womit die Farbattribute aus dem grafischen Dialog der Farbwahlleiste auf die Geometrieoberfläche übertragen werden. Dabei wird der Grundgedanke von „BIM“ mit einem objektorientierten Bauwerksmodell verfolgt, sodass sich Änderungen im Farbdialog sofort auf alle Oberflächen auswirken, die mit den entsprechenden Attributen verknüpft sind. Auf diese Weise werden Redundanzen vermieden, da nicht jede Farbänderung erneut einer Oberfläche zugewiesen werden muss.

Ein besonders hervorzuhebendes Werkzeug bei der Farbauswahl stellt der Dialog zu den Farbharmonien dar. Mit diesem Dialog können Farbbeziehungen zwischen einzelnen Farbobjekten festgelegt und verwaltet werden. Hierzu stehen Farbharmonien nach Munsell, Itten und Nemcsics (Farbharmonie nach Nemcsics wurde noch nicht umgesetzt) zur Verfügung, bzw. Schaltflächen wie „Farbton“, „Sättigung“ und Helligkeit“, die die selektierten Farbobjekte auf den gleichen Farbton, die gleiche Sättigung oder die gleiche Helligkeit setzen. Visuelles Feedback über die gewählten Einstellungen erfolgt über einen interaktiven Farbkreis nach Itten, sowie Schieberegler, die ebenfalls interaktiv

den Grad der Farbton-, Sättigungs- und Helligkeitsharmonie angeben. Die Tabelle im unteren Bereich des Dialoges listet alle Farbbeziehungen detailliert auf.



1 Schnellwahlbuttons der Farbharmonien

2 Farbkreis nach Itten

3 Schieberegler für den „Grad“ der Harmonien

4 Tabelle mit den Farbbeziehungen

Abb. 4.7: Farbharmonieleiste

#### 4.4 Entwurf – Materialauswahl

Zum gegenwärtigen Zeitpunkt unterstützt der Softwareprototyp CA nur Farben an sich, ohne weitere Materialeigenschaften zu berücksichtigen. Konzeptionell ist ein Auswahldialog vorgesehen, um weitere Materialeigenschaften mit CA darstellen zu können.

Mehrere Möglichkeiten Materialien zu simulieren sollen angeboten werden. Zum einen können Materialparameter (u. a. Transparenz, Spiegelung, Streuung) für Putze, Steine, Beton, Tapeten, Stoffe, Fliesen und Hölzer prozedural<sup>4</sup> generiert werden, zum anderen sollen Bilddateien aus Datenbanken verwendet werden, um entsprechend gekachelt und gemappt<sup>5</sup> gewünschte Materialien zu simulieren.

## 4.5 Farbbewertung – Visualisierung

Um die Farbbewertung zu unterstützen, adaptiert CA typische Arbeitsweisen des Architekten, wie die Erstellung von Perspektiven, Ansichten und Abwicklungen. Dabei ist die Option, ein dreidimensionales Raummodell als zweidimensionale Wandabwicklung zu betrachten, eine weitere spezifische Darstellung vom zentralen Modell und darf nicht als losgelöste Zeichnung vom CAAD-Modell missverstanden werden.

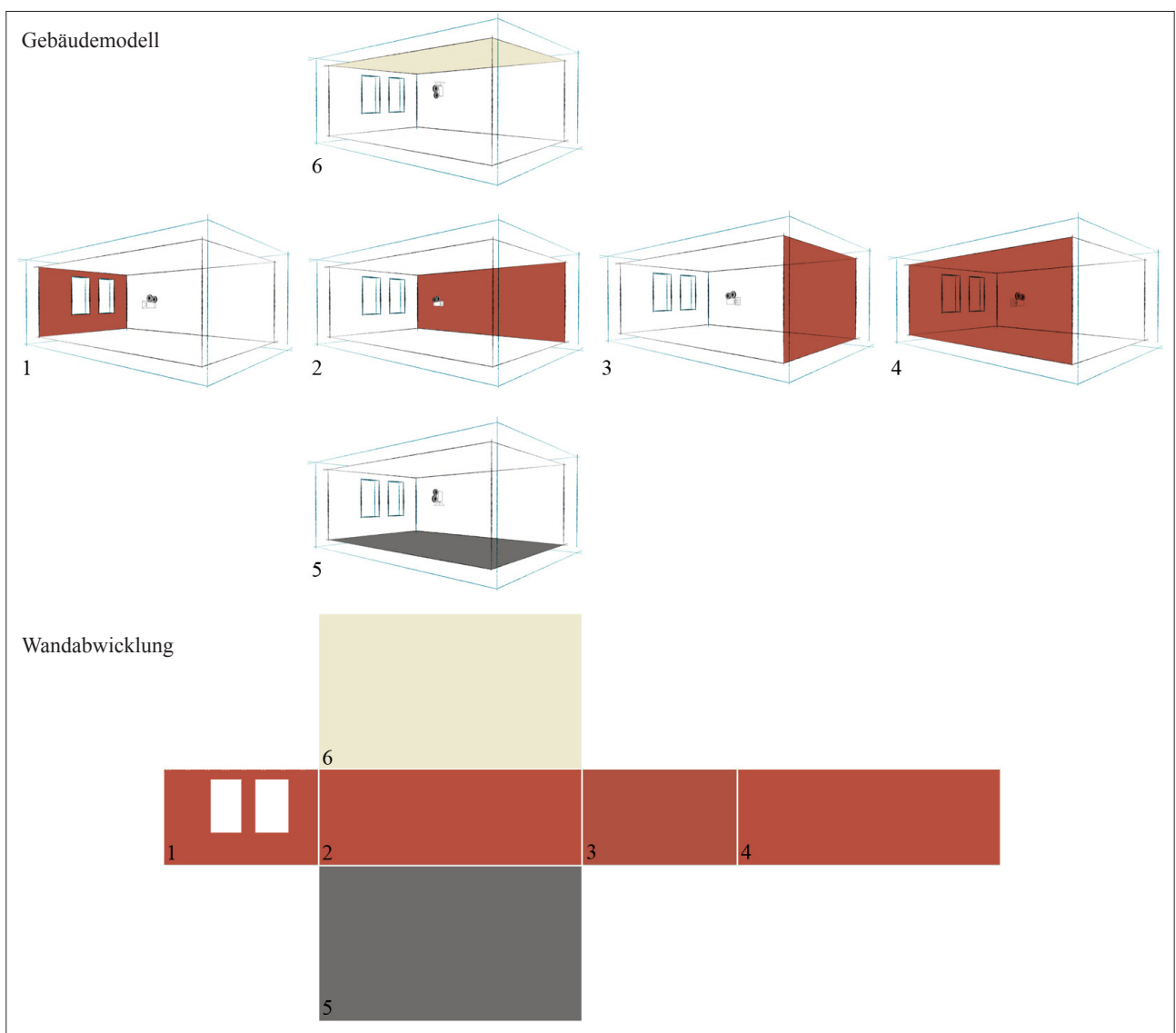


Abb. 4.8: Prinzipdarstellung - Generierung einer Wandabwicklung. Einzelne Kameransichten vom zentralen Gebäudemodell bilden zusammenhängend die Wandabwicklung.

Sowohl die Farbbeurteilung, als auch die Bewertung der Materialien unterstützt CA mit Radiosity-Lichtberechnungen. Zwei Verfahren sind für die Berücksichtigung der Beleuchtungssituation vorgesehen, eine externe Radiosity-Visualisierung mit POV-Ray und eine interne, physikalisch korrekte Radiosityberechnung.

Die Radiosity-Visualisierung via POV-Ray ist eine nachträgliche Berechnung und muss nach Material- oder Lichtveränderungen erneut durchgeführt werden, um für den Farb- und Materialentwurfsprozess angemessene Darstellungen zu erhalten. Hingegen erlaubt die interne Radiosityberechnung Sonnenstand, Beleuchtung und Materialität nach einer einmaligen Vorberechnung zu variieren, sodass im Entwurfsprozess eine schnelle und hochwertige Farb- und Materialbewertung interaktiv vorgenommen werden kann.



Abb. 4.9: POV-Ray-Visualisierung einer Farbstudie.

#### 4.6 Farbbewertung – Beleuchtung

Für physikalisch korrekte Farb- und Materialsimulationen ist die Berücksichtigung der Lichtsituation unumgänglich.

Im Softwareprototyp CA finden zunächst Beleuchtungsmodelle Berücksichtigung, die natürliche Lichtquellen bzw. das Tageslicht simulieren,



wobei die ältere Testversion von CA nur eine Lichtquelle besitzt, die das Sonnenlicht imitiert. Die entsprechenden Einstellungen dazu werden über den POV-Ray-Renderer vorgenommen, der den Sonnenstand über die Nordrichtung der Geometrie, die Höhe und den Azimut definiert.

In aktuellen Versionen von CA sind genauere Beleuchtungsmodelle vorgesehen, die die Strahlungseigenschaften der natürlichen globalen Beleuchtung in Abhängigkeit des Sonnenstandes, der Bewölkung und der Atmosphäre simulieren [20].

#### 4.7 Farbumsetzung – Ausgabetechniken

CA soll eine praxisnahe Ausgabe der Planungsergebnisse gewähren. Dazu unterstützt die Software sogenannte ICC-Farbprofile, um Peripheriegeräte untereinander zu kalibrieren und eine verlustfreie Interpretation digitaler Farb- und Materialparameter zu sichern.

Vorgesehen ist die Ausgabe von Raumkarteikarten mit entsprechenden Farbzusammenstellungen, die Ausgabe von Musterflächendrucke in unterschiedlichen Maßstäben sowie das Projizieren der Entwurfsergebnisse mittels eines „Smart-Projektors“ vor Ort.

#### 4.8 Fazit der Analyse

Mit „Colored Architecture“ hat Tonn ein Softwarekonzept vorgestellt und teilweise umgesetzt, das im Rahmen des Forschungsthemas „Plausibilität im Planungsprozess“ am Lehrstuhl Informatik in der Architektur an der Bauhaus-Universität Weimar entsteht. CA stellt Architekten auch beim computergestützten Farb-, Material- und Lichtentwurf ein konsistentes Datenmodell zur Verfügung, einhergehend mit plausiblen und fachspezifischen Werkzeugen und Hilfen, sowohl beim Entwerfen, Verifizieren, als auch beim Umsetzen der jeweiligen Konzepte. CA greift dabei auf bewährte Vorgehensweisen, Darstellungen und Werkzeuge der bisherigen Planungspraxis zurück, interpretiert diese für die digitale Anwendung und formuliert neue Ausgabemöglichkeiten in diesem Zusammenhang. Letzteres nennt Tonn im

Bezug zu der SmartProjector-Technologie, die eingesetzt werden soll, um Entwürfe vor Ort zu evaluieren.

Doch insbesondere Ausgabe- und Darstellungsmethoden betreffend, greift Tonn auf bekannte Techniken zurück, die sich auf Drucke und Monitordarstellungen begrenzen. Einhergehend mit der MFC-basierten Benutzeroberfläche, die subjektiv betrachtet nicht jedem intuitiv erscheint, bietet CA noch Raum für innovative Nutzerinteraktionen, im Bestreben nach Plausibilität im Planungsprozess für Farbe, Material und Licht.

Mit der Absicht den Planungsansatz von CA mit neuen Ideen zu erweitern, wird im folgenden Kapitel ein Konzept entwickelt, welches die Projektionstechnologie SmartProjector nicht nur bei der Farbumsetzung vorsieht, sondern ebenso beim Entwerfen und Beurteilen einsetzt. Dazu werden alternative Interaktionsmöglichkeiten zwischen dem Nutzer und dem System formuliert, die den gegenwärtigen Stand der Technik aufgreifen.

## 5. Konzept von SARSamplingKit

Auf Basis der vorangegangenen Projektrecherchen (Kapitel 2.3.1), der Betrachtung zur gegenwärtigen Planungspraxis (Kapitel 3) und der Software Colored Architecture (Kapitel 4) wird in diesem Kapitel das Prototypkonzept SARSamplingKit entwickelt.

SARSamplingKit soll die dynamische Planung von Farbe, Material und Licht vor Ort, in einer Spatial Augmented Reality –Umgebung unterstützen. Das Augenmerk liegt dabei in der Formulierung intuitiver Interaktionsmöglichkeiten zwischen dem Planer (Nutzer) und dem Computer-System. Hierzu werden innovative Projektions- und Trackingverfahren genutzt.

Zunächst wird die Idee der dynamischen Planung von Farbe, Material und Licht prinzipiell beschrieben. Folgend werden die eingesetzten Schlüsseltechnologien vorgestellt und im Anschluss in den entsprechenden Kontext zum dynamischen Planungsprozess gesetzt.

### 5.1 Die Fiktion einer dynamischen Planung von Farbe, Material und Licht

In Kapitel 3 wird die gegenwärtige Planungspraxis als relativ statischer Prozess dokumentiert. In diesem Konzept wird nun ein dynamischer Prozess entwickelt, bei dem sich die einzelnen Arbeitsschritte (Analyse, Entwerfen, Bewerten, letztlich sogar die Umsetzung) gegenseitig und in unbestimmter Reihenfolge permanent beeinflussen können.

#### Analyse

Wie die derzeitige Planungspraxis sieht dieses Konzept zunächst die Analyse der baulich-räumlichen Situation vor Ort vor, um Planungsgrundlagen zu ermitteln.

Bereits vorhandene Farben angrenzender Bauteile oder Nachbarbebauungen, die Vegetation, Blickbeziehungen der Räume zur Umwelt, Lichtverhältnisse, Raumdimensionen, vorgesehene Funktionen und Zielgruppen sind dabei u. a. Gegenstand der Untersuchung. Ebenso werden Ansprüche bzgl. der Planungsaufgabe formuliert.

Damit in den anderen Planungsphasen vor Ort auf die Analyseergebnisse zurückgegriffen werden kann, werden diese direkt dem BIM-Modell übergeben, wobei unterschiedliche Schnittstellen zum Einsatz kommen können, die hier nicht näher untersucht werden.

### Entwurfsphase

Je nach Arbeitsweise des Planers und je nach Komplexität und Art der Gestaltungsaufgabe unterscheiden sich die Vorgehensweisen in der Entwurfsphase. Somit ist die Anwendung der folgend beschriebenen Entwurfsschritte frei wählbar.

Die Entwurfsphase beginnt meist mit einer gedanklichen Auseinandersetzung des Architekten (Schritt I) mit der Planungsaufgabe. Es entstehen zunächst erste Gestaltungskonzepte im Bewusstsein des Planers, wobei Farb- und Materialkombinationen bzw. Beleuchtungssituationen aus dem Erfahrungsfundus des Planers imaginär kombiniert werden. Unterstützung bekommt der Planer dabei durch Projektions- und Aufnahmetechnologien, die vor Ort Bilder aus digitalen Erlebnisdatenbanken darstellen bzw. jene Datenbanken erweitern können.

Im zweiten Schritt folgen grundlegende gestalterische Untersuchungen. Hierbei versetzt die digitale Vor-Ort-Projektion der Erfahrungsbilder den Planer sofort in die Lage, vertiefend grundlegende Vorstudien bzw. Varianten zu erstellen. Bearbeitungsfunktionen helfen, die Erfahrungsbilder an die aktuelle Planungsaufgabe anzupassen oder neu zu kombiniert.

Abschließend werden die einzelnen Entwurfsmuster im komplexen Planungszusammenhang differenziert (Schritt III). Dazu stellt die Projektionstechnologie in der SAR-Planungsumgebung permanent den Bezug zwischen dem Planungsmodell und dem Planungsobjekt her. Auf diese Weise kann der Planer in einer weiteren Vertiefung seines Entwurfes unverzüglich das komplexe Wechselspiel zwischen Farbe, Material und Licht in der Planungsumgebung prüfen.

### Bewerten

Das Bewerten der so im realen Kontext entstandenen Collagen, Varianten und der Studien von Harmonien und Kontrasten findet in unmittelbarer Folge, fast simultan zum Entwurf statt, sodass gestalterische Wechselwirkungen zwischen Entwerfen und Bewerten bestmöglich digital unterstützt werden.

### Umsetzung

Der Arbeitsprozess des Entwerfens und Bewertens geht einher mit der Entscheidung für eine umzusetzende Variante, die ebenso im Planungskontext mittels Projektion dargestellt wird. Auf diese Weise kann gleichermaßen eine Abstimmung mit Fachplanern und dem Bauherrn stattfinden und die Einhaltung der Entwurfsprämissen vor Ort geprüft werden. Im Ergebnis wird Planungssicherheit erlangt.

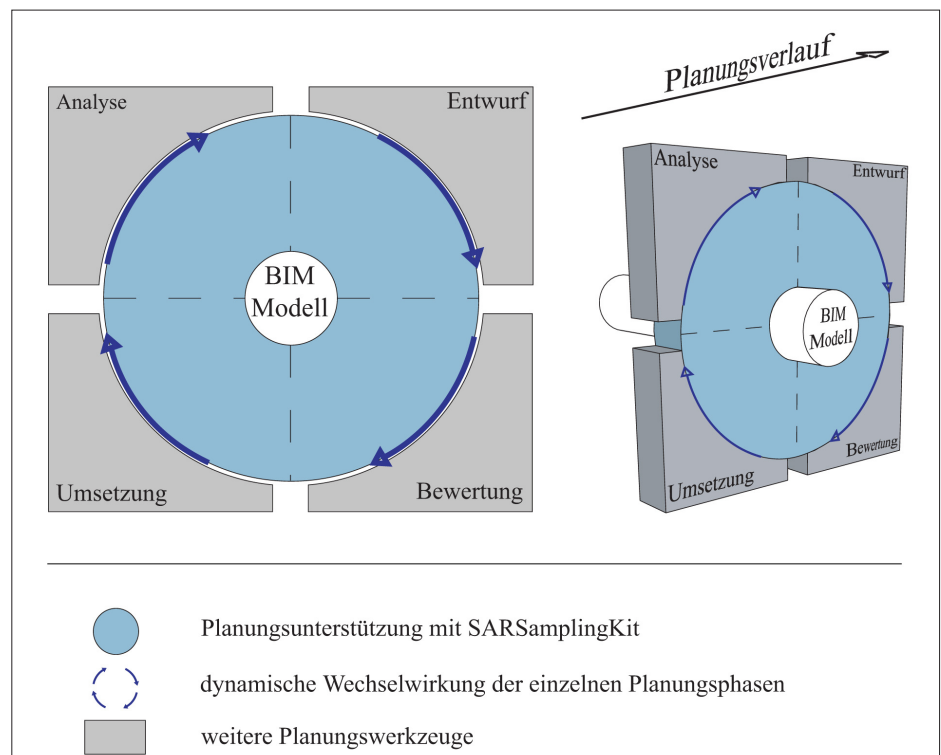


Abb. 5.1: Schema vom dynamischen Verlauf der Planung von Farbe, Material und Licht.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass im Besonderen die Planung **vor Ort** den dynamischen Prozess charakterisiert.

## 5.2 Verwendete Technologien

Um die Idee des dynamischen Planungsprozesses von Farbe, Material und Licht in der gebauten Umgebung realisieren zu können, sind unterschiedliche Technologien vorgesehen.

Zunächst die von Bimber et al. entwickelte Projektionstechnologie „SmartProjector“ [1]. Diese Technik wird dazu verwendet, beliebige Informationen, die beim Planen in der gebauten Umgebung benötigt werden, auf die Oberflächen zu projizieren, die in diesem Zusammenhang relevant sind.

Die Hardware zu diesem Projektionssystem setzt sich aus einem Computer mit einer TV-Karte und einer Pixel-Shader -fähigen Grafikkarte (das entspricht gegenwärtig dem handelsüblichen Standard), einem leuchtstarken Projektor und einer digitalen Kamera zusammen. In Kombination mit der Software „SmartProjector“ ist diese Hardwarekonfiguration in der Lage, den Projektor so zu kalibrieren, dass digitale Inhalte auf nahezu beliebige Oberflächen projiziert werden können, wobei Strukturen und Farben von unregelmäßigen Projektionsflächen erkannt und ausgeglichen werden. Die Projektion auf beliebigen Oberflächen entspricht dabei der Projektion auf ideal weißen Leinwänden.

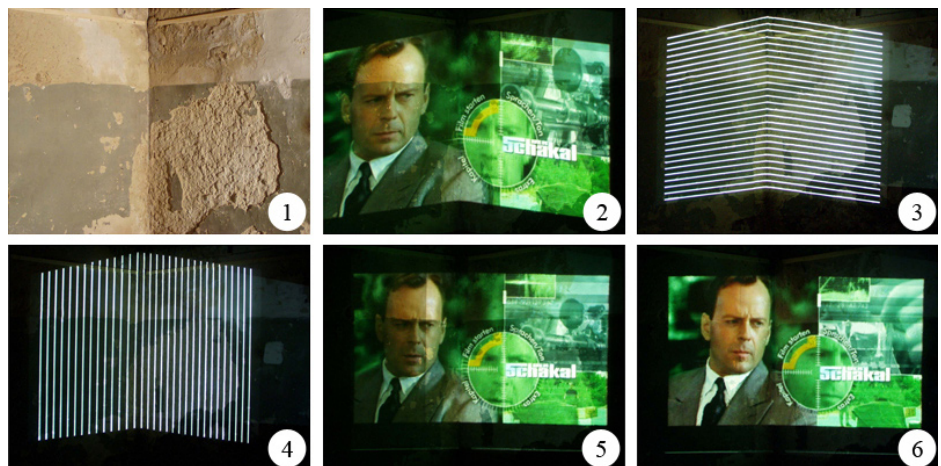


Abb. 5.2: Projektion mit SmartProjector auf eine beliebige Oberfläche. (1) Projektionsfläche, (2) unkorrigierte Projektion, (3) (4) Abtasten der Projektionsfläche, (5) Geometriekorrektur, (6) Geometrie- und Farbkorrektur [1]

Damit der dynamische Planungsprozess vor Ort überhaupt erst stattfinden kann, ist neben der Projektionstechnik, die Interaktionsfähigkeit zwischen dem Planer und dem Projektionssystem in Echtzeit von wesentlicher Bedeutung. Im

weiteren Verlauf dieser Arbeit werden verschiedene Interaktionsmöglichkeiten vorgestellt, die sich keiner grafischen Benutzeroberfläche bedienen. Für deren Realisierung sind geeignete Trackingverfahren zu wählen, die den Bezug zwischen dem Nutzer und dem System herstellen.

Aus der Vielzahl existierender Trackingsysteme werden in diesem Konzept zwei optische Trackingverfahren angewendet (siehe Kapitel 2.2.2 – Räumliche Scans), das Tracken optischer Marker und das Laser-Pointer-Tracking.

Zum einen wird für die verschiedenen Nutzerinteraktionen das Marker-Tracking aus der Softwarebibliothek ARTag [www6] genutzt. Die Softwarebibliothek ARTag ist seit 2004 für Forschungszwecke frei verfügbar und wurde inspiriert von ARToolkit [www7] am National Research Council (Institute for Information Technology) in Kanada für Augmented Reality Applikationen entwickelt. Die ARTag-Softwarebibliothek stellt u. a. Funktionalitäten zur Verfügung, um optische Marker in realen Umgebungen zu erkennen und Positions- und Orientierungsdaten der Marker in Relation zur registrierenden Kamera zu ermitteln. Die benötigte Hardware, eine einfache Videokamera oder eine Webcam, ist kommerziell verfügbar und die Marker können selber hergestellt werden, so dass die Umsetzung kostengünstig zu realisieren ist.



Abb. 5.3: Projekt „Magic Mirror“ - ARTag-Marker werden von einer Kamera getrackt, um Positions- und Orientierungsdaten von der realen in die virtuelle Welt zu übertragen [www6].

Verwendet wird dieses optische Marker-Tracking-System während des Planungsprozesses vor Ort, um interaktiv Funktionen auszulösen oder zu steuern bzw. um interaktiv relative Positionskoordinaten zu ermitteln.

Das zweite Trackingverfahren, das grundlegend für Interaktionsmöglichkeiten zwischen dem Nutzer und dem System während des Planungsprozesses vor Ort ist, ist das Laser-Pointer-Tracking-Verfahren, das gegenwärtig an der Fakultät Mediensysteme der Bauhaus-Universität Weimar von D. Kurz et al. [www2] entwickelt wird.

Bei diesem Trackingverfahren kann in einer geometrisch bekannten Umgebung mit Hilfe einer steuerbaren Pan-Tilt-Zoom-Kamera die komplette Umgebung aufgezeichnet werden. Nachdem das virtuelle Geometriemodell der Umgebung und der Standpunkt der Pan-Tilt-Zoom-Kamera synchronisiert sind, kann jedem Pixel im Kamerabild ein Punkt im virtuellen Geometriemodell zugeordnet werden.

Auf diese Weise lässt sich eine Laserpointerinteraktion im Raum realisieren, indem die räumliche Position des im Kamerabild erkannten Laserpointerpunktes durch die Zuordnung ermittelt wird.

Der Laserpointer kann auf beliebigen Oberflächen in der realen Planungsumgebung als Arbeitswerkzeug (ähnlich einer Maus) eingesetzt werden.

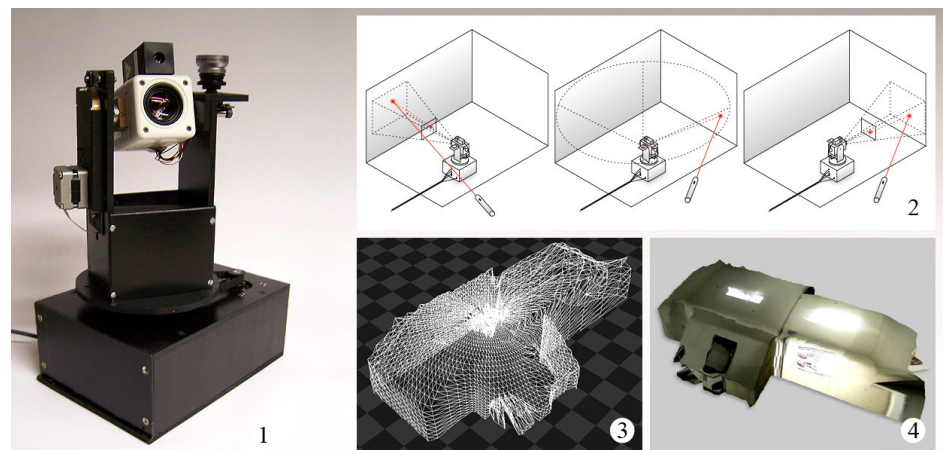


Abb. 5.4: Laserpointertracking-System - (1) Pan-Tilt-Zoom-Kamera, (2) Verfolgung des Laserpointers mit der Pan-Tilt-Zoom-Kamera, Netzmodell (3) und Rendering (4) eines von der Pan-Tilt-Zoom-Kamera gescannten Raumes [www2].



### 5.3 Konzeptionelle Umsetzung des Prototyps SARSamplingKit

Im folgenden Abschnitt wird die Unterstützung der in Kapitel 5.1 beschriebenen Planungsphasen durch SARSamplingKit erläutert. Hierzu werden nacheinander verschiedene Funktionen von SARSamplingKit vorgestellt, die interaktiv gesteuert werden.

Die Verwendung eines einfachen Setups, das einfache Interaktionen unterstützt, ist hierbei eine zentrale Zielstellung, um dem Planer grundlegende Funktionen für die Planungsaufgabe zur Verfügung zu stellen. Der Planer entwirft dabei in und mit der vorhandenen Bausubstanz und agiert direkt vor dem zu planenden Objekt. Farben und Materialien werden im Entwurfsprozess auf das Planungsobjekt projiziert und interaktiv bearbeitet ohne dabei eine grafische Benutzeroberfläche auf das Planungsobjekt zu projizieren (die die Sicht auf das Planungsobjekt einschränken würde) bzw. einen separaten Arbeitsplatz zu benötigen (der vom Planungsobjekt ablenken würde).

#### 5.3.1 Setup des Prototyps SARSamplingKit

Das Setup für den Prototyp SARSamplingKit setzt sich aus dem Projektionssystem und den beiden Trackingsystemen zusammen, die von einem Tablet-PC oder PDA gesteuert werden.

Das Projektionssystem besteht aus einer digitalen Videokamera und einem leuchtstarken Projektor. Diese Hardware ist an den Tablet-PC angeschlossen, der mit Hilfe der SmartProjector-Software die Farb- und Geometriekorrektur steuert.

Das Markertracking-System nutzt für die Bildaufzeichnung die Videokamera des Projektionssystems, sowie die optischen Marker aus der ARTag-Softwarebibliothek.

Das System für die Laserpointer-Interaktionen besteht aus der von D. Kurz et al entwickelten Pan-Tilt-Zoom-Kamera und einem handelsüblichen Laserpointer der zusätzlich mit einer kabellosen Taste versehen ist.

Zudem benutzt der Planer in diesem Konzept bewährte Hilfsmittel, wie Farbfächer, katalogisierte Bemusterungsbeispiele und Materialproben.

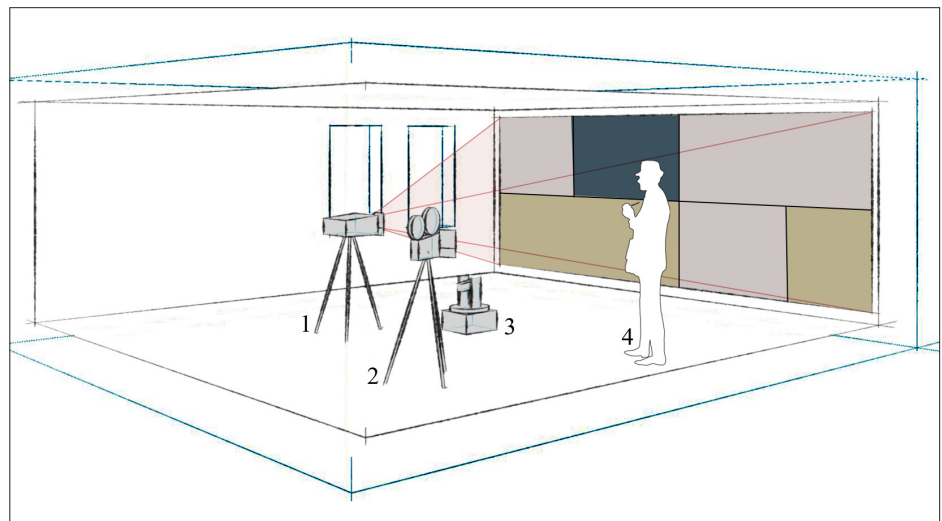


Abb. 5.5: konzeptionelles Setup vom Prototyp SARSamplingKit - (1) SmartProjector, (2) Videokamera, (3) Pan-Tilt-Zoom-Kamera, (4) Planer mit Tablet-PC oder PDA

Während der Planung vor Ort projiziert der Projektor farb- und geometriekorrigierte zweidimensionale Planungsbilder auf ein Objekt (z.B. Wand, Decke oder Fußboden), wobei der Planer mit den Planungsbildern interagiert.

Um sowohl die Farb- und Geometriekorrektur, als auch die Nutzerinteraktionen zu realisieren, müssen zunächst das Projektionssystem und das Laserpointing-Trackingsystem auf die zu bemusternde Umgebung abgestimmt werden. Dazu muss das Projektionssystem sowohl die Oberflächenstruktur und die Farbigkeit der Projektionsfläche ermitteln, als auch den Standpunkt des Projektors. Für das Laserpointer-Tracking muss die Position der Pan-Tilt-Zoom-Kamera bestimmt werden.

Die Kalibrierung des Projektionssystems für die Farb- und Geometriekorrektur der Projektionen ist vorgesehen, damit Strukturen und Farben von unregelmäßigen Projektionsflächen, wie Mauerwerk oder Raufasertapeten, ausgeglichen werden. Um die Projektionsflächen zu analysieren, wird über die TV-Karte eine Kamera an den PC angeschlossen. Der Projektor projiziert verschiedene Testraster, anhand derer über die Videokamera die Eigenschaften der Projektionsfläche analysiert werden. Rechnerintern wird dann über die Software „SmartProjector“ jedes einzelne Pixel des Videosignals geometrisch und farblich so berechnet, dass nach entsprechender Korrektur die Projektion in Echtzeit in der richtigen

Farbe, Helligkeit und Geometrie erscheint. Der Vorgang dauert ungefähr 30 Sekunden. [1]

Nach der Kalibrierung wird die Videokamera nicht mehr für das Projektionssystem benötigt, sondern bildet zusammen mit den optischen Markern, als Marker-sensor die Schnittstelle für Benutzerinteraktionen.

Die Einmessung bzw. Kalibrierung der Projektorposition ist notwendig, damit SARSamplingKit die Projektionsfläche mit dem virtuellen Geometriemodell der Bemusterungsumgebung abgleichen kann, um jedem Punkt der Projektionsfläche den äquivalenten Punkt im Geometriemodell zuzuweisen. Für die Kalibrierung wurden im Vorfeld Passpunkte auf dem Bemusterungsobjekt eingemessen, die sowohl im Geometriemodell vorhanden, als auch auf dem Planungsobjekt markiert sind.

Während der Kalibrierung projiziert der Projektor die virtuellen Passpunkte auf das Planungsobjekt mit den realen Passpunkten, sodass zu sehen ist, ob die Punkte übereinstimmen. In der Regel ist das nicht der Fall. Um die Übereinstimmung der Passpunkte zu erzeugen, werden zunächst die realen Passpunkte mit dem projizierten Mauscursor angeklickt, sodass Referenzpunkte definiert sind. Nach dem Prinzip der numerischen Fehlerminimierung, werden im Anschluss die Referenzpasspunkte und die Passpunkte des Geometriemodells abgeglichen und eine Übereinstimmung ist hergestellt.

Die Kalibrierung der Pan-Tilt-Zoom-Kamera mit der Bemusterungsumgebung ist notwendig, damit wiederum jeder von der Kamera aufgenommene Umgebungspunkt mit dem entsprechenden Geometriemodell abgeglichen wird. Auf diese Weise kann ein getrackter Laserpunkt seinem Äquivalent im Modell zugeordnet werden.

Die eigentliche Kalibrierung nimmt das Trackingsystem weitestgehend selbstständig vor. Dazu ist die Pan-Tilt-Zoom-Kamera mit einem Distanzmessgerät versehen, und scannt eigenständig ihre Umgebung in Abhängigkeit zum eigenen Standpunkt dreidimensional ab. Danach wird das gescannte Modell mit dem aufgemessenen Geometriemodell verglichen, sodass sich der Standpunkt auf das Geometriemodell übertragen lässt.

Das Markertrackingsystem wird nicht derartig kalibriert, da für die vorgesehenen Interaktionen keine absoluten Positionskoordinaten der getrackten Marker benötigt werden.

## 5.3.2 Die Planungsphasen mit SarsamplingKit

### 5.3.2.1 Grundlagenermittlung und Analyse

Die Grundlagenermittlung einschließlich der Analyse der baulich-räumlichen Situation vor Ort findet ohne Verwendung des Projektionssystems statt. Die gesammelten Informationen können vor Ort via Tablet-PC oder PDA dem zentralen Informationsmodell übergeben werden, wobei deren Strukturierung nicht Bestandteil dieser Arbeit ist.

Denkbar ist, dass die digitale Videokamera eingesetzt wird, um Bestandsaufnahmen zu dokumentieren, die im weiteren Verlauf der Bearbeitung als Referenz herangezogen werden können.

Ebenso ist es möglich vorhandene Farben angrenzender Bauteile mit Hilfe eines Farbfächers zu spezifizieren und diese Information mit Hilfe eines optischen Markers auf der Rückseite der Farbkarte via Videokamera dem System zu übergeben. Die Information wird mit dem BIM-Modell verknüpft und gegebenenfalls bei der Farbplanung wieder verwendet.



Abb. 5.6: PDA - mit einem derartigen Gerät könnten grundlegende Setup-Einstellungen kontrolliert (z.B. Kalibrierung) und Daten bei der Grundlagenermittlung vor Ort erfasst werden.

### 5.3.2.2 Entwerfen und Bewerten von Farbe, Material und Licht

Das Entwerfen und Bewerten der im realen Kontext entstehenden Collagen, Varianten und der Studien von Harmonien und Kontrasten findet in unmittelbarer Folge, fast simultan statt, sodass gestalterische Wechselwirkungen zwischen Entwerfen und Bewerten permanent vorhanden sind. Aus diesem Grund sind beide Planungsschritte in diesem Kapitel zusammengefasst.

Zum Entwerfen und Bewerten von Farbe, Material und Licht sind verschiedene markerbasierte Interaktionen vorgesehen. Diese Interaktionen unterscheiden sich in Auswahl- und Bearbeitungsinteraktionen.

Es wird keine grafische Benutzeroberfläche gebraucht, die entweder mit auf die Planungsoberfläche projiziert werden müsste oder über einen separaten Arbeitsplatz gesteuert wird. Stattdessen benutzt der Planer bei der Auswahlinteraktion verschiedene reale Werkzeuge, wie Farbfächer oder Farbkarten, Kataloge mit Planungs- oder Produktbeispielen oder Materialproben, deren Handhabung ihm aus der bisherigen Planungspraxis bekannt ist. Der Planer gebraucht diese Interaktionswerkzeuge mit seinen Händen, daher werden sie auch „Handheld Device“ genannt. Auf den einzelnen Farbkarten, den Planungs- oder Produktbeispielen oder den Materialproben sind optische Marker angebracht, die den Bezug zu ihrer digitalen Abbildung herstellen, d.h. die analogen Informationen dieser Werkzeuge sind ebenso digital in Datenbanken vorhanden.

Marker die mit Bearbeitungsinteraktionen verknüpft sind, sogenannte Markertools, gebraucht der Architekt ebenso mit seinen Händen. Sie steuern verschiedene Funktionen, wie das Ändern von Farb- oder Reliefeigenschaften von Materialien, das Erzeugen von Farbharmonien, das Speichern von Entwurfsvarianten oder das Anzeigen unterschiedlicher Leuchtquellen.

Aktiviert werden Bearbeitungsinteraktionen, indem das entsprechende Markertool mit Hilfe der Videokamera und ARTag vom System registriert (getrackt) wird.

### Auswahl von Planungsbildern

Wie in Abschnitt 5.1 beschrieben, erfolgt die Unterstützung der imaginären Auseinandersetzung des Planers mit der Planungsaufgabe, indem er vor Ort zunächst in Katalogen Inspiration sucht. Diese Kataloge enthalten ausgewählte Planungsbilder von interessant erscheinenden Farb- und Materialkombinationen bzw. Beleuchtungssituationen. Jedes Planungsbild ist mit einem Marker kodiert und ebenso aus einer Datenbank abrufbar. Möchte der Architekt Planungsbilder mit der aktuellen Planungssituation verknüpfen, hält er das Planungsbild mit dem implementierten Marker in den Aufnahmebereich der Videokamera. Der optische Marker wird mit Hilfe der Videokamera vom System erkannt und interpretiert, sodass die mit dem Marker kodierten Informationen aus der Datenbank auf die Planungsoberfläche projiziert werden. Informationen können in diesem Zusammenhang eine gesamte Szene oder aber Farb- oder Materialharmonien oder Beleuchtungsbeispiele sein.

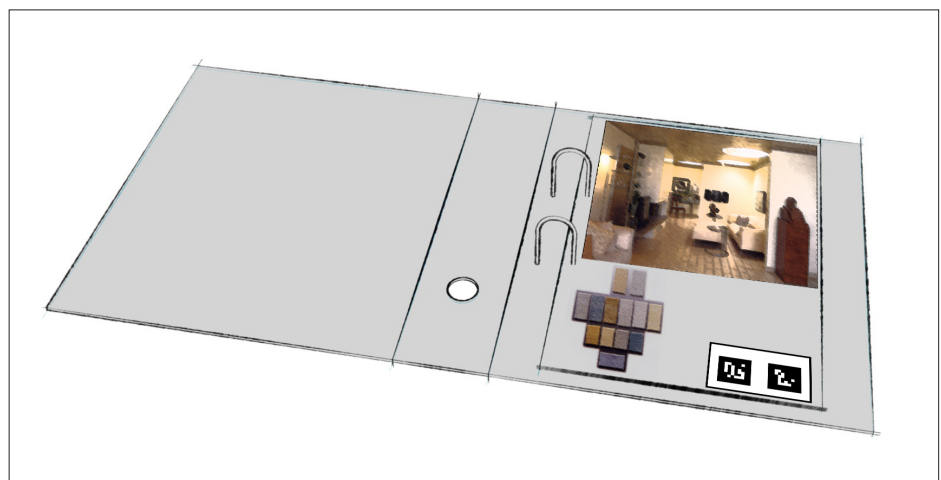


Abb. 5.7: Ordner mit Planungsbildern

### Anlegen, markieren und löschen von Farb- bzw. Materialflächen

Damit Farben oder Materialien verschiedenen Bereichen der Projektionsfläche zugewiesen werden können, müssen diese vorab auf der Bemusterungsfläche definiert werden.

Die Laserpointerinteraktion wird für diese Aktion genutzt, indem der Laserpointer ähnlich einer Maus verwendet wird. Mit dem Markertool „Flächen anlegen“ wird die Funktion aktiviert und der Benutzer zieht mit gedrückter Laserpointer-Taste auf dem Bemusterungsobjekt die gewünschte Fläche auf. Wird die Laserpointer-Taste losgelassen ist die Fläche definiert. Der erstellten Fläche ist standardmäßig eine neutrale Farbe zugewiesen, jedoch keine weiteren Materialeigenschaften.

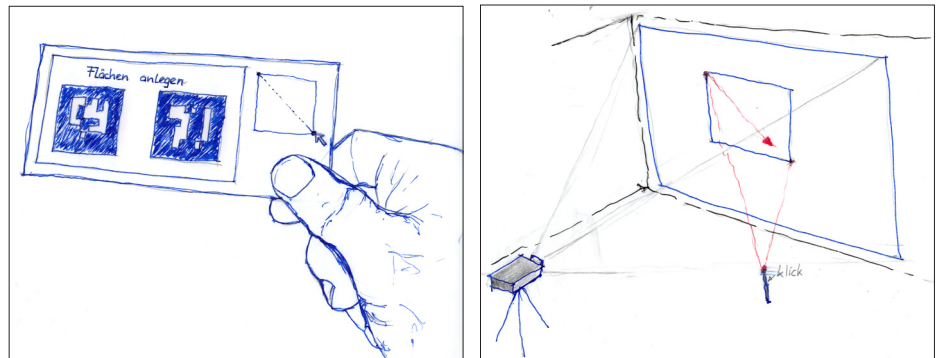


Abb. 5.8: links - Skizze vom Markertool „Flächen anlegen“, rechts - Prinzipskizze vom Erzeugen einer Fläche auf dem Bemusterungsobjekt mit einem Laserpointer

Nach dem gleichen Prinzip funktioniert auch das Markieren oder Löschen einer Fläche. Die jeweilige Aktion wird mit dem entsprechenden Markertool aktiviert und mit einem „Laserpointer-Klick“ auf die gewünschte Fläche wird diese markiert oder gelöscht.

#### Auswahl und Bearbeitung von Farben

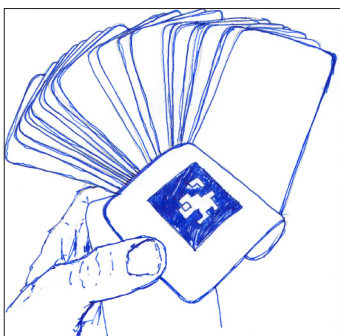


Abb. 5.9: Skizze - Farbfächer mit Marker

Um entweder auf Grundlage von projizierten Planungsbildern oder aber ohne etwaige Vorlagen, Varianten oder Studien im weiteren Entwurfsverlauf zu erarbeiten, müssen Farb- oder Materialparameter auswahl- und bearbeitbar sein. Zunächst wird die Steuerung der Farbparameter beschrieben.

Um der Fläche eine andere Farbe zuzuweisen, benutzt der Architekt als Handheld Device einen Farbfächer. In dem Farbfächer sind auf einzelnen Farbkarten die Farben verschiedener Farbsysteme abgebildet. Der Architekt entscheidet sich aus diesem Farbspektrum für eine Farbe und hält die betreffende Farbkarte in den Aufnahmebereich der Videokamera. Mit Hilfe der Videokamera erkennt

das System den optischen Marker auf der Farbkarte und weist der Fläche die adäquaten Farbwerte aus der internen Datenbank zu, die mit dem Marker kodiert sind.

Die zuvor ausgewählten Farben können mit Markertools weiter differenziert werden. Dazu werden die Farben im HLS-Farbsystem verarbeitet, sodass jede Farbe über drei Farbwerte definiert ist –Farbton (H), Farbhelligkeit (S) und Farbsättigung (L). Diese Farbwerte werden einzeln mit entsprechenden Markertools angesteuert und variiert.

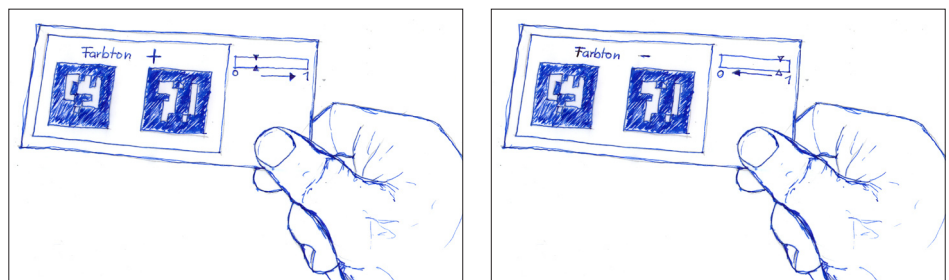


Abb. 5.10: Skizzen vom Markertool für die Steuerung des Farbtons

### Auswahl und Bearbeitung von Materialien

Prinzipiell funktioniert das Auswählen und Bearbeiten von Materialien analog zur Auswahl und Bearbeitung von Farben, es werden lediglich andere Interaktionswerkzeuge genutzt.

Um erstellten Flächen Materialien zuzuweisen, werden als Handheld Device reale Musterproben aus Katalogen oder Musterkisten verwendet. Anhand dieser Musterproben erhält der Planer zunächst ein haptisches und ein visuelles Feedback.

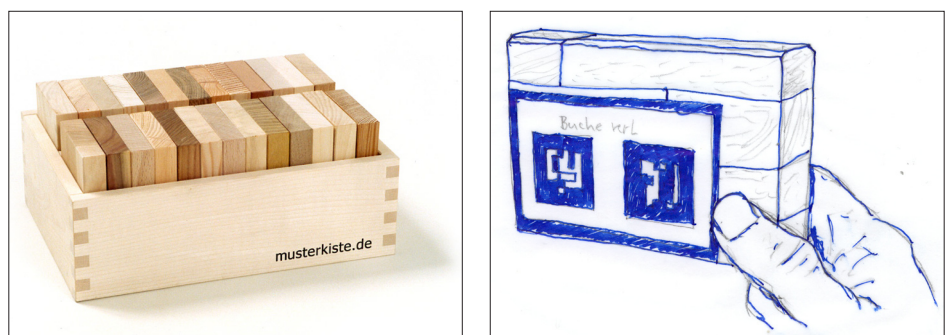


Abb. 5.11: Material-Musterkiste [www8] und Skizze einer Materialprobe aus der Musterkiste mit einem Marker



Diese Materialmuster sind wiederum mit optischen Markern versehen und sind digital verfügbar, sodass nach beliebigen Materialproben auf das Planungsobjekt projiziert werden können.

Die projizierten Materialien haben entsprechend ihrer realen Vorbilder spezifische optische Eigenschaften, die sich u. a. in Parametern für Transparenz, Reliefstärke und Reflektionsverhalten ausdrücken.

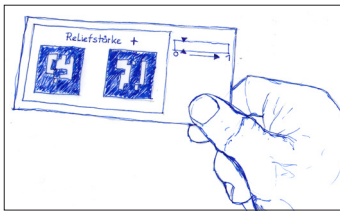


Abb. 5.12: Skizze Markertool zur Steuerung der Reliefstärke

Die optischen Parameter der realen Materialmuster sind nicht ohne weiteres veränderbar. Im Gegensatz zu den realen Materialmustern können die Parameter der virtuellen, projizierten Materialien bearbeitet werden, um die Kreativität des Entwerfenden zu unterstützen.

Die Bearbeitung der optischen Materialparameter erfolgt wiederum analog der Bearbeitung von Farben. Jedem Materialparameter ist dabei ein Markertool zugewiesen, sodass bei entsprechendem Tracking über die Videokamera die Materialparameter auf einer Skala zwischen Null und Eins variiert werden können. Das Resultat der Parameteränderung verfolgt der Architekt in Echtzeit über die Materialprojektion.

#### Das Erzeugen von Farbharmonien

Das von Tonn in *Colored Architecture* ausgearbeitete Werkzeug zur automatischen Generierung von Farbharmonien und –kontrasten (siehe Kap. 4.3) ist sehr nützlich, um schnell Entwurfsvarianten oder –studien zu entwickeln. Daher wird diese Funktion in diesem Konzept adaptiert. Grundsätzlich sind wie in *Colored Architecture* Farbharmonien nach Itten, Munsell und Nemesics [2] vorgesehen, sowie die Möglichkeit Farbflächen bzgl. Farbton, Farbsättigung oder Farbhelligkeit miteinander in Beziehung zu setzen.

Um die einzelnen Farbbeziehungen auszuwählen bzw. zu steuern sind wiederum Markertools festgelegt, sodass der Architekt die Funktionen über ein Handheld Device steuert.

Die Farbharmonie nach Itten beschreibt Tonn in seiner Arbeit, wonach „zwei oder mehrere Farben harmonisch sind, wenn sie zusammengemischt ein neutrales Grau ergeben“ ([2] Seite 16). Derartig nach Itten in Beziehung stehende

Farben werden auch als „harmonische Farbakkorde“ bezeichnet.

In diesem Prototyp werden harmonische Farbakkorde zwischen mehreren Farbflächen gebildet, indem eine Referenzfarbfläche über den verwendeten Touch-Screen ausgewählt wird und danach das Markertool „Harmonie nach Itten“ vom Architekten in den Aufnahmebereich der Videokamera gehalten wird. Danach berechnet das System in Echtzeit einen harmonischen Farbakkord nach den Regeln von Itten, wobei die Referenzfarbe unverändert bleibt. Die einzelnen Farbflächen stehen infolgedessen harmonisch miteinander in Beziehung, wobei diese Beziehung auch bei folgenden Farbwertänderungen aufrechterhalten wird.

Ein weiteres spezifisches Markertool stellt eine Beziehung unter den einzelnen Farbflächen nach den Harmonieregeln von Munsell her. Diese Regeln können in einer mathematischen Beziehung zusammengefasst werden, wonach sich der Flächeninhalt zweier Flächen antiproportional zu dem jeweiligen Produkt aus Farbsättigung und Farbreinheit der Flächen verhält. ([2] Seite 12)

Beziehungen zwischen einzelnen Farbflächen können auch anhand von Farbpräferenzen hergestellt werden ([2] Seite 21). Sich auf Nemcsics beziehend stellt Tonn vier Hauptelemente heraus, die objektiv den Farbwurf für einen Innenraum beeinflussen: die Fensterorientierung, die Raumgröße, die Funktion und die Nutzergruppe des Raumes. Da Nemcsics keine architekturenspezifischen Aussagen bzgl. Nutzergruppen in diesem Zusammenhang trifft, beschränken sich Tonns Konzept und ebenso dieses auf die ersten drei Elemente ([2] Seite 47). Die benötigten Angaben wie Fensterorientierung, relative Raumgröße und Funktion des Raumes werden bereits während der Grundlagenermittlung recherchiert, sodass basierend auf diesen Daten bei der entsprechenden Markerinteraktion mit dem Markertool „Harmonie nach Munsell“ Harmoniebeziehungen nach Farbgestaltungsempfehlungen von Nemcsics erzeugt werden.

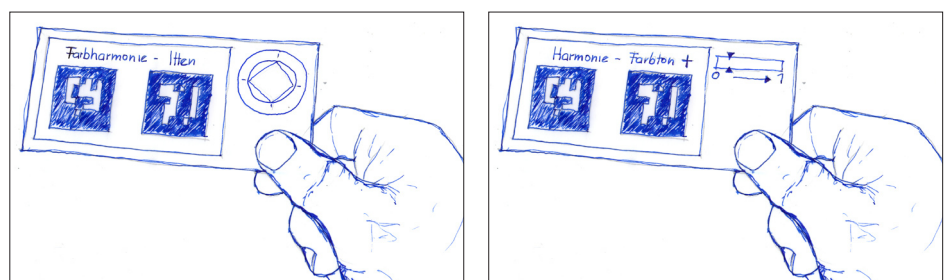


Abb. 5.13: Skizzen vom Markertool für die Auswahl der Harmonie nach Itten bzw. die Steuerung der Farbton-Harmonie

Farbharmonien sollen nicht nur nach anerkannten Regeln (siehe Munsell, Itten und Nemcsics) auswählbar sein, sondern auch nach eigenem Ermessen bearbeitet werden können. Dazu sind Markertools vorgesehen die Farbton-, Farbsättigungs- und Farbhelligkeitsharmonien steuern.

In Colored Architecture geben interaktive Schieberegler mit dem Grad einer Harmonie an, zu wieviel Prozent eine Harmonie hergestellt werden soll, wobei 100% Harmonie gleiche Farbton-, Farbsättigungs- oder Farbhelligkeitswerte bewirken und 0% Harmonie im Umkehrschluss die größtmögliche Differenz. Diese Schieberegler werden im SarsamplingKit durch spezifische Markertools ersetzt, deren Steuerung analog zur Farbwertsteuerung funktioniert.

#### Farb- und Materialflächen bewegen

Um den Entwurfsprozess intuitiver und kreativer gestalten zu können, soll der Entwerfende die Farb- und Materialflächen, die auf das Planungsobjekt projiziert werden, bewegen können.

Diese Funktion wird wiederum mit einem Markertool aktiviert. Im Anschluss wird der Laserpointer als Interaktionswerkzeug genutzt, um mit gedrückter Taste eine Fläche auszuwählen und auf der zweidimensionalen Projektionsebene zu bewegen. Die gewählte Fläche folgt solange dem Laserpointer-Punkt, wie die Taste gedrückt gehalten wird. Das Prinzip funktioniert wieder analog zur Maus-Mauszeiger Interaktion auf einem Monitordisplay.

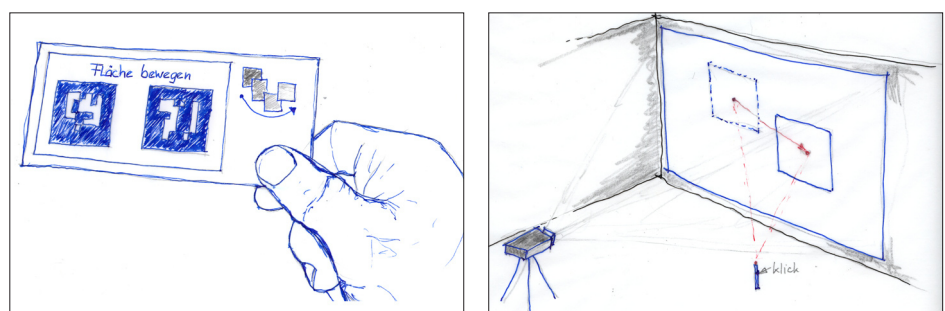


Abb. 5.14: links - Skizze vom Markertool „Flächen bewegen“, rechts - Prinzipskizze vom Bewegen einer Fläche auf dem Bemusterungsobjekt mit einem Laserpointer

### Beleuchtungssimulation von Farben und Materialien

Die Simulation verschiedener Beleuchtungssituationen ist sowohl beim Lichtentwurf als auch beim Bewerten von Farben und Materialien von Bedeutung. Diese Applikation arbeitet mit dreidimensionalen Gebäudegeometrien, sodass eine physikalische korrekte Simulation von Beleuchtungssituationen möglich ist, so wie Tonn sie für den Prototyp CA beschreibt [20].

Es sind Markertools vorgesehen, denen bestimmte Parameter für entsprechende Beleuchtungssituationen der natürlichen Umgebung zugewiesen sind, z.B. natürliches Tageslicht zur Mittagszeit.

Vorstellbar ist in diesem Zusammenhang auch, dass einzelne Beleuchtungsparameter, analog zur Steuerung der Farb- oder Materialparameter, variiert werden.

Auch das Simulieren künstlicher Lichtquellen, die sich im Innenraum der Bemusterungsumgebung befinden, ist möglich. Dazu sind Markertools vorgesehen, die zunächst verschiedene künstliche Lichtquellen repräsentieren. Die spezifischen digitalen Parameter einer künstlichen Lichtquelle werden von vielen Herstellern in sogenannten IES-Lichtquellenformaten zur Verfügung gestellt und können dementsprechend auch mit dafür vorgesehenen Markertools verknüpft werden. Wird ein Markertool einer künstlichen Lichtquelle vom System registriert, so ändert sich entsprechend die Beleuchtung.

Relevant bei künstlichen Lichtquellen ist zusätzlich die Position in der Bemusterungsumgebung. Um Lichtquellen interaktiv in der Bemusterungsumgebung zu positionieren, werden die relativen Positionskoordinaten, die ARTag beim Tracken des optischen Markers ermittelt, genutzt.

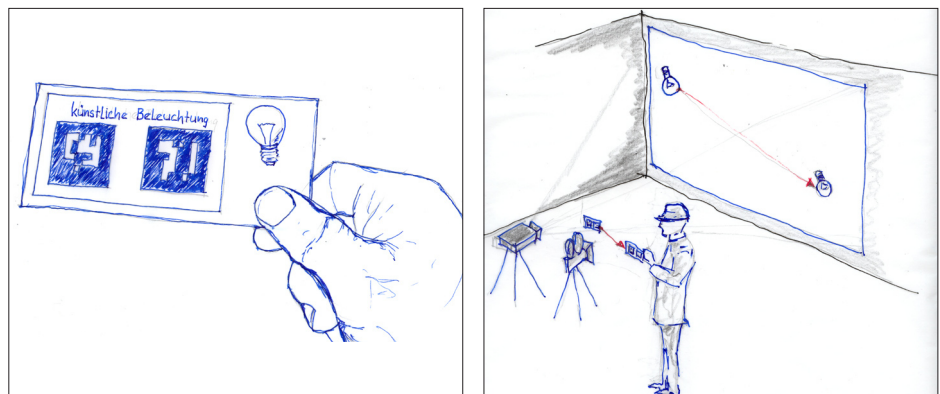


Abb. 5.15: Skizze vom Markertool „künstliche Beleuchtung“ (links), Prinzipskizze der interaktiven Positionssteuerung einer Lichtquelle (rechts)

Die relativen Positionskordinaten ermittelt ARTag durch Simulieren eines virtuellen Raumes, von dem die Videokamera des Trackingsystems den Koordinatenursprung bildet. Die relative Positionsänderung des optischen Markertools im Koordinatensystem der Videokamera wird auf die Position der künstlichen Lichtquelle im Objektkoordinatensystem des Bemusterungsraumes transferiert. Auf diese Weise können Materialstrukturen oder Lichtreflexionen aus unterschiedlichen Beleuchtungspositionen simuliert werden.

#### Das Abspeichern und Öffnen von Varianten

Um Arbeitszwischenstände, Varianten, Studien oder Ergebnisse zu einem späteren Zeitpunkt erneut zu reflektieren bzw. zu bewerten oder zu präsentieren, müssen diese gespeichert und wieder abgerufen werden können.

Zu diesem Zweck sind „Varianten“-Markertools vorgesehen, die sowohl auf der Vorder-, als auch auf der Rückseite einen Marker besitzen.

Mit der Vorderseite eines „Varianten“-Markertools werden sämtliche temporären Parameter, die die aktuelle Bemusterungsszene beschreiben in einer Datenbank gespeichert und mit dem Marker auf der Rückseite verknüpft. Wird die Rückseite des jeweiligen „Varianten“-Markertools in den Aufnahmebereich der Videokamera gehalten so wird die entsprechend mit diesem Marker verknüpfte Bemusterungsszene auf das Planungsobjekt projiziert und kann bewertet oder weiterbearbeitet werden.

Zusätzlich zu den Parametern einer Bemusterungsszene wird ein „Screen-Shot“ der jeweiligen Szene abgespeichert, sodass auch mit einer anderen Ausgabetechnik (Monitor oder Plot) die Bemusterungsvariante ausgegeben werden kann.

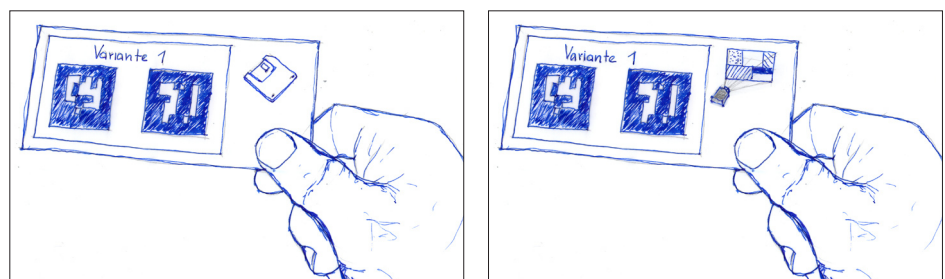


Abb. 5.16: Skizzen vom Markertool für das Speichern und Anzeigen von Varianten

### 5.3.2.3 Umsetzung von Farbe, Material und Licht

Der Arbeitsprozess des Entwerfens und Bewertens geht einher mit der Entscheidung für eine umzusetzende Variante, die ebenso im Planungskontext mittels Projektion dargestellt wird. Auf diese Weise kann gleichermaßen eine Abstimmung der umzusetzenden Entwurfsvariante mit Fachplanern (die den Entwurf umsetzen) und dem Bauherrn (der finale Entscheidungen trifft) stattfinden und die Einhaltung der Entwurfsprämissen vor Ort geprüft werden, sodass die Planungssicherheit verbessert wird.

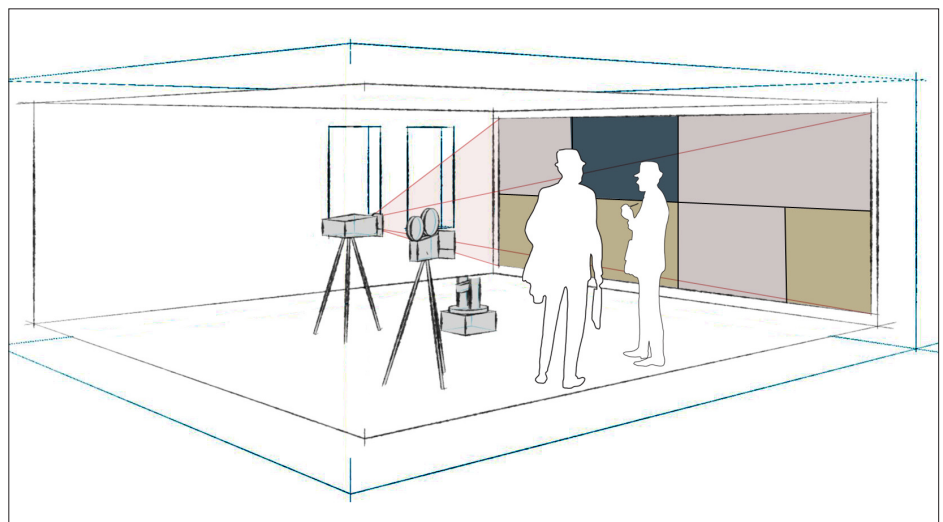


Abb. 5.17: Architekt und Fachplaner besprechen die Umsetzung

In einigen Fällen ist es möglich, dass die Entwurfsergebnisse ausschließlich mit einem Projektor realisiert werden, wie z.B. beim Kulissenbau mit Film-, Theater- oder Ausstellungsinstallationen, die temporär begrenzt sind. Bei diesen Anwendungen entspricht die finale Entwurfsvariante so gleich der Umsetzung und der beschriebene dynamische Planungsprozess kann optimal umgesetzt werden.

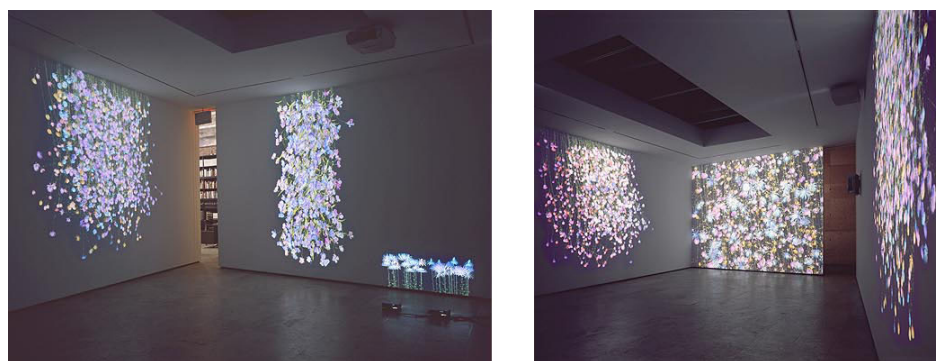


Abb. 5.18: Installation „Rapunzel“ von Jennifer Steinkamp [www9]

## 6. Umsetzung des Prototyps SARSamplingKit

In Kapitel 5 wurde die Fiktion einer dynamischen Planung von Farbe, Material und Licht in einer SAR-Umgebung beschrieben. Des Weiteren wurde konzeptionell der Prototyp SARSamplingKit entwickelt, der diese dynamische Planung von Farbe, Material und Licht unterstützt.

Im folgenden Kapitel wird die Umsetzung von SARSamplingKit erläutert. Dabei wird zunächst das verwendete Setup vorgestellt und im Anschluss einzelne realisierte Funktionen, die die Planung von Farbe, Material und Licht unterstützen.

Die digitale Umsetzung des Bemusterungswerkzeuges SARSamplingKit wird mit Hilfe der Software Quest3D realisiert. Das Augenmerk liegt dabei nicht auf einer vollständigen Umsetzung, sondern auf der Realisierung einzelner kleiner Testapplikationen.

Quest3D ist ein 3D-Autorensystem, das von der Firma Act3D für das Erstellen von interaktiven Echtzeitgrafiken entwickelt wurde und auf DirectX<sup>1</sup> aufbaut. Der Hauptanwendungsbereich von Quest3D liegt in der Erstellung von interaktiven Echtzeit 3D-Anwendungen (z.B. Spiele, Architektur-Visualisierungen, Produktpräsentationen, Lern- und Trainingsprogramme), wobei die grafische Programmieroberfläche besonders hilfreich ist.

Die Programmierung in Quest3D wird nicht in Form eines Text-Codes realisiert, sondern mit Hilfe einzelner Programmbausteine (Channels) die als grafische Elemente dargestellt werden. Derzeit werden über 300 vorgefertigte Channels als DLL<sup>2</sup> von Quest3D in einer Bibliothek<sup>3</sup> bereitgestellt. Channels werden in Form eines rechteckigen Icons dargestellt. Jeder Channel verfügt über mindestens einen Verknüpfungspunkt, der als kleines Rechteck dargestellt wird und die Verknüpfung mit anderen Channels zum Datenaustausch oder zum Aufrufen des Channels ermöglicht. Im so genannten „Channel Graph“ Fenster können diese Programmelemente mittels Drag and Drop beliebig positioniert und logisch verknüpft werden. Neben Channels stellt Quest3D eine Vielzahl von Templates<sup>4</sup> zur Verfügung, wobei Templates zum größten Teil aus bereits miteinander verknüpften Channels bestehen und dem Benutzer die Erstellung oft benötigter Programmelemente erleichtern.

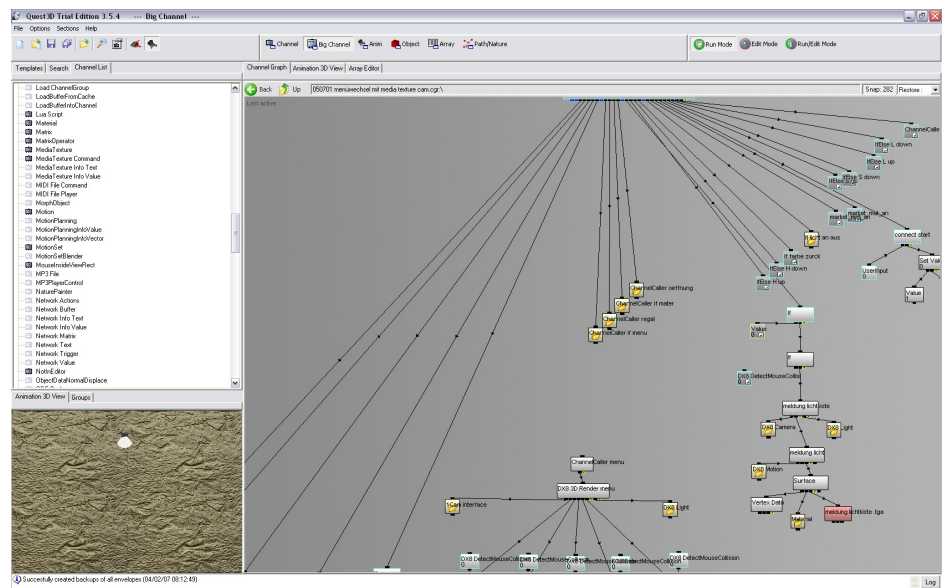


Abb. 6.1: grafische Programmierung mit Quest3D

Die Vorteile der Benutzung von Quest3D bei der Programmierung der Testapplikationen liegen darin, dass keine umfangreichen Erfahrungen und Kenntnisse von Codes in Textform vorhanden sein müssen und der Entwickler die logischen Verknüpfungen jederzeit grafisch im „Channel Graph“-Fenster überblickt.

## 6.1 Setup des Prototyps SARSamplingKit

Das Setup für die prototypische Umsetzung wurde aus mehreren Gründen gegenüber dem konzeptionellen Setup aus Kapitel 5 verändert. Im Folgenden werden die Gründe hierfür beschrieben.

Das Laserpointer-Tracking konnte nicht im Zusammenhang mit dem entwickelten Prototyp umgesetzt werden, da es zum Zeitpunkt der Prototypentwicklung noch nicht zur Verfügung stand.

Aus diesem Grund werden die Laserpointerinteraktionen als Maus-Mauszeiger-Interaktion auf dem Desktop-PC simuliert, auf dem die prototypischen Softwareapplikationen ausgeführt werden. Das Display des Monitors entspricht dabei der Projektionsfläche.



Die zweite Setupänderung bedingen die optischen Marker in Kombination mit der Projektionstechnik.

Erste Versuche haben gezeigt, dass die SmartProjector-Technologie bestmöglich funktioniert, wenn die Testumgebung abgedunkelt ist. In einer dunklen Umgebung werden jedoch mit einer konventionellen Videokamera die optischen Marker vom System nicht erkannt. Aus diesem Grund wird die Videokamera als Markersensor durch eine Webcam<sup>5</sup> ersetzt, die mit LEDs<sup>6</sup> ausgestattet ist, um ihren Aufnahmebereich auszuleuchten.

Der Aufnahmebereich dieser Webcam, speziell der Bereich in dem die verwendeten optischen Marker auch erkannt werden, ist sehr gering. Entsprechend können die Markerinteraktionen nur in einem begrenzten Arbeitsfeld (Workspace) durchgeführt werden.

Der Workspace besteht aus einem Tisch über dem mit einer justierbaren Halterung die Webcam angebracht ist. Die Webcam ist auf die Tischplatte gerichtet, sodass zwischen der Webcam und der Tischplatte die Markerinteraktionen stattfinden.

- 1 Desktop-PC auf dem die Testapplikationen laufen
- 2 Webcam mit LEDs
- 3 Desktop-PC auf dem die SmartProjector-Software läuft
- 4 Videokamera für die Kalibrierung des Projektionssystems
- 5 Videoprojektoren
- 6 Bemusterungsfläche

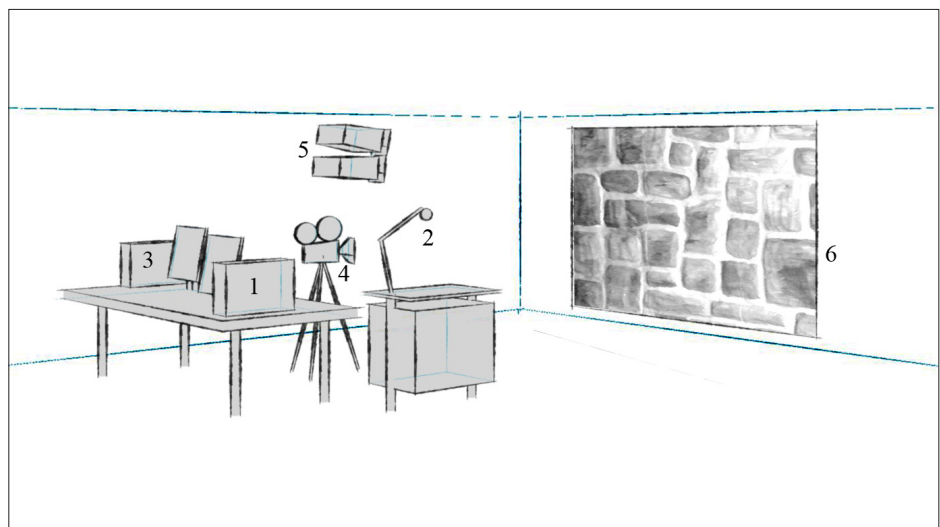


Abb. 6.2: Setup des Prototyps SARSamplingKit

Damit die verwendete SmartProjector-Software wie in Kapitel 5.3.1 beschrieben farb- und geometriekorrigierte Bilder berechnen kann, benötigt sie ein analoges VGA-Signal<sup>7</sup> der zu projizierenden Grafik. Aus diesem Grund wird zunächst der Desktop-PC genutzt, auf dem die prototypischen Applikationen installiert sind, um die animierten Echtzeitgrafiken der Applikationen mit Hilfe der Grafikkarte in ein analoges VGA-Signal zu konvertieren. Dieses VGA-

Signal wird dann per VGA-Kabel einem zweiten Desktop-PC übergeben. Auf dem zweiten Desktop-PC berechnet die SmartProjector-Software gemäß der im Vorfeld durchgeführten Kalibrierung jeden Pixel der Grafik neu. Nachdem die Grafik neu berechnet wurde, ist diese farblich und geometrisch entsprechend der Projektionsoberfläche korrigiert und wird wiederum über ein VGA-Signal an die Videoprojektoren übertragen, die das VGA-Signal als Grafik auf die gewünschte Oberfläche projizieren.

Des Weiteren werden in diesem Setup zwei Videoprojektoren verwendet, um die Beleuchtungsstärke auf der Projektionsfläche zu erhöhen und somit die Qualität der farb- und geometriekorrigierten Grafikprojektionen zu verbessern.

## 6.2 Umsetzung der Interaktionen

### 6.2.1 Desktop-PC –gesteuerte Interaktionen

Ursprünglich vorgesehene Laserpointer-Interaktionen werden auf dem Desktop-PC simuliert, auf dem die prototypischen Softwareapplikationen installiert sind.

#### Anlegen von Farb- oder Materialflächen

Das Anlegen von rechteckigen Farb- oder Materialflächen, die im weiteren Verlauf des Entwurfsprozesses mit verschiedenen Markerinteraktionen bearbeitet werden können, erfolgt über eine Mausinteraktion mit dem Desktop-PC. Der Displaybereich des Monitors entspricht dabei der Projektionsfläche auf dem Bemusterungsobjekt, sodass ein Bezug zwischen Projektionsfläche und Displayfläche hergestellt ist.

Möchte der Benutzer eine rechteckige Farb- oder Materialfläche erstellen, so aktiviert er die Funktion mit dem Markertool „Flächen anlegen“. Die Fläche kann daraufhin auf dem Monitordisplay erstellt werden, indem sie mit gedrückter linker Maustaste aufgezogen wird (dieser Vorgang funktioniert analog zu bekannten Bildbearbeitungsprogrammen, z.B. Photoshop). Wird die linke

Maustaste nicht mehr gedrückt gehalten, ist sowohl die Position als auch die Größe der Fläche definiert.

Um weitere Farb- oder Materialflächen zu erstellen, wird der gesamte Vorgang wiederholt. Wenn mehrere Flächen erstellt werden, ist es möglich, dass sich Flächen überschneiden. In diesem Fall wird immer die zuletzt erstellte Fläche im Vordergrund dargestellt.

Den erstellten Flächen ist standardmäßig eine neutrale Farbe zugewiesen, jedoch keine weiteren Materialeigenschaften.

Das Löschen einzelner Flächen ist gegenwärtig nicht umgesetzt. Wird das Markertool „Flächen löschen“ benutzt bzw. auf der Tastatur die Taste „L“ gedrückt, so werden alle erstellten Flächen gelöscht.

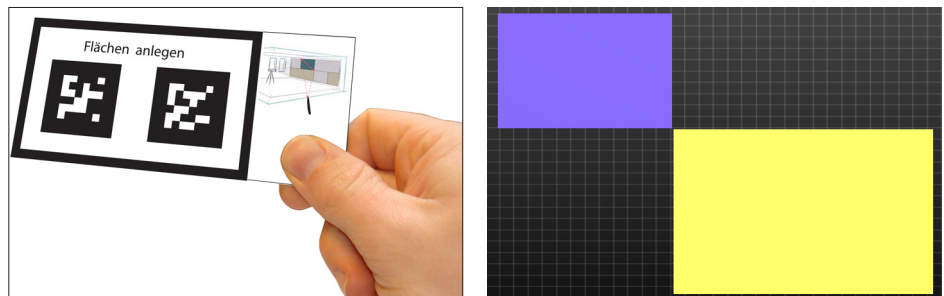


Abb. 6.3: Markertool „Flächen anlegen“ und am Monitor erstellte Flächen

#### Flächen markieren/auswählen

Ist die Funktion „Flächen anlegen“ nicht aktiv, können Flächen für die weitere Bearbeitung markiert werden, indem mit der linken Maustaste auf die entsprechende Fläche geklickt wird. Eine markierte Fläche ist mit einem gelben Pfeil in der linken, oberen Ecke gekennzeichnet. Ein erneutes Klicken mit der linken Maustaste auf die markierte Fläche hebt die Markierung wieder auf.

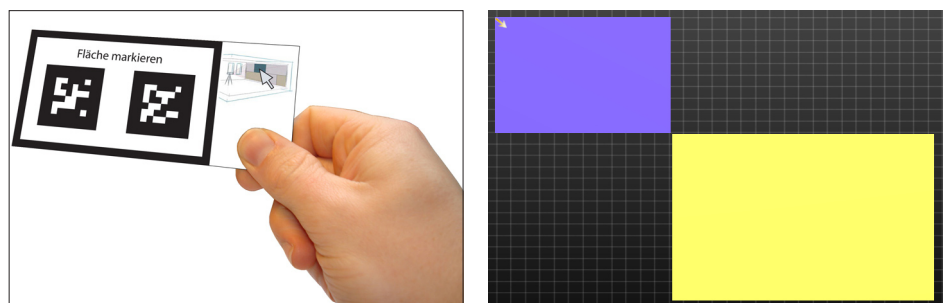


Abb. 6.4: Markertool „Flächen löschen“ und eine am Monitor markierte Fläche

## 6.2.2 Markergesteuerte Interaktionen

Im Kapitel 5.3 werden markerbasierte Interaktionen zwischen dem Planer und SARSSamplingKit konzeptionell beschrieben. Im Rahmen dieser Arbeit wurden folgende notwendige Interaktionen umgesetzt.



Abb. 6.5: Farbfächer mit Marker

Flächen Farben/Materialien zuweisen

Das Zuweisen von Farben und/oder Materialien einer Fläche wurde in SARSSamplingKit so umgesetzt, wie in Kapitel 5.3 beschrieben. Dazu wurden auf den Farbkarten eines RAL-Farbfächers bzw. auf Materialmustern aus einer Musterkiste<sup>8</sup> ARTag-Marker angebracht. In einer systeminternen Tabelle sind die entsprechenden Farbwerte bzw. die digitalen Texturen zu den Materialproben gespeichert und mit den Markern auf den Farb-/Materialproben verknüpft. Wenn das System einen dieser Marker mit Hilfe der Webcam erkennt, wird der im Vorfeld markierten Flächen die entsprechende Farbe oder das entsprechende Material zugewiesen.



Abb. 6.6: Materialprobe

Farbwerte ändern

Auch das Ändern/Bearbeiten der Farbwerte einer Farb- oder Materialfläche wurde wie vorgesehen umgesetzt.

Dazu wurde das HLS-Farbsystem in die Applikation implementiert, um separat auf die Farbwerte: Farbton (H), Farbhelligkeit (L) und Farbsättigung (S) zugreifen zu können. Die Implementierung vom HLS-Farbsystem ist notwendig gewesen, da mit Quest3D erstellte Applikationen zunächst nur das RGB-Farbsystem kennen.

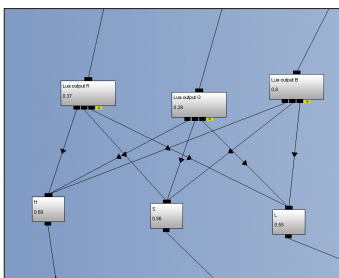


Abb. 6.7: HSL-Parameter werden in RGB-Parameter umgerechnet

Die Farbwerte H, L und S werden mit je einem Markertool angesteuert, wobei ein Markertool aus einer rechteckigen Kartonkarte mit je einem optischen Marker auf der Vorder- und der Rückseite besteht. Die Marker auf der Vorderseite der Tools steuern die Farbwerte in positiver Richtung und die Marker auf der Rückseite in negativer Richtung.

Die eigentliche Farbwertänderung ist gekoppelt an die Zeit und den jeweiligen Marker, d.h. hält der Planer ein Markertool für eine Farbwertänderung in das Aufnahmefeld der Webcam, wird dieser registriert und die entsprechenden Farb-

werte ändern sich auf einer Skala von Null bis Eins linear in positiver oder negativer Richtung. Die Farbwertänderung dauert so lange an, wie der Marker mit Hilfe der Webcam vom System erkannt wird oder die obere bzw. untere Grenze der Skala erreicht ist. Die Farbwertänderungen sind synchron auf der projizierten Farbfläche sichtbar.

Auf diese Weise wird mit drei Markertools der gesamte HLS-Farbraum gesteuert, ohne eine grafische Benutzeroberfläche zu benötigen.

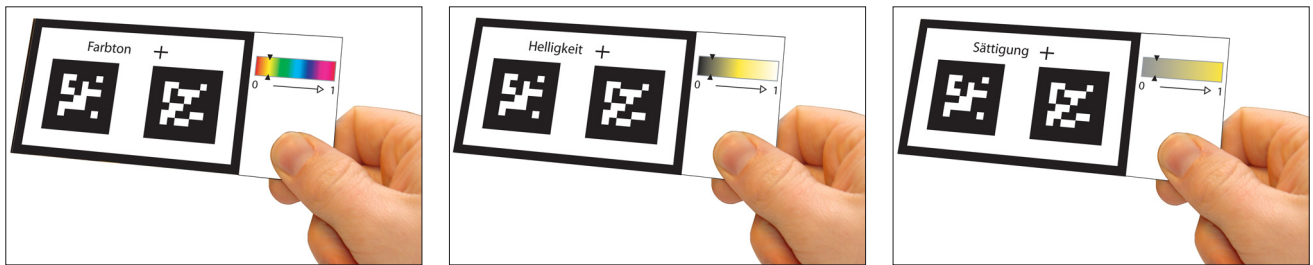


Abb. 6.8: Markertools für die Steuerung der Farben im HLS-Farbraum

Während erster Tests bzgl. der Farbwertsteuerung hat sich herausgestellt, dass eine visuelle Rückkopplung der aktuellen Farbwertänderung wünschenswert ist, um Farben gezielt zu differenzieren. Um dem gerecht zu werden, wurden drei Farbwertskalen implementiert die den jeweils eingestellten Farbwert mit einem Reiter darstellen. Der Reiter auf den Farbwertskalen veranschaulicht neben den aktuellen Farbeinstellungen nächstmögliche Farbwertänderungen bzw. notwendige Farbwertänderungen, um eine gewünschte Farbe anzusteuern.

Die Farbwertskalen werden mit auf das Bemusterungsobjekt projiziert, damit sie sich direkt im Sichtfeld des Planers befinden. Sie werden jedoch nur eingeblendet, wenn Farbwerte mit den jeweiligen Tools bearbeitet werden, ansonsten bleibt die Sicht auf das Bemusterungsobjekt uneingeschränkt.

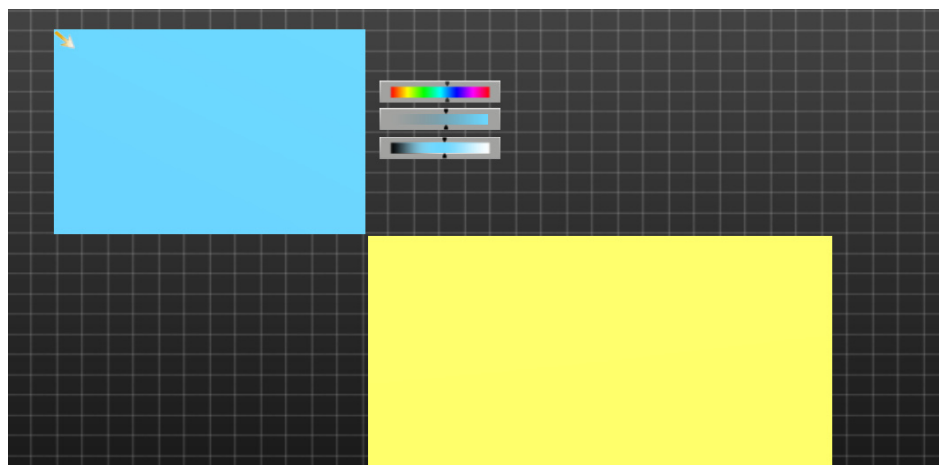


Abb. 6.9: Skalen für die Werte „H“, „S“ und „L“

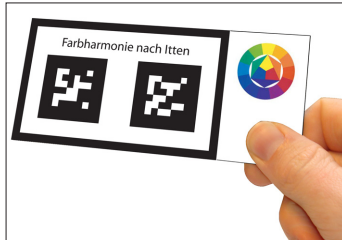


Abb. 6.10: Markertool „Farbharmonie nach Itten“

### Farbharmonien erzeugen

Das Erzeugen von Farbharmonien wurde exemplarisch am Beispiel der Farbharmonie nach Itten umgesetzt. Um den im System zu implementierenden Algorithmus einfach zu halten, der die Farbbeziehungen nach den Regeln von Itten zwischen den einzelnen Flächen beschreibt, wurde die Anzahl der in Beziehung stehenden Flächen auf zwei Flächen begrenzt. Auf diese Weise werden nach Ittens Definition Zweiklänge gebildet ([2] Seite 16).

Erzeugt wird ein derartiger Zweiklang, indem vorab eine Referenzfarbfläche mit der Maus selektiert wird. Die Werte für Farbton und Farbhelligkeit dieser Fläche dienen als Referenz, um die Farbwerte der zweiten Farbfläche nach den Harmonieregeln von Itten zu berechnen. Hält der Planer das Markertool „Harmonie nach Itten“ in den Aufnahmebereich der Webcam wird die Farbharmonie zwischen beiden Flächen erzeugt.

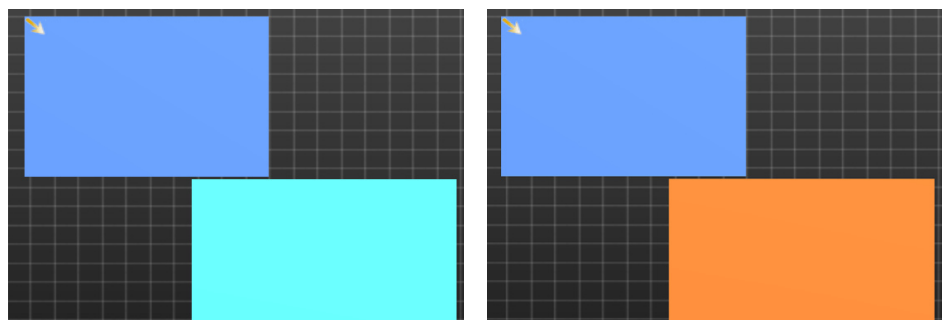


Abb. 6.11: (links) keine Farbharmonie, (rechts) Farbharmonie nach Itten

### Optische Materialeigenschaften bearbeiten

In Quest3D können HLSL-Shader<sup>9</sup> genutzt werden, um mit Hilfe von Normalen-Maps<sup>10</sup> auch die Reliefstärke einer Materialtextur in Echtzeit variieren zu können. Normalen-Maps bilden die Flächennormalen einer detailreichen 3D-Geometrie ab, sodass anhand dieser Informationen die verwendeten Shader detailreiche 3D-Oberflächenstrukturen simulieren können, obwohl das eigentliche Modell nur aus „primitiven“ 3D-Objekten besteht. Auf diese Weise wird der Berechnungsaufwand einer realitätsnahen Simulation erheblich minimiert. Es ist jedoch erforderlich, dass zu jeder verwendeten Textur auch das entsprechende Normalen-Map gespeichert wird.

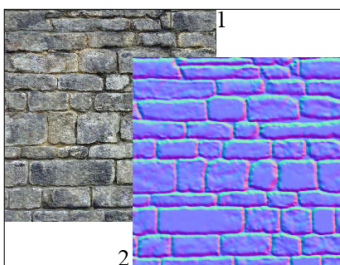


Abb. 6.12: eine Textur (1) und das dazugehörige Normalen-Map (2)

Diese Möglichkeit wird genutzt, um beispielhaft für die Steuerung von Materialeigenschaften das markergesteuerte Variieren der Reliefstärke umzusetzen. Die Reliefstärke wird dabei auf einer Skala von Null bis Eins beschrieben, wobei Null der geringsten und Eins der höchsten Reliefstärke entspricht. Die eigentliche Steuerung der Reliefparameter erfolgt analog zur Steuerung der Farbparameter, wobei für die Steuerung der Reliefparameter ein separates Markertool genutzt wird.



Abb. 6.13: geringe Reliefstärke (links) und hohe Reliefstärke (rechts) eines Materials

### Simulation der Beleuchtungsrichtung

In Quest3D werden zur realitätsnahen Simulation von Materialien und deren Beleuchtung keine internen Radiosityberechnungen durchgeführt. Stattdessen werden Shadermodelle eingesetzt, die die visuellen Materialeigenschaften, die geometrischen Eigenschaften der Oberflächenstruktur und die Beleuchtungseigenschaften eines Objektes mit spezifischen Texturen simulieren. Physikalisch korrekte Beleuchtungssimulationen können dementsprechend nicht mit einer Applikation realisiert werden, die mit Quest3D erstellt wurde.

Um dennoch künstliche Beleuchtungssituationen zu simulieren, kann die Beleuchtungsrichtung bzw. die Position einer künstlichen Lichtquelle variiert werden. Dabei besitzen Materialien, je nach Position der Lichtquelle einen anderen Schatten auf ihrer Oberfläche.

Ähnlich der Steuerung der Reliefstärke wurden für diese Umsetzung erneut Shader verwendet, die mit Normalen-Maps die Oberflächengeometrie eines Materials simulieren. Mit Hilfe der Position einer Lichtquelle berechnet der Shader in Echtzeit den Schattenverlauf auf der Materialoberfläche.

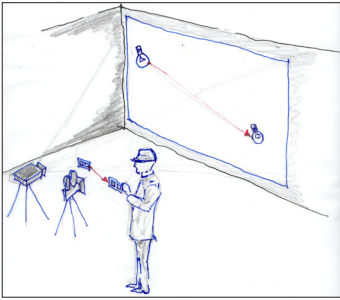


Abb. 6.14: Prinzipskizze der interaktiven Positionssteuerung einer Lichtquelle

Bei dieser Simulation wird mit einem Markertool die Position der Lichtquelle interaktiv verändert. Dazu werden die relativen Positionskoordinaten, die das Markertracking-System von dem Markertool ermittelt, mit den Positionskoordinaten der Lichtquelle verknüpft. Wird im Folgenden eine Änderung der Markerposition im Koordinatensystem der Webcam registriert, so wird diese Änderung synchron auf die Lichtposition im Objektraum übertragen. Im Ergebnis ist ein in Echtzeit variierende Schattenverlauf auf der projizierten Materialoberfläche zu beobachten.

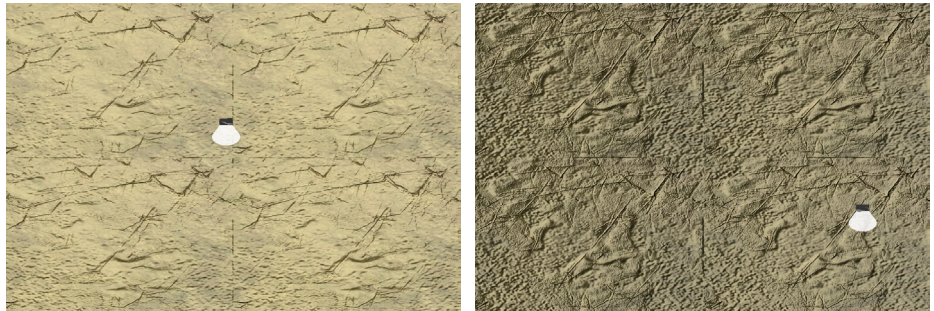


Abb. 6.15: der Schattenverlauf auf der Materialoberfläche ist abhängig vom Lichteinfallswinkel

### 6.3 Demonstration der Funktionalität auf der OpenLap-Night

In diesem Abschnitt wird in komprimierter Form ein Demonstrationsbeispiel des Bemusterungsprototyps SARSamplingKit vorgestellt. Die Demonstration fand auf der diesjährigen OpenLap-Night statt.

Die OpenLap-Night ist eine seit 2004 jährlich stattfindende Veranstaltung der Fakultät Medien an der Bauhaus-Universität Weimar. Im Rahmen dieser Veranstaltung stellen Studierende und Lehrende der Fakultät ihre aktuellen Projekte und Arbeiten der interessierten Öffentlichkeit vor. Besucher können einen Abend lang neueste Entwicklungen testen und ausprobieren.

Da der Lehrstuhl „Informatik in der Architektur“, der diese Arbeit betreut, eng mit der Fakultät „Medien“ kooperiert, wurde die Möglichkeit wahrgenommen, den Prototyp SARSamplingKit von Besuchern testen zu lassen.



Szenario: Farb- und Materialcollage auf dem Bemusterungsobjekt erstellen

1. Nach dem Aufbau des Prototypen-Setups wird zunächst die Projektionstechnik kalibriert.



Abb. 6.16: Setup auf der OpenLap-Night

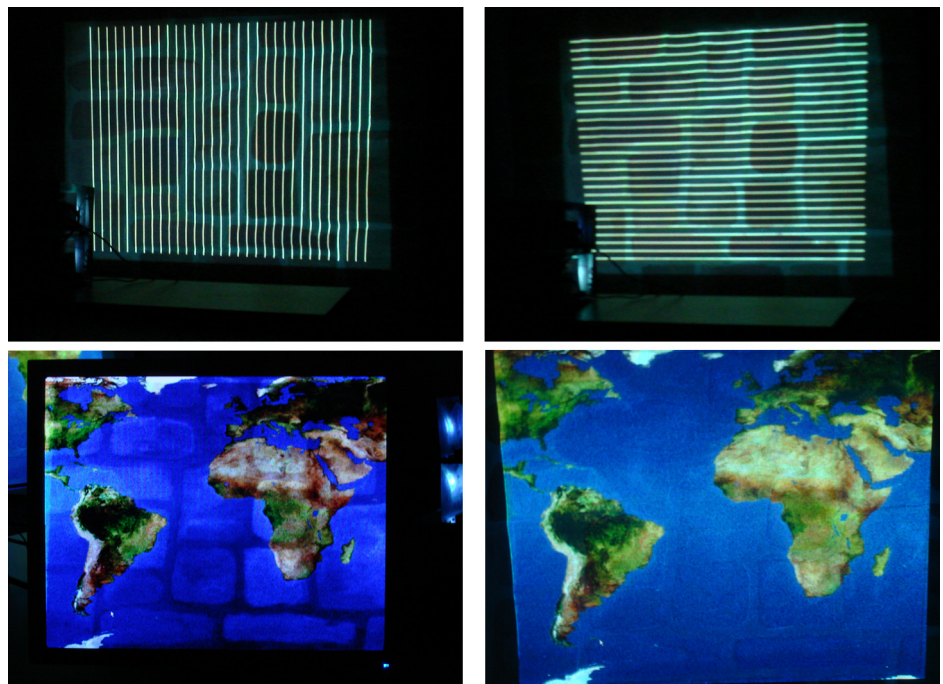


Abb. 6.17: Kalibrierung vom Projektionssystem (oben), die farb- und geometriekorrigierte Projektion am Monitor (unten links) und auf der Projektionsfläche (unten rechts)

2. Auf dem Desktop-PC wird die Prototypen-Software von SARSSamplingKit gestartet und die Verbindung zum Tracking-System hergestellt.

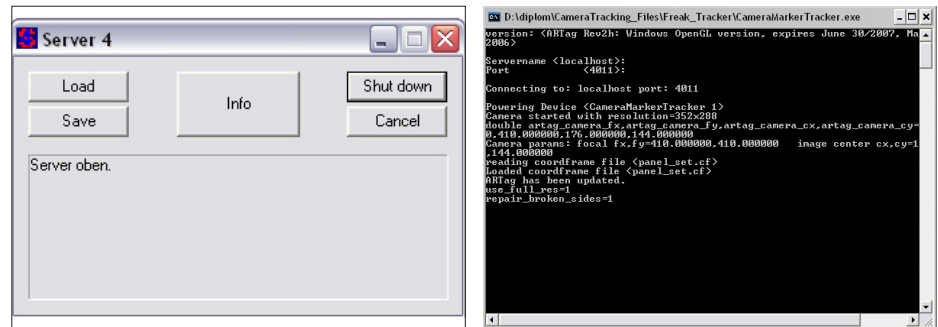


Abb. 6.18: über einen lokalen Server greift SARSSamplingKit auf die Tracking-Daten zurück, die vom Tracking-Programm des Lehrstuhls („CameraMarker Tracker“) ermittelt werden.

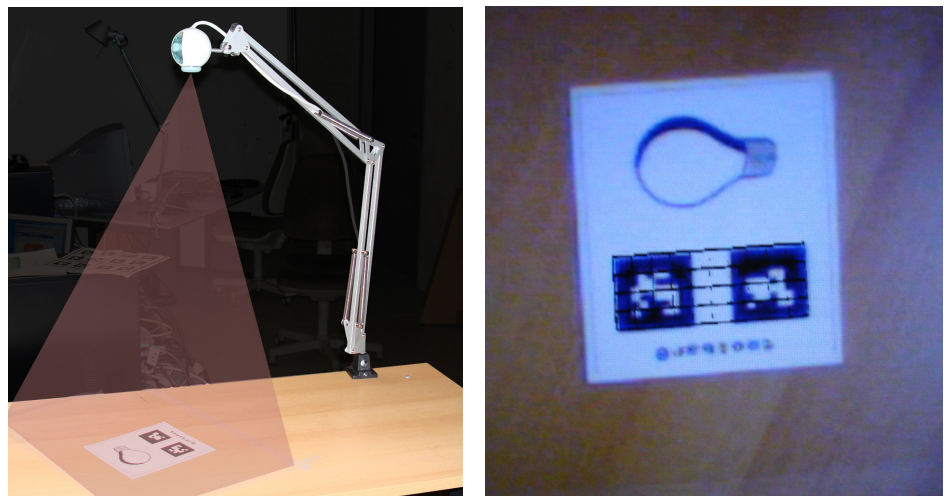


Abb. 6.19: zusammen mit der Webcam werden die Marker vom Programm „Camera-Marker Tracker“ registriert.

3. Mit der Maus werden mehrere Flächen definiert, denen im Anschluss über Markerinteraktionen Farben und Materialien zugewiesen werden.

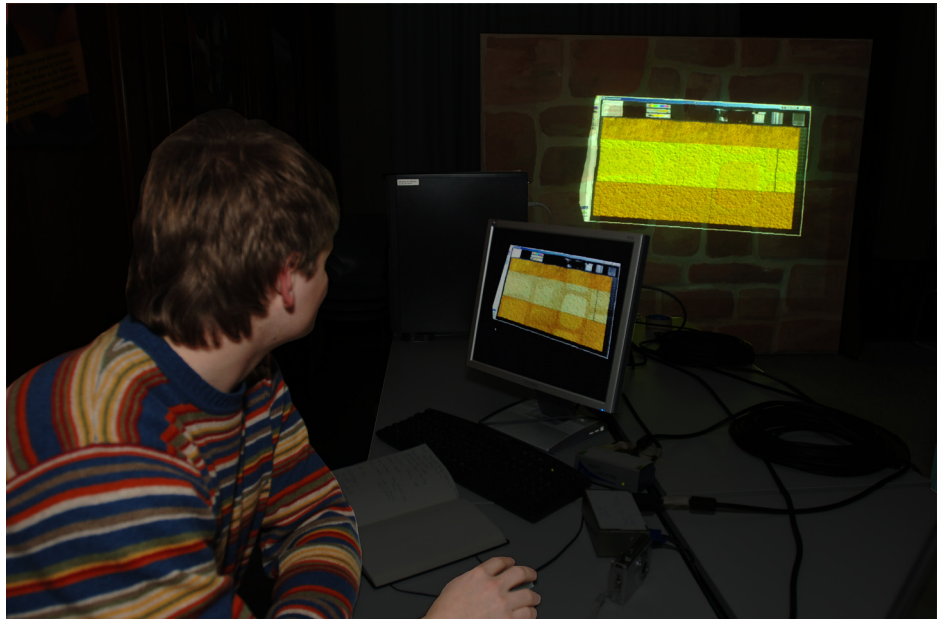


Abb. 6.20: Flächen anlegen

4. Der selektierten Fläche wird mit einem Marker eine Farbe zugewiesen.

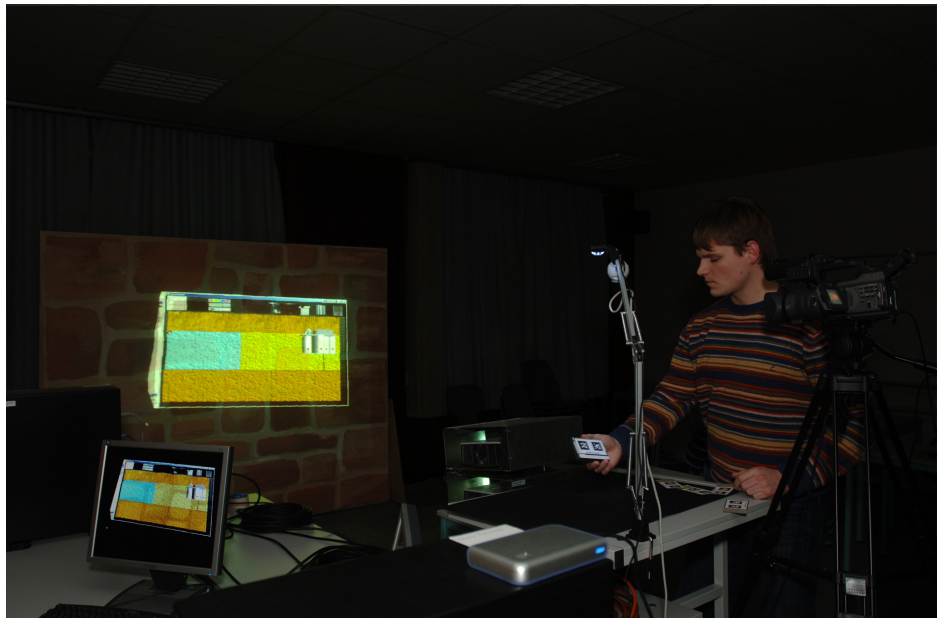


Abb. 6.21: eine Farbe zuweisen

5. Mit einem Materialmuster wird der selektierten Fläche das entsprechende Material zugewiesen

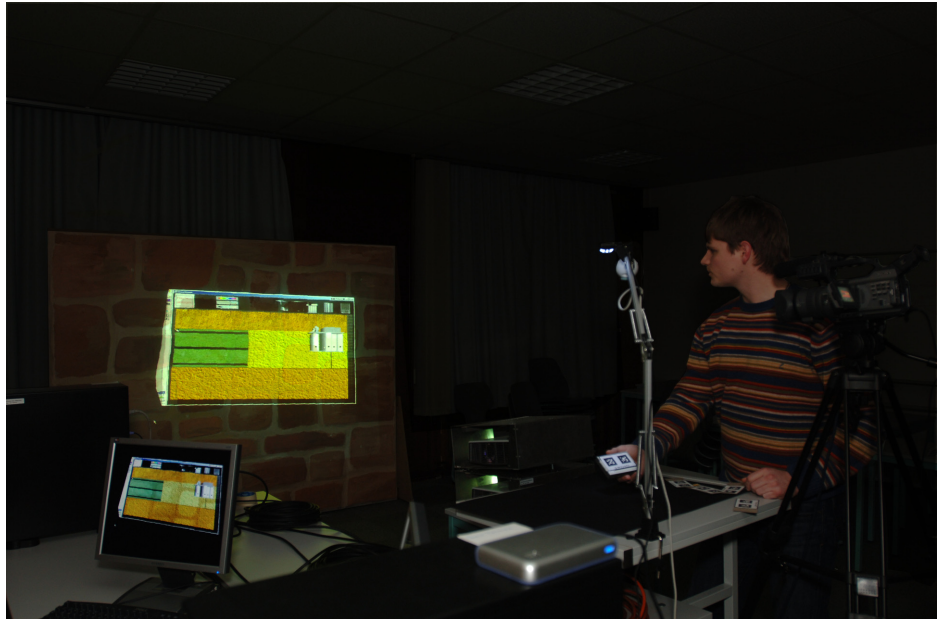


Abb. 6.22: ein Material zuweisen

6. Mit den Markertools für die Farbsteuerung werden verschiedene Farben gemischt

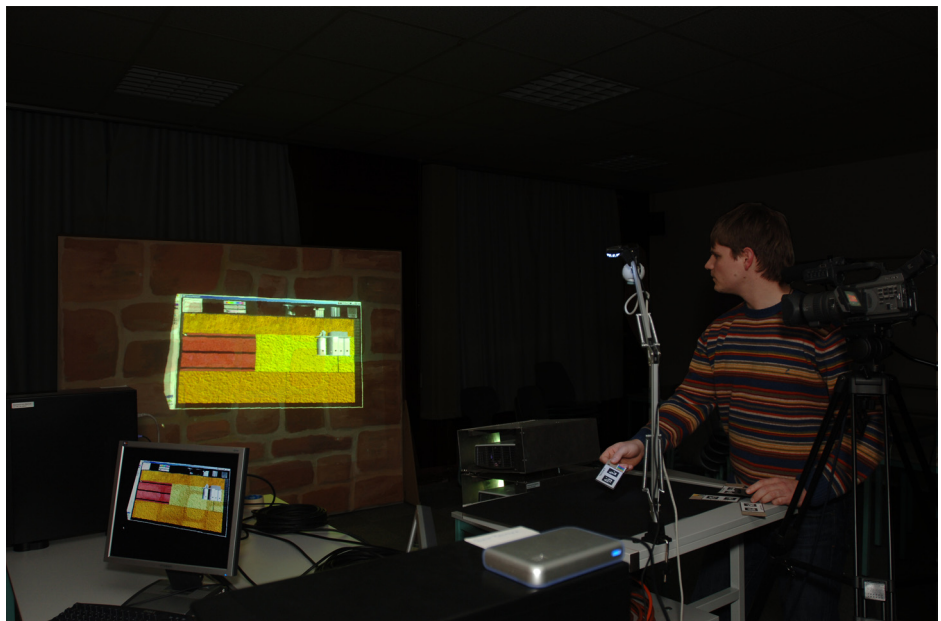


Abb. 6.23: Farbtonänderung mit dem entsprechenden Markertool

Die Schritte 4, 5 und 6 wurden in unbestimmter Reihenfolge mehrfach wiederholt, sodass Farb- und Materialcollagen direkt auf dem Bemusterungsobjekt entstanden und sogleich verifiziert wurden.

## 6.4 Rückschlüsse und Reaktionen von der Präsentation auf der OpenLap-Night

Im Folgenden wird der Funktionsumfang des Bemusterungsprototyps SARSamplingKit kurz zusammengefasst und diskutiert. Dabei dienen Reaktionen und Erfahrungen aus der ersten Prototypenpräsentation auf der OpenLap-Night, um kritische Rückschlüsse auf die Funktionalität zu ziehen.

Das in Kapitel 5 aufgestellte Konzept eines interaktiven Bemusterungswerkzeuges für die dynamische Bestandsplanung von Farbe, Material und Licht wurde mit Software- und Interfaceprototypen so umgesetzt, dass erste Rückschlüsse sowohl auf die Interaktionsfähigkeit als auch auf die Darstellungsqualität eines Entwurfes möglich sind. Aufgrund der beschränkten Bearbeitungszeit wurden einige markergesteuerte Funktionen nur im Ansatz realisiert, wobei die grundlegenden Markerinteraktionen im Rahmen der OpenLap-Night dem interessierten Publikum zum Testen zur Verfügung gestellt wurden.

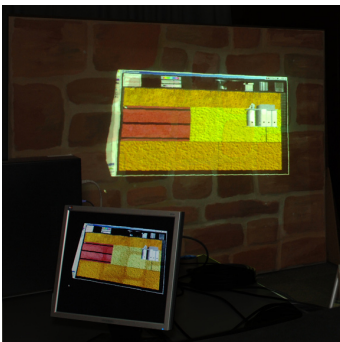


Abb. 6.24: Projektion auf Bemusterungsoberfläche

Bereits im Vorfeld der OpenLap-Night haben erste Versuche gezeigt, dass der Projektionsbereich auf dem Bemusterungsobjekt nicht flächendeckend gewählt werden kann, weil die SmartProjector-Software bei großen Projektionsbereichen das Projektionssystem nicht fehlerfrei kalibriert (siehe Abb.6.24). Diese Einschränkung war für die weitere Umsetzung jedoch nicht von Bedeutung, da Versuche bzgl. intuitiver Benutzerinteraktionen davon nicht berührt waren. Zudem wird davon ausgegangen, dass mit einer aktuelleren Version der SmartProjector-Software dieses Problem behoben werden kann.

Die Darstellungsqualität der Planungsinformationen ist dank der SmartProjector-Software als gut zu bezeichnen. Farben und Materialien wurden größtenteils so auf die Bemusterungsfläche projiziert, dass Strukturen derselben nicht mehr zu erkennen waren. Nur vereinzelt und vor allem bei monotonen Farbflächen konnten noch Strukturen der Bemusterungsfläche wahrgenommen werden (siehe Abb.6.24). Auch in diesem Fall kann davon ausgegangen werden, dass eine sukzessive Verbesserung der verwendeten Projektionstechnologie die Darstellungsqualität weiter erhöht.

In den Anwendungsbeispielen auf der OpenLap-Night wurden Marker genutzt, um sowohl zeitabhängige (z.B. Steuerung von Farbparametern) als auch zeitu-nabhängige (Materialauswahl) Interaktionen zu steuern, aber auch um Lichtobjekte interaktiv zu bewegen.

Das Selektieren von Farben und Materialien mit bekannten Hilfsmitteln, wie Farbfächer und Materialproben, hat sich als besonders intuitiv erwiesen. Besucher der OpenLap-Night haben sich gezielt für eine Farb- oder Materialprobe entschieden und mit Hilfe des Prototyps SARSamplingKit geprüft, wie diese Probe auf der Bemusterungsoberfläche wirkt.

Auch die interaktive Farbwertsteuerung mit den entsprechenden Markertools wurde schnell intuitiv aufgegriffen und genutzt, um sowohl gezielt als auch experimentell Farbwerte zu mischen. Dabei hat sich gezeigt, dass eine visuelle Rückkopplung über die Farbwerteinstellungen das gezielte Variieren von Werten fördert, und somit auch den Entwurfsprozess besser unterstützt.

Im Vergleich zur Farb- und Materialauswahl bzw. zur Steuerung der Farbparameter hat sich die Positionssteuerung der Lichtquelle als weniger praktisch erwiesen. Das vom Benutzer im Aufnahmebereich der Webcam bewegte Markertool wurde nicht kontinuierlich getrackt, sodass eine gezielte Positionssteuerung nur schwer möglich war. Die Ursache dafür ist vor allem im verwendeten Trackingsystem zu suchen.

Das Tracken der optischen Marker ist stark von der Beleuchtungssituation vor Ort abhängig. Das System erkennt die Marker bei optimalen Beleuchtungsverhältnissen am besten. Die Anforderungen der Projektionstechnik widersprechen sich jedoch mit den Anforderungen der Tracking-Technik bzgl. optimaler Beleuchtungsverhältnisse, sodass Kompromisse zu Ungunsten des Aufnahmebereichs der Webcam gemacht werden müssen.

Auch das Darstellen von Markern auf selbstleuchtenden Handy-Displays hat sich nicht als Lösung für dieses Problem erweisen können. Die Displays sind in dunklen Umgebungen zu leuchtstark und können daraufhin nicht zufriedenstellend vom Trackingsystem differenziert werden. Die Folge ist ein sehr unstetiges Tracking dieser Marker.

Des Weiteren hat sich auf der OpenLap-Night herausgestellt, dass die verwendeten Markertools für die Steuerung der Farbparameter oft verwechselt wurden, da sie visuell kaum zu unterscheiden sind.

Ungeachtet dessen hat der Prototyp auf der OpenLap-Night bewiesen, dass er die interaktive Planung von Farbe, Material und Licht in der gebauten Umgebung entwerfsfördernd unterstützt, sodass Entscheidungen im Bestandskontext getroffen werden können.

## 7. Zusammenfassung und Ausblick

Neue projektionsbasierte Darstellungssysteme geben Anlass, die gegenwärtige Planungspraxis von Farbe, Material und Licht zu überdenken und an den aktuellen Stand der Technik anzupassen.

Der Lehrstuhl „Informatik in der Architektur“ (InfAR) an der Bauhaus-Universität Weimar betreibt seit einigen Jahren Forschungsaktivitäten, um Plausibilität im Planungsprozess zu etablieren.

Die Aufgabe dieser Diplomarbeit bestand darin, ein computergestütztes Entwurfswerkzeug für die Planung von Farbe, Material und Licht im Bestand zu entwickeln, das innovative Nutzerinteraktionen ermöglicht. Aufbauend auf die am Lehrstuhl InfAR vorhandenen Technologien „SmartProjector“, „ARtag“ und „Colored Architecture“, wurden Anforderungen an ein derartiges Entwurfswerkzeug festgelegt und prototypisch umgesetzt.

Zunächst wurden im Rahmen von Literatur- und Internetrecherchen zentrale Begriffe („Virtual Reality“, „Augmented Reality“, „Spatial Augmented Reality“) differenziert, um deren Semantik in dieser Arbeit zu erläutern.

Im Folgenden wurden Projekte recherchiert, die vielversprechende Ansätze für den zu entwickelnden Prototypen beinhalten. Die Projekte ‚Material light: exploring expressive materials‘ und ‚Dynamic Texturing of Real Objects in an Augmented Reality System‘ dokumentieren dabei interessante Aspekte bzgl. der Nutzerinteraktionen mit dem Computersystem.

Die anschließende Untersuchung der gegenwärtigen Praxis bei der Planung von Farbe, Material und Licht, dokumentiert diese, aufgrund der bisher verwendeten Planungssysteme, als statischen Prozess. Der Softwareprototyp Colored Architecture verspricht eine bessere Planungsunterstützung und wird in diesem Zusammenhang anschließend analysiert, um notwendige Funktionen für ein Planungssystem vor Ort zu recherchieren.

Die Prototypkonzeption dieser Arbeit setzt sich schwerpunktmäßig mit der Entwicklung interaktiver Bearbeitungsfunktionen auseinander, dabei ist der Entwurf von Farbe, Material und Licht auf dem realen Planungsobjekt maßgeblich. In diesem Zusammenhang kommen innovative Technologien zum Einsatz, wie



die Projektionstechnik „SmartProjector“ und das Trackingsystem „ARTag“. „SmartProjector“ wird genutzt, um farb- und geometriekorrigierte Planungsbilder auf beliebige Oberflächen zu projizieren und „ARTag“, um Nutzerinteraktionen zu steuern. Die Verwendung grafischer Benutzeroberflächen wird dabei zunächst konsequent vermieden, um die Sicht auf das Planungsobjekt nicht einzuschränken. Stattdessen werden assoziative Planungshilfen wie Farbfächer oder Materialproben verwendet, um entsprechende Muster auszuwählen. Bewährte Planungsfunktionen aus Coloured Architecture werden beispielhaft mit Markerinteraktionen adaptiert (z.B. das Erzeugen von Farbharmonien) und ergänzt (Positionierung der Lichtquelle).

Am Ende der Prototypenumsetzung wurde mit der Präsentation auf der OpenLap-Night, ein Planungsszenario im Bestand simuliert, um die Plausibilität des Entwurfswerkzeuges zu prüfen. Dabei wurden Stärken, wie die assoziative Interaktion mit Materialproben und Schwächen, wie die schlechte Trackingqualität bewegter Marker in dunklen Räumen deutlich, sodass aus Sicht des Autors folgende Weiterentwicklungen des Prototyps „SARSamplingKit“ sinnvoll erscheinen:

- Laserpointer-Tracking sollte in SARSamplingKit implementiert werden, um Laserpointer-Interaktionen auf der Bemusterungsoberfläche durchzuführen. Auf diese Weise könnten Planer mit einem Laserpointer auf Bemusterungsoberflächen interagieren, so wie sie es vom PC-Arbeitsplatz mit der Maus gewöhnt sind.
- Kontextbezogen sollten Grafiken eingeblendet werden, die den Planer über technische Parameter ausgewählter Farben und Materialien informieren.
- Es ist eine grafische Benutzeroberfläche in Betracht zu ziehen, die in Kombination mit Laserpointer-Interaktionen den Funktionsumfang von SARSamplingKit erweitert. Die Benutzeroberfläche sollte sich jedoch am Beispiel der assoziativen Markerinteraktion mit Materialproben orientieren, um für den Planer intuitiv benutzbar zu sein. Eine derartige Benutzeroberfläche könnte „Lichtkisten“ beinhalten, aus denen Leuchtmittel gewählt werden können, oder „Ordner“ verwenden, um in ihnen nach Farben oder Materialien zu „blättern“. Bei der Entwicklung einer derartigen Benutzeroberfläche ist darauf zu achten, die Sicht auf das Bemusterungsobjekt möglichst uneingeschränkt zu gestalten.



Abb. 7.1: eine mögliche grafische Benutzeroberfläche

- Weitere Prototypen könnten mit anderen Systemen als Quest3D programmiert werden, sodass eine ‚Live‘-Radiosityberechnung und somit physikalisch korrekte Lichtsimulationen in Echtzeit möglich sind.
- Eine Vision ist die dauerhafte Projektion von Farben und Materialien auf Raumboflächen, sodass der Mensch in einer Umgebung lebt, die er nach Gefühlslage variieren kann – mit z.B. einfachen Markerinteraktionen.

Mit SARSamplingKit wurde ein Prototyp entwickelt, der einen neuen Ansatz bietet Farbe, Material und Licht im Bestand zu planen. Dieser Prototyp verbindet die Vorteile der realen Bemusterung mit den Vorteilen der virtuellen Bemusterung und leistet auf diese Weise einen wertvollen Beitrag im Bemühen um Plausibilität im Planungsprozess.

---

## 8. Anhang

### 8.1 Literaturverzeichnis

- [1] Bimber, O., Emmerling, A., Klemmer, T.: *Embedded Entertainment with Smart Projectors*, in: *IEEE Computer*, 2005, pp. 56-63
- [2] Tonn, C.: *Computergestütztes dreidimensionales Farb-, Material- und Lichtentwurfswerkzeug für die Entwurfsplanung in der Architektur*, Diplomarbeit, Lehrstuhl Informatik in der Architektur, Bauhaus-Universität Weimar, D. Donath, 2005, 88 pp.
- [3] Milgram, P., F. Kishino: *A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays*. IEICE Transactions on Information Systems, E77-D (12):1321–1329, 1994.
- [4] Azuma, R.: *A Survey of Augmented Reality*, Presence: Teleoperators and Virtual Environments vol. 6, no. 4 August 1997, pp. 355-385
- [5] Bimber, O., Raskar, R., *Modern Approaches to Augmented Reality*, EUROGRAPHICS 2004
- [6] Bimber, O., Raskar, R.: *Spatial Augmented Reality: Merging Real and Virtual Worlds*; A. K. Peters, Ltd., Natick, MA, USA, 2005
- [7] Cruz-Neira, C., Sandin, D.J., DeFanti, T.A.: *Surround-Screen Projection-Based Virtual Reality: The Design and Implementation of the CAVE*, Computer Graphics (Proceedings of SIGGRAPH '93), ACM SIGGRAPH, August 1993, pp. 135-142.
- [8] Raskar, R., Welch, G., Fuchs, H.: *Spatially Augmented Reality*, First IEEE Workshop on Augmented Reality (IWAR'98), November 1998, San Francisco, CA
- [9] Raskar, R.; Low, K-L, *“Interacting with Spatially Augmented Reality”*, ACM International Conference on Virtual Reality, Computer Graphics and Visualization in Africa (AFRIGRAPH), November 2001
- [10] Naimark, M.: *Displacements*. An exhibit at the San Francisco Museum of Modern Art, San Francisco, CA (USA), 1984.
- [11] Dorsey, J., Sillion, F., Greenberg, D.: *Design and Simulation of Opera Lighting and Projection Effects*, SIGGRAPH 91 Conference Proceedings, Annual Conference Series, Addison-Wesley, 1991, pp 41-50.
- [12] Underkoffler, J.: *A View From the Luminous Room*, Springer- Verlag London Ltd., Personal Technologies (1997) 1:49-59.

- 
- [13] Wellner, P.: *Interacting with paper on the DigitalDesk*. Communications of the ACM, 36(7):87–96, July 1993
- [14] Raskar, R., Welch, G., Cutts, M., Lake, A., Stesin, L., Fuchs, H.: *The Office of the Future: A Unified Approach to Image-Based Modeling and Spatially Immersive Displays*, SIGGRAPH 98 Conference Proceedings, Annual Conference Series, Addison-Wesley, July 1998.
- [15] Raskar, R., Welch, G., Low, K.: *Shader Lamps, Animating Real Objects with Image Based Illumination*. UNC Technical Report TR00-027, 2000.
- [16] Saakes, D.: *Material light: exploring expressive materials*. Personal and Ubiquitous Computing 10(2-3): 144-147, 2006
- [17] Keller AI, Stappers PJ, Hoeben A.: *TRI: inspiration support for a design studio environment*. Int J Des Comput 3:1–17, 2000
- [18] Matkovic, K., Psik, T., Wagner, I., Gracanin, D.: *Dynamic texturing of real objects in an augmented reality system*, *Proceedings of IEEE VR 2005*, Bonn, Germany, pp 245-248, 2005.
- [19] Konieczny, J., Meyer, G.: *Material and Color Design Using Projectors*, to appear in CGIN 2006 Colour in Graphics, Imaging, and Vision, 2006
- [20] Donath, D., Tonn, Ch.: *Farbe, Material und Licht in der Bestandsplanung*. In: Schriften der Bauhaus-Universität Weimar, Revitalisierung von Bauwerken, Veröffentlichungen des Sonderforschungsbereiches 524 „Werkstoffe und Konstruktionen für die Revitalisierung von Bauwerken“, Weimar, 2006
- [21] Donath, D., Tonn, Ch.: *How to Design Colour Schemes? Conceptual Tools for the Architectural Design* In: Proceedings of the 22th eCAADe, Sept. 15-18 2004, Copenhagen, pp. 333 – 341
- [22] Donath, D., Vorlesungsreihe: Total Digital - m13\_Seminar\_Farbe-Licht-Material, 04.07.05
- [23] Donath, D., Vorlesungsreihe: Total Digital - m13\_Vorlesung\_Material, 24.01.05
- [24] Duden – das Fremdwörterbuch, 8. Aufl. Mannheim 2005
- [25] Münkler, S.: *Medienphilosophie der Virtual Reality..* In: M. Sandbothe & L. Nagl (Hrsg.) Systematische Medienphilosophie. Berlin: Akademie Verlag. S.381 – 396, 2005
-

## 8.2 Verzeichnis der Web-Seiten im Internet

- [www1] Forschungsprojekt an der Bauhaus-Universität Weimar: *Spatial Augmented Reality For Architecture*.  
<http://www.uni-weimar.de/medien/ar/sARc/overview.htm>, Stand: 20.03.2007
- [www2] Laser-Pointer Interaction in Real Environments  
<http://www.uni-weimar.de/medien/ar/research.php>, Stand: 20.03.2007
- [www3] Kikic, L.: *01TrackingOverview*  
<http://www.bruegge.in.tum.de/pub/Cleanup/AlgorithmsForAugmentedReality/01TrackingOverview.pdf>, Stand: 19.03.2007
- [www4] Funktionsweise von GPS  
[http://www.environmental-studies.de/Teilflächenbewirtschaftung/GPS\\_D/a\\_PR\\_2.gif](http://www.environmental-studies.de/Teilflächenbewirtschaftung/GPS_D/a_PR_2.gif), Stand: 03.03.2007
- [www5] Anwendung einer ‚Gyro-Mouse‘  
[http://www.beamer.de/produkte/zubehoer/img/gyro\\_mouse.jpg](http://www.beamer.de/produkte/zubehoer/img/gyro_mouse.jpg), Stand: 03.03.2007
- [www6] ARToolkit  
<http://www.hitl.washington.edu/artoolkit>, Stand: 20.03.2007
- [www7] ARTag  
<http://www.artag.net>, Stand: 20.03.2007
- [www8] Musterkiste  
<http://www.musterkiste.de/>, Stand: 22.03.2007
- [www9] Installation *Rapunzel*  
[http://jsteinkamp.com/html/art\\_documentation.htm](http://jsteinkamp.com/html/art_documentation.htm), Stand: 21.01.2007
- [www10] Wikipedia, freie Enzyklopädie in mehr als 100 Sprachen  
<http://de.wikipedia.org>

---

## 8.3 Abbildungsverzeichnis

### Kapitel 2

Abb. 2.1:	Vereinfachte Darstellung des RV Kontinuums .....	6
Abb. 2.2:	Realer Tisch mit virtueller Lampe und virtuellen Stühlen .....	8
Abb. 2.3:	Bilderzeugung bei Augmented Reality Displays .....	10
Abb. 2.4:	Videobasiertes HMD und Optisches Durchsicht-HMD .....	10
Abb. 2.5:	Schema vom Retinal Scanning Display .....	11
Abb. 2.6:	Schema von GPS .....	13
Abb. 2.7:	Mechanische Kopplung an einem Datenhandschuh .....	13
Abb. 2.8:	Anwendung einer Gyro-Mouse .....	14
Abb. 2.9:	Scannen eines Markers mit einer Webcam .....	14
Abb. 2.10:	Strich-Code, Pfandflasche-Marker .....	14
Abb. 2.11:	Prototyp einer Spatial Augmented Reality .....	16
Abb. 2.12:	Projekt „Luminous Room“ .....	16
Abb. 2.13:	Projekt „Shader Lamps“ .....	17
Abb. 2.14:	TRI-Setup .....	17
Abb. 2.15:	Materialprojektion .....	18
Abb. 2.16:	Prototyp-Setup im Projekt „Dynamic Texturing of Real Objects in an Augmented Reality System“ .....	18
Abb. 2.17:	Texture Painter .....	19
Abb. 2.18:	Optische Marker (Ermittlung von Positionsdaten) .....	20
Abb. 2.19:	Prototyp-Setup des Projektes „Material and Color Design using Projectors“ .....	21
Abb. 2.20:	Projekt „Being There“ .....	22

### Kapitel 3

Abb. 3.1:	Screenshot der Lichtplanungssoftware „DIALux“ .....	24
Abb. 3.2:	Screenshots der Farbplanungssoftware „RAL DIGITAL“ .....	25
Abb. 3.3:	Farbfächer .....	25

---

Abb. 3.4:	Handskizzen und CAAD-Zeichnungen von Farb- und Materialkonzepten. ....	26
Abb. 3.5:	Physikalisch korrekte Lichtberechnung mit DIALux .....	27
Abb. 3.6:	Bewertung einer Materialcollage im Planungsbüro .....	27
Abb. 3.7:	Die Verifizierung einer Farb- und Materialplanung vor Ort.....	28
Abb. 3.8:	Schema vom statischen Verlauf der Planung von Farbe, Material und Licht. ....	28
Kapitel 4		
Abb. 4.1:	Programmaufbau von Colored Architecture.....	30
Abb. 4.2:	Aufbau der Benutzeroberfläche von Colored Architecture .....	32
Abb. 4.3:	Ansichten vom BIM-Modell. ....	33
Abb. 4.4:	Funktion „Schnittlinien erzeugen“ .....	34
Abb. 4.5:	Farbstudienleiste .....	34
Abb. 4.6:	Farbwahl-Dialog.....	35
Abb. 4.7:	Farbharmonieleiste .....	36
Abb. 4.8:	Prinzipdarstellung - Generierung einer Wandabwicklung.....	37
Abb. 4.9:	POV-Ray-Visualisierung einer Farbstudie.....	38
Kapitel 5		
Abb. 5.1:	Schema vom dynamischen Verlauf der Planung von Farbe, Material und Licht. ....	43
Abb. 5.2:	Projektion mit SmartProjector auf eine beliebige Oberfläche ...	44
Abb. 5.3:	Projekt „Magic Mirror“ .....	45
Abb. 5.4:	Laserpointertracking-System.....	46
Abb. 5.5:	konzeptionelles Setup vom Prototyp SARSamplingKit.....	48
Abb. 5.6:	PDA .....	50

---

---

Abb. 5.7: Ordner mit Planungsbildern.....	52
Abb. 5.8: Markertool „Flächen anlegen“, Erzeugen einer Fläche auf dem Bemusterungsobjekt .....	53
Abb. 5.9: Farbfächer mit Marker .....	53
Abb. 5.10: Markertool „Farbton-Steuerung“ .....	54
Abb. 5.11: Material-Musterkiste und Skizze einer Materialprobe mit Marker .....	54
Abb. 5.12: Markertool zur Steuerung der Reliefstärke.....	55
Abb. 5.13: Markertools „Harmonie nach Itten“ und „Farbton-Harmonie“ .....	56
Abb. 5.14: Markertool „Flächen bewegen“, Bewegen einer Fläche auf dem Bemusterungsobjekt .....	57
Abb. 5.15: Markertool „künstliche Beleuchtung“, interaktive Positionsteuerung einer Lichtquelle.....	58
Abb. 5.16: Markertool „Speichern und Anzeigen von Varianten“ .....	59
Abb. 5.17: Architekt und Fachplaner besprechen die Umsetzung .....	60
Abb. 5.18: Installation „Rapunzel“ von Jennifer Steinkamp.....	60
Kapitel 6	
Abb. 6.1: grafische Programmierung mit Quest3D .....	62
Abb. 6.2: Setup des Prototyps SARSamplingKit .....	63
Abb. 6.3: Markertool „Flächen anlegen“ und am Monitor erstellte Flächen.....	65
Abb. 6.4: Markertool „Flächen löschen“ und eine am Monitor markierte Fläche .....	65
Abb. 6.5: Farbfächer mit Marker .....	66
Abb. 6.6: Materialprobe.....	66
Abb. 6.7: HSL zu RGB .....	66
Abb. 6.8: Markertools für die Steuerung der Farben im HLS-Farbraum ..	67

---



---

Abb. 6.9: Skalen für die Werte „H“, „S“ und „L“ .....	67
Abb. 6.10: Markertool „Farbharmonie nach Itten“ .....	68
Abb. 6.11: Farbharmonie nach Itten .....	68
Abb. 6.12: Textur und das dazugehörige Normalen-Map .....	68
Abb. 6.13: geringe Reliefstärke und hohe Reliefstärke eines Materials.....	69
Abb. 6.14: Prinzipskizze der interaktiven Positionssteuerung einer Lichtquelle .....	70
Abb. 6.15: Schattenverlauf auf der Materialoberfläche.....	70
Abb. 6.16: Setup auf der OpenLap-Night.....	71
Abb. 6.17: Kalibrierung vom Projektionssystem .....	71
Abb. 6.18: Verbindung zum Tracking-System .....	72
Abb. 6.19: Marker-Tracking .....	72
Abb. 6.20: Flächen anlegen .....	73
Abb. 6.21: Farbe zuweisen .....	73
Abb. 6.22: Material zuweisen.....	74
Abb. 6.23: Farbtonänderung mit dem entsprechenden Markertool.....	74
Abb. 6.24: Projektion auf Bemusterungsoberfläche .....	75
Kapitel 7	
Abb. 7.1: grafische Benutzeroberfläche.....	79

## 8.4 Fussnoten

<sup>1</sup> Die Honorarordnung für Architekten und Ingenieure (HOAI) ist eine Verordnung des Bundes zur Regelung der Vergütung (das Honorar) der Leistungen von Architekten und Ingenieuren in Deutschland. Der Begriff Ingenieur bezieht sich hierbei ausschließlich auf die im Bauwesen tätigen Fachrichtungen (Bauingenieure, Bauphysiker, etc.). [...]  
Quelle: <http://de.wikipedia.org/wiki/HOAI>, Stand: 05.02.2007

<sup>2</sup> [http://www.bmbf.de/pub/nachhaltiges\\_bauen\\_im\\_bestand.pdf](http://www.bmbf.de/pub/nachhaltiges_bauen_im_bestand.pdf), Stand: 19.03.2007

<sup>3</sup> Eine grafische Benutzeroberfläche ist eine Softwarekomponente, die einem Computerbenutzer die Interaktion mit der Maschine über grafische, metaphorhafte Elemente (Arbeitsplatz, Symbole, Papierkorb, Menü) unter Verwendung eines Zeigegerätes (wie einer Maus) erlaubt. [...]  
Quelle: <http://de.wikipedia.org/wiki/GUI>, Stand: 05.02.2007

<sup>4</sup> vir|tu|ell (lat. –mlat. –fr.):

a) (bildungsspr.) entsprechend seiner Anlage als Möglichkeit vorhanden, die Möglichkeit zu etw. in sich begreifend: ein -er Gegensatz der Interessen; b) nicht echt, nicht in Wirklichkeit vorhanden, aber echt erscheinend, dem Auge, den Sinnen vortäuschend: -er (EDV; scheinbarer, nur logisch vorhandener) Speicher [...]

© Duden – das Fremdwörterbuch, 8. Aufl. Mannheim 2005

<sup>5</sup> Re|a|lität die; -, -en (lat. –mlat. –fr.):

Wirklichkeit, tatsächliche Lage, Gegebenheit [...]

© Duden – das Fremdwörterbuch, 8. Aufl. Mannheim 2005

<sup>6</sup> RFID ist die Identifizierung *über* Radiowellen. RFID ist ein Verfahren zur automatischen Identifizierung von Gegenständen und Lebewesen. Neben der kontaktlosen Identifizierung und der Lokalisierung von Gegenständen steht RFID auch für die automatische Erfassung und Speicherung von Daten [...]

Quelle: <http://de.wikipedia.org/wiki/RFID>, Stand: 19.03.2007

<sup>7</sup> High Dynamic Range Image (HDRI, Bild mit hohem Dynamikumfang) bzw.

Hochkontrastbild ist eine digitale Bilddatei, deren Helligkeitswerte einen Dynamikumfang von mindestens vier Größenordnungen (1:10.000), eine relative Abstufung feiner als 1 % und Abdeckung sämtlicher sichtbaren Farben unterstützt. [...]

Quelle: <http://de.wikipedia.org/wiki/HDRI>, Stand: 19.03.2007

<sup>8</sup> Die Microsoft Foundation Classes (MFC) sind eine Sammlung objektorientierter Klassenbibliotheken, die von Microsoft für die Programmierung von Anwendungen mit grafischen Benutzeroberflächen für Windows mit C++ entwickelt wurden. [...] Die MFC werden mit diversen C++-Compilern ausgeliefert und sind Teil der integrierten Entwicklungsumgebung Microsoft Visual Studio.

Die MFC dienen als Schnittstelle zu den nicht objektorientierten API-Funktionen des Betriebssystems und sollen den Umgang mit den vom Betriebssystem zur Verfügung gestellten Ressourcen erheblich vereinfachen. Ein Großteil der für Windows geschriebenen Programme nutzen die MFC.

Quelle: [http://de.wikipedia.org/wiki/Microsoft\\_Foundation\\_Classes](http://de.wikipedia.org/wiki/Microsoft_Foundation_Classes), 14.03.2007

<sup>9</sup> Als Client-Server-Prinzip wird in der elektronischen Datenverarbeitung (EDV) eine Netzwerkstruktur bezeichnet, bei der die Ressourcen von einem zentralen Server angeboten werden, auf die von Arbeitsstationen (Clients) aus zugegriffen werden kann. Der Server stellt einen Dienst zur Verfügung. Der Client bietet die Benutzeroberfläche oder die Benutzerschnittstelle der Anwendung an.

Quelle: <http://de.wikipedia.org/wiki/Client-Server-Prinzip>, 21.01.2007

<sup>10</sup> Drag & Drop (englisch *drag & drop* = Ziehen und Fallenlassen) ist eine Methode zum Bewegen grafischer Elemente in einem Computerprogramm mittels einer Maus. Ein Element der grafischen Benutzeroberfläche (GUI) kann damit gezogen und über einem möglichen Ziel losgelassen werden. Dieses kann zum Beispiel markierter Text oder das Symbol einer Datei sein. Im Allgemeinen kann Drag & Drop genutzt werden, um Aktionen auszuführen oder Beziehungen zwischen zwei abstrakten Objekten herzustellen.

Quelle: <http://de.wikipedia.org/wiki/Drag%26drop>, 12.03.2007

<sup>11</sup> Prozedurale Generierung bezeichnet in der Informatik Methoden zur Erzeugung von Programminhalten wie Texturen [...] in Echtzeit [...] ohne dass diese Inhalte vor der Benutzung vom Entwickler fest angelegt und in ihrer endgültigen Form an den Nutzer weitergegeben werden. Dabei werden die Inhalte keineswegs zufällig erzeugt, sondern die Generierung folgt deterministischen Algorithmen, um bei gleichen Ausgangsbedingungen immer wieder dieselben Inhalte erzeugen zu können. Dadurch eröffnet sich dem Entwickler die Möglichkeit, äußerst umfangreiche und komplexe Inhalte zeit- und platzsparend zu entwickeln und weiterzugeben.

Quelle: [http://de.wikipedia.org/wiki/Prozedurale\\_Generierung](http://de.wikipedia.org/wiki/Prozedurale_Generierung), 13.03.2007

<sup>12</sup> Der Begriff Musterabbildung oder englisch *texture mapping* bezeichnet ein Verfahren der 3D-Computergrafik. Es dient dazu, die Oberflächen dreidimensionaler Oberflächenmodelle mit zweidimensionalen Bildern – sogenannten „Texturen“ – und Oberflächeneigenschaften auszustatten. Texturen lassen computergenerierte Bilder detailreicher und realistischer erscheinen, ohne dass das zugrundeliegende Modell selbst verfeinert werden muss.

Quelle: [http://de.wikipedia.org/wiki/Texture\\_Mapping](http://de.wikipedia.org/wiki/Texture_Mapping), 13.03.2007

<sup>13</sup> DirectX ist eine Sammlung von Application Programming Interfaces (APIs) für multimediaintensive Anwendungen auf der Windows-Plattform [...]. Die DirectX Sammlung von Software-Komponenten deckt nahezu den gesamten Multimediabereich ab. Vorrangig kommt es zum Einsatz bei der Darstellung komplexer 2D- und 3D-Grafik, bietet aber auch Unterstützung für Audio, diverse Eingabegeräte [...] und Netzwerkkommunikation. DirectX ermöglicht direkte Zugriffe auf die Hardware des Systems, ohne die Programme von der Hardware abhängig zu machen. [...]

Quelle: <http://de.wikipedia.org/wiki/DirectX>, Stand: 23.03.2007

<sup>14</sup> Dynamic Link Library (DLL) bezeichnet allgemein eine Dynamische Bibliothek, [...] die erst bei Bedarf in den Arbeitsspeicher geladen wird [...].

Quelle: [http://de.wikipedia.org/wiki/Dynamische\\_Bibliothek](http://de.wikipedia.org/wiki/Dynamische_Bibliothek), Stand: 23.03.2007

---

<sup>15</sup> Eine Programmbibliothek bezeichnet in der Programmierung eine Sammlung von Programmfunktionen für zusammengehörende Aufgaben. Bibliotheken sind im Unterschied zu Programmen keine eigenständig lauffähigen Einheiten, sondern Hilfsmodule, die Programmen zur Verfügung gestellt werden.

Quelle: [http://de.wikipedia.org/wiki/Dynamische\\_Bibliothek](http://de.wikipedia.org/wiki/Dynamische_Bibliothek), Stand: 23.03.2007

<sup>16</sup> Template = Vorlage

<sup>17</sup> Eine „Webcam“, „Webkamera“ oder „PC-Kamera“ [...] bezeichnet üblicherweise eine eher niedrigpreisige Kamera zum Anschluss an den PC, wobei gewöhnlich die USB-Schnittstelle zum Einsatz kommt [...].

Quelle: <http://de.wikipedia.org/wiki/Webcam>, Stand: 23.03.2007

<sup>18</sup> [...] auch *Lumineszenz-Diode*, kurz LED für *Light Emitting Diode* bzw. *lichtemittierende Diode* [...]

Quelle: <http://de.wikipedia.org/wiki/LED>, Stand: 23.03.2007

<sup>19</sup> Der VGA-Anschluss ist ein analoger Bildübertragungsstandard für Stecker- und Kabelverbindungen zwischen Grafikkarten und Anzeigegeräten, wobei das analoge VGA-Signal durch den RAMDAC der Grafikkarte erzeugt wird.

Quelle: [http://de.wikipedia.org/wiki/VGA\\_%28Anschluss%29](http://de.wikipedia.org/wiki/VGA_%28Anschluss%29), Stand: 23.03.2007

<sup>20</sup> siehe: <http://www.musterkiste.de/>, Stand: 23.03.2007

<sup>21</sup> HLSL (High Level Shading Language) bezeichnet die DirectX-Komponente, die die Programmierung von Shader-Bausteinen ermöglicht.

Quelle: <http://de.wikipedia.org/wiki/HLSL>, Stand: 23.03.2007

<sup>22</sup> Normal Mapping bzw. Normalzuordnung ist ein Begriff aus der 3D-Computergrafik und wird dazu verwendet, größeren Detailreichtum in Schattierungen zu erzielen, ohne die Zahl der Polygone zu erhöhen.

Beim Normal Mapping werden die für die Beleuchtung relevanten Informationen über die Ausrichtung der Normalen von einem hoch auf ein niedrig aufgelöstes 3D-Modell übertragen. Das Detail der Oberfläche bleibt somit optisch erhalten. Sichtbar ist das niedrige Detail lediglich an der Silhouette, die noch immer der des niedrig aufgelösten Modells entspricht. Häufig wird diese Technik im Bereich der Echtzeit-3D-Grafik (z.B. in Computerspielen) verwendet. Insbesondere für mehrere Lichtquellen wurde diese Technik durch die Einführung von Pixel-Shadern erleichtert

Quelle: [http://de.wikipedia.org/wiki/Normal\\_Mapping](http://de.wikipedia.org/wiki/Normal_Mapping), Stand: 23.03.2007

## 8.5 Thesen der Diplomarbeit

1. Die genutzten Hilfsmittel in der gegenwärtigen Planungspraxis von Farbe, Material und Licht entsprechen nicht dem Stand verfügbarer Technologien.
2. Eingeschränkt durch die verwendeten Hilfsmittel findet der Planungsprozess in der gegenwärtigen Praxis sowohl vor Ort als auch im Planungsbüro statt, wobei die örtliche Trennung den unmittelbaren Bezug zwischen Objekt und Planung nur bedingt ermöglicht.
3. Durch den Einsatz neuer Projektionstechnologien können Farben und Materialien realistisch auf beliebigen Oberflächen simuliert werden.
4. Trackingsysteme können dazu eingesetzt werden Interaktionen zwischen dem Benutzer und dem Computersystem zu steuern.
5. Mit dem Prototyp SARSamplingKit kann die Planung von Farbe, Material und Licht vor Ort in einem dynamischen Prozess stattfinden.
6. Die in SARSamplingKit umgesetzten Funktionen und Interaktionen helfen dem Planer vor Ort, in und mit der baulich-räumlichen Substanz, Farb- und Materialkonzepte zu formulieren.
7. Die assoziative Farb- und Materialauswahl unter Verwendung von Farb- oder Materialproben vermittelt neben dem visuellen auch ein haptisches Feedback und trägt auf diese Weise zur besseren Entscheidungsfindung bei.
8. Laserpointerinteraktionen auf der Bemusterungsoberfläche adaptieren gewohnte Mausinteraktionen und sind leicht zu handhaben. Sie fördern einen schnellen Entwurfsprozess.
9. Die Farbwertsteuerung mit den entsprechenden Markertools erweitert die Farbauswahl mit Farbfächern und fördert das intuitive Entwerfen.
10. SARSamplingKit kombiniert die Vorteile einer realen Bemusterung vor Ort mit den Vorteilen einer virtuellen Bemusterung.

## 8.6 Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich an Eides statt, dass ich die vorliegende Diplomarbeit zum Thema

Simulation von Farbe, Material und Licht in einer  
Spatial-Augmented-Reality Umgebung  
zur Planungsunterstützung

-Entwicklung von Interaktionsmöglichkeiten zwischen Nutzer und System-

selbständig und nur unter Verwendung der angegebenen Hilfsmittel und Quellen  
angefertigt habe.

Weimar, den 04.04.2007

## Danksagung

Diese Diplomarbeit entstand am Lehrstuhl Informatik in der Architektur der Bauhaus-Universität Weimar. An dieser Stelle möchte ich allen meinen herzlichsten Dank aussprechen, die mich bei dieser Arbeit gefördert und unterstützt haben.

Im Besonderen danke ich den Herren Prof. Dr.-Ing D. Donath und Jun Prof. Dr.-Ing. F. Petzold für ihre wertvollen Hinweise und Anregungen und die engagierte Betreuung. Weiterhin danke ich Herrn Dipl.-Ing. Ch. Tonn für die Überlassung seines Softwareprototyps Colored Architecture und die ständige Bereitschaft Problemlösungen zu diskutieren.

Nicht zuletzt möchte ich meinen Eltern für die liebevolle Unterstützung während meiner Studienzzeit von ganzem Herzen danken und ebenso meiner lieben Freundin Stefanie Nachtmann, die mir immer eine große Stütze ist.