

Institut für Visualisierung und Interaktive Systeme

Universität Stuttgart
Universitätsstraße 38
D-70569 Stuttgart

Diplomarbeit Nr. 3514

Ortung und ortsbezogene Anwendung im Museums-Kontext

Benjamin Steeb

Studiengang:	Informatik
Prüfer/in:	Prof. Dr. Albrecht Schmidt
Betreuer/in:	Dipl.-Medieninf. Tilman Dingler
Beginn am:	2013-06-13
Beendet am:	2013-12-12
CR-Nummer:	H.5.1

Kurzfassung

In dieser Arbeit wird ein Museumsführer für Android entwickelt, der Informationen zu Exponaten anzeigt. Mit Hilfe mehrerer WLAN Access Points im Museum ermittelt der Museumsführer die Exponate in der Nähe des Besuchers und vereinfacht damit deren Suche. Zusätzlich ist an jedem Museumsstück eine Station auf Gadgeteer-Basis angebracht, mit der die Besucher interagieren können um Informationen zum Ausstellungsstück zu erhalten. Es werden drei unterschiedliche Stationen entwickelt: Zwei werden mit der Hand in Kombination mit einem RFID-Armband bedient und eine kommuniziert direkt mit dem Museumsführer über NFC. Die Museumsinhalte liegen auf einem Server und können von den Kuratoren über ein Web-Frontend verwaltet werden. Bei der Installation enthält die App keine Museumsdaten und kann die Inhalte von allen Museen, die dieses System verwenden, laden. In einer Laborstudie wurde das System von den Probanden positiv bewertet. Für den produktiven Einsatz im Museum sind aber noch Verbesserungen nötig.

Abstract

In this work, a museum guide for Android is developed, which displays information of the exhibits. With the help of several WLAN Access Points the museum guide determines the exhibits in the vicinity of the visitor and thus simplifies the search for them. In addition, each exhibit is augmented with a station based on Gadgeteer hardware. The visitors can interact with them in order to obtain information about the corresponding exhibit. Three different stations were developed: two are used by hand in combination with a RFID bracelet and one station communicates directly with the android museum guide with NFC. The museum content is stored on a server and can be managed by the curators through a web frontend. On installation the android application has no museum content included. Content can be loaded in every museum that uses this system. In a laboratory study the system was evaluated positively. But improvements are still needed for productive use in a museum.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	11
2. Verwandte Arbeiten	13
2.1. Museumsbesucher	13
2.2. Museumsführer	14
2.3. Interaktion im Museum	15
2.3.1. Affordance: Interaktionsmöglichkeiten kommunizieren	15
2.3.2. Greifbare Benutzerschnittstelle	18
2.4. Ortung	19
2.4.1. Punktuelle Ortung	20
2.4.2. Kontinuierliche Ortung	23
3. Konzept	31
3.1. Interaktion	31
3.2. Ortung	33
3.3. Besucherszenario	34
4. Implementierung	37
4.1. Android Museumsführer	37
4.1.1. Datenmanagement	38
4.1.2. Architektur	38
4.1.3. Beginn des Museumsbesuches	39
4.1.4. Während des Museumsbesuches	40
4.1.5. Kontinuierliche Ortung	41
4.1.6. Punktuelle Ortung	43
4.1.7. Internationalisierung	45
4.2. Django Server	46
4.2.1. Architektur	47
4.2.2. Django REST Framework	47
4.2.3. Datenbank	48
4.3. Gadgeteer Prototypen	49
4.3.1. Gadgeteer	49
4.3.2. NFC Prototyp	51
4.3.3. RFID-Armband Prototyp	52
4.3.4. Daumen Prototyp	53
4.3.5. Raumregistrierung Prototyp	54

5. Benutzerstudie	55
5.1. Teilnehmer	55
5.2. Durchführung	55
5.3. Ergebnisse	57
5.4. Diskussion	61
6. Zusammenfassung und Ausblick	63
A. Anhang	65
A.1. Deployment	65
A.2. Günstige Hardwarealternativen	66
A.3. Benutzerstudie	68
A.3.1. Einverständniserklärung für die Studie	68
A.3.2. Kurze Einführung zum Beginn der Studie	69
A.3.3. Einführung für die Affordance-Analyse	69
A.3.4. Fragebogen	70
A.3.5. SUS Fragebogen	73
A.3.6. Fragen des semistrukturierten Interviews	75
A.4. Screenshots der Museums App	75
Literaturverzeichnis	77

Abbildungsverzeichnis

2.1.	Explorer-App des American Museum of Natural History	15
2.2.	Türen, die eine gute Affordance bieten.	16
2.3.	RFID-Lesegerät im Exploratorium Museum.	17
2.4.	Interaktion mit dynamischem NFC-Display	18
2.5.	Tourenplaner im Museum mit dynamischem NFC-Display	18
2.6.	Tangible User Interfaces (TUIs) für die Zeitreisenden	19
2.7.	Triangulation mit Distanzmessung	24
2.8.	Ortung durch Winkelmessung	24
2.9.	Ortung durch benachbarte Mobilfunkzellen.	25
2.10.	Führer für den botanischen Garten	26
2.11.	Museumsführer mit automatisch vergrößerten Ausstellungsstücken	28
2.12.	Aufbau des Audioguide-Systems im jüdischen Museum	30
3.1.	Gadgeteer Prototyp mit NFC und LEDs	32
3.2.	Gadgeteer Prototyp für die Interaktion mit dem RFID-Armband.	32
3.3.	Füllstandsanzeige eines Raumes.	33
3.4.	Aktivitätsdiagramm des Museumsführers	35
4.1.	Architektur der Android Museums-App	39
4.2.	Nach Distanz zum Besucher sortierte Liste der Ausstellungsstücke.	43
4.3.	Google Cloud Messaging Implementierung	45
4.4.	Django Web-Frontend zur Inhaltsverwaltung	46
4.5.	Architektur des Django Servers	47
4.6.	Datenbankschema des Django Servers	49
4.7.	Gadgeteer Designer und Gadgeteer Hardware.	50
4.8.	Erster NFC Prototyp mit Öffnung für das Smartphone und LEDs.	52
4.9.	Mit passiven RFID-Tags bestücktes Armband.	52
4.10.	Handabdruck aus Salzteig.	53
4.11.	Prototyp mit Daumen-Schalter.	54
5.1.	Evaluierung der Affordance mit den nacheinander aufgedeckten Prototypen.	56
5.2.	Museum für die Benutzerstudie mit drei Ausstellungsstücken.	56
5.3.	Die Probanden sind mit diesen Smartphone-Systemen vertraut	57
5.4.	Boxplot der SUS-Werte.	58
A.1.	Screenshots der Museums App, Teil 1	75
A.2.	Screenshots der Museums App, Teil 2	76

A.3. Screenshots der Museums App, Teil 3	76
--	----

Tabellenverzeichnis

A.1. Preise der verwendeten Hardware	66
A.2. Preise alternativer Hardware	67

Abkürzungsverzeichnis

Aml	Ambient Intelligence	30
AP	Access Point	39
API	Application Programming Interface	47
GCM	Google Cloud Messaging	39
GPS	General Positioning System	25
GUI	Graphical User Interface	
HTML	Hypertext Markup Language	
ICPS2008	International Conference on Pervasive Services 2008	23
ID	Identifikationsnummer	21
JSON	JavaScript Object Notation	
LAN	Local Area Network	
MeSch	Material Encounters with digital Cultural Heritage	11
MSE	Mobility Services Engine	28
NFC	Near Field Communication	17
PDA	Personal Digital Assistant	14
POI	Point of Interest	17
QR	Quick Response	21
REST	Representational State Transfer	47
RFID	Radio-Frequency Identification	16
RMV	Rhein-Main-Verkehrsverbund	22
SQL	Structured Query Language	
SUS	System Usability Scale	56
TCP	Transmission Control Protocol	
TUI	Tangible User Interface	7
URL	Uniform Resource Locator	

USB	Universal Serial Bus	
WLAN	Wireless Local Area Network.....	22
XML	Extensible Markup Language	
YAML	Yet Another Multicolumn Layout	

Verzeichnis der Listings

4.1.	Django REST Framework: Auflistung und Erstellen von Besuchern	48
------	---	----

1. Einleitung

Diese Diplomarbeit wird im Rahmen des Projektes Material Encounters with digital Cultural Heritage (MeSch)¹ durchgeführt. Ziel des vierjährigen EU-Projektes ist es ein System zu entwickeln mit dem Kuratoren selbständig interaktive Installationen erstellen können. Dabei sollen die Ausstellungsstücke und das Museum mit den vielfältigen digitalen Museumsinhalten und den aktuellen technischen Möglichkeiten verbunden werden.

Mit Hilfe einer Authoring-Software können die Kuratoren die digitalen Inhalte aufbereiten. In Kombination mit einer Multi-Sensor Hardwareplattform, die von den Kuratoren programmiert werden kann, entstehen daraus intelligente Ausstellungsstücke, die eine Brücke zwischen den digitalen Inhalten und der physischen Ausstellung schlagen. Im MeSch Projekt sollen dabei die Ausstellungsstücke wieder in den Mittelpunkt des Museumsbesuches rücken und die Geschichte anfassbar machen. Mit den intelligenten Ausstellungsstücken sollen die Interaktionsmöglichkeiten und die digitalen Inhalte an den Kontext und an die Besucher angepasst werden, so dass für jeden Besucher ein personalisiertes Erlebnis entsteht.

Im Rahmen dieser Diplomarbeit wird ein Museumsführer für Smartphones entwickelt, der auf innovative Weise mit den Ausstellungsstücken gekoppelt ist und sich so nahtlos in das Museumserlebnis einfügt. Über die Trennung des Museumsführers vom präsentierten Inhalt kann er in einfacher Weise in unterschiedlichen Museen eingesetzt werden. Nur die passenden Museumsinhalte müssen eingefügt werden.

Der Museumsführer auf dem Smartphone ermittelt seine Position im Museum und präsentiert dem Besucher die Exponate in seiner direkten Umgebung. Eigene Favoriten und der Verlauf des bisherigen Museumsbesuches ermöglichen eine weitere Personalisierung für jeden Besucher. Mit Hilfe von Stationen, die an jedem Exponat angebracht werden, kann der Besucher mit den Exponaten interagieren und sich über diese informieren. Die Stationen sollen die Besucher zur Interaktion einladen und möglichst einfach zu bedienen sein. In einer Benutzerstudie werden die Stationen evaluiert und die Eignung des Gesamtsystems für den Museums-Kontext überprüft.

Die Informationen zu den Ausstellungsstücken werden über ein Web-Frontend des Servers von den Kuratoren verwaltet. Informationen zu den Besuchern und deren Museumsaufenthalt werden ebenfalls über das Web-Frontend zur Verfügung gestellt.

¹<http://mesch-project.eu/>

Gliederung

Die Arbeit ist in folgender Weise gegliedert:

Kapitel 2 – Verwandte Arbeiten: Es werden verwandte Arbeiten beschrieben die für den Museums-Kontext und die technische Umsetzung des Museumsführers relevant sind.

Kapitel 3 – Konzept: Es wird das Konzept der Diplomarbeit vorgestellt in Anlehnung und Abgrenzung zu den verwandten Arbeiten in Kapitel 2.

Kapitel 4 – Implementierung: Es wird die Implementierung und Entwicklung aller Komponenten der Museums-Anwendung beschrieben.

Kapitel 5 – Benutzerstudie: Durchführung und Auswertung der Benutzerstudie.

Kapitel 6 – Zusammenfassung und Ausblick: Die Ergebnisse der Arbeit werden zusammengefasst und Anknüpfungspunkte vorgestellt.

2. Verwandte Arbeiten

In diesem Kapitel werden verwandte Arbeiten zu den Themen der Diplomarbeit vorgestellt. Abschnitt 2.1 stellt Forschungsergebnisse zu Museumsbesuchern vor. Abschnitt 2.2 geht auf die Geschichte der Museumsführer ein und gibt einen Überblick der verfügbaren Museumsführer in Deutschland. Unter 2.3 werden unterschiedliche Interaktionsmöglichkeiten im Museum beschrieben und auf die Affordance eingegangen. Abschnitt 2.4 gibt einen Überblick über verfügbare Lösungen, mit denen die Position des Besuchers bestimmt werden kann, um ortsbezogene Dienste zu ermöglichen.

2.1. Museumsbesucher

Wenn ein neuer Museumsführer für ein Museum entwickelt wird, ist es wichtig die Bedürfnisse der Besucher im Blick zu haben. Im Folgenden werden Arbeiten beschrieben, die sich näher mit den Museumsbesuchern befassen und Hinweise geben, was für einen erfolgreichen Museumsführer zu beachten ist. Veron und Levasseur [VL89] haben 1989 mit Hilfe von ethnographischen Beobachtungen im Louvre¹ eine Kategorisierung der Besucher vorgenommen. Dazu haben sie die Bewegungen der Besucher, die Zeit die sie vor Ausstellungsstücken stehen und die Dauer des Museumsaufenthaltes analysiert. Sie konnten vier unterschiedliche Typen von Museumsbesuchern erkennen. Jedem Typus haben sie ein Tier mit ähnlichem Verhalten zugeordnet:

- Ameise: Der Besucher folgt den Rundgängen die die Kuratoren festgelegt haben und hält sich eine lange Zeit im Museum auf während der er (fast) alle Ausstellungsstücke anschaut.
- Fisch: Der Besucher hält sich meist in der Mitte des Raumes auf und zeigt wenig Interesse für Details der einzelnen Ausstellungsstücke.
- Schmetterling: Der Besucher folgt nicht den Rundgängen sondern lässt sich durch die räumliche Struktur des Museums leiten und sieht dabei fast alle Ausstellungsstücke hält aber nur ab und zu um sich eines davon näher anzusehen.
- Heuschrecke: Der Besucher schaut sich nur eine kleine Auswahl an Ausstellungsstücken an. Dafür verbringt er lange Zeit vor diesen. Andere Ausstellungsstücke ignoriert er.

Eine empirische Studie von Kuflik *et al.* [KBZ83] 1993 bestätigt die unterschiedlichen Typen.

¹<http://www.louvre.fr/>

2.2. Museumsführer

Museumsführer gibt es fast so lange wie es Museen gibt. Meist sind es dafür ausgebildete Personen, die die Besucher durch das Museum führen. In vielen Museen gibt es auch heute noch diese Museumsführer, die besonders für Besuchergruppen eingesetzt werden. Einzelne Besucher können sich einer solchen Gruppe anschließen, bekommen aber wegen den hohen Kosten normalerweise keinen eigenen Museumsführer. Daher sind mit Aufkommen der mobilen Kassetten- und CD-Spieler auch digitale Museumsführer entstanden, die individuell von jedem Besucher verwendet werden können. Allerdings sind diese oft unhandlich, umständlich zu bedienen und auf den Audiokanal beschränkt. Aktuelle digitale Museumsführer, die auf den Personal Digital Assistant (PDA) oder das Smartphone aufsetzen, bieten dagegen deutlich mehr Möglichkeiten. Neben zusätzlichen Multimedia-Inhalten, wie Bilder und Video-Clips, können leicht auch umfangreichere Texte in mehreren Sprachen präsentiert werden und mit den zur Verfügung stehenden Sensoren, wie z.B. Infrarot, RFID, WLAN und GPS entstehen weitere Möglichkeiten um den Museumsführer mit neuen Funktionen aufzuwerten [CWH⁺04].

Ahlfeldt [Ahl11] gibt 2011 einen Überblick über digitale Museumsführer in Deutschland, die im Apple App-Store verfügbar sind. Für Museen weltweit sind zu diesem Zeitpunkt über 200 Museumsführer im App-Store verfügbar. Für Deutschland sind es 14 Stück². Diese Zahl gibt nur einen Ausschnitt wieder, da nicht alle Museumsführer im App-Store veröffentlicht werden. Oft werden für die Museumsführer auch der Ipod Touch oder auch ältere Geräte wie PDAs eingesetzt und an die Besucher ausgeliehen. Die Anwendung wird dabei direkt auf dem Ipod installiert und ist nicht im App-Store verfügbar. Die Apps im App-Store bieten von einfachen Audio-Guides, Spielen und Museums-Touren z.B. die Möglichkeit mit den Künstlern in Dialog zu treten. Die Auswahl der Ausstellungsstücke erfolgt über eine zugeordnete Nummer, die in der App eingegeben wird, über eine Suchfunktion oder über die Darstellung der Ausstellungsstücke auf einer Museumskarte. Kontextsensitive Apps, die auf den Standort des Besuchers, die Umgebungslautstärke oder andere Eigenschaften der Umgebung reagieren, sucht man dagegen vergeblich. Der Autor kommt zu dem Schluss, dass der Markt noch sehr jung und sowohl quantitativ wie auch qualitativ entwicklungsfähig ist. International sind dagegen schon weiterentwickeltere Museumsführer verfügbar. So ermöglicht beispielsweise der AMNH-Explorer³ des American Museum of Natural History in New York seine eigene Museums-Tour zusammenzustellen und über WLAN ist die Ortung und Navigation innerhalb des Museums möglich (Abb. 2.1) [Ahl11].

²Stand April 2011

³<https://itunes.apple.com/us/app/explorer-american-museum-natural/id381227123?mt=8>



Abbildung 2.1.: Navigation im American Museum of Natural History mit der Explorer-App.

2.3. Interaktion im Museum

In diesem Kapitel werden Grundlagen zur Interaktion und dazugehörige Arbeiten im Museums-Kontext vorgestellt.

2.3.1. Affordance: Interaktionsmöglichkeiten kommunizieren

Der Begriff Affordance wurde zuerst von dem Psychologen James J. Gibson 1977 im Artikel „The Theory of Affordance“ [SB77] eingeführt. Er beschreibt Affordance als die möglichen Aktionen, die durch Interagieren mit der Umwelt möglich sind. Donald A. Norman hat den Begriff der Affordance in den Bereich der Mensch-Computer-Interaktion eingeführt und gibt eine abgewandelte Definition: Affordance ist die wahrgenommene Möglichkeit der Aktion. Diese Definition bezieht das Individuum mit seinem bisherigen Wissen und den gemachten Erfahrungen mit ein. Am Beispiel von Türen beschreibt D. A. Norman was gute Affordance ist: Türen, bei denen klar ist, ob man sie ziehen oder drücken muss, ohne dass ein Schild mit zusätzlichen Erklärungen nötig ist, bieten gute Affordance (Abb. 2.2). Türen, bei

2. Verwandte Arbeiten

denen unklar ist, wie sie geöffnet werden, bieten dagegen eine schlechte Affordance [Noroz]. Eine schlechte Affordance kann im Falle der Türen zu einer längeren Eingewöhnungszeit führen, bis sich die Personen an die ungewohnte Nutzung gewöhnen. Unter Umständen kann auch ein deutlich größerer Schaden entstehen, beispielsweise wenn das Bezahlssystem eines Online-Händlers eine schlechte Affordance bietet, und die Kunden aufgrund dessen ihre Käufe nicht abschließen können und die gewünschte Waren dann bei einem anderen Händler kaufen.

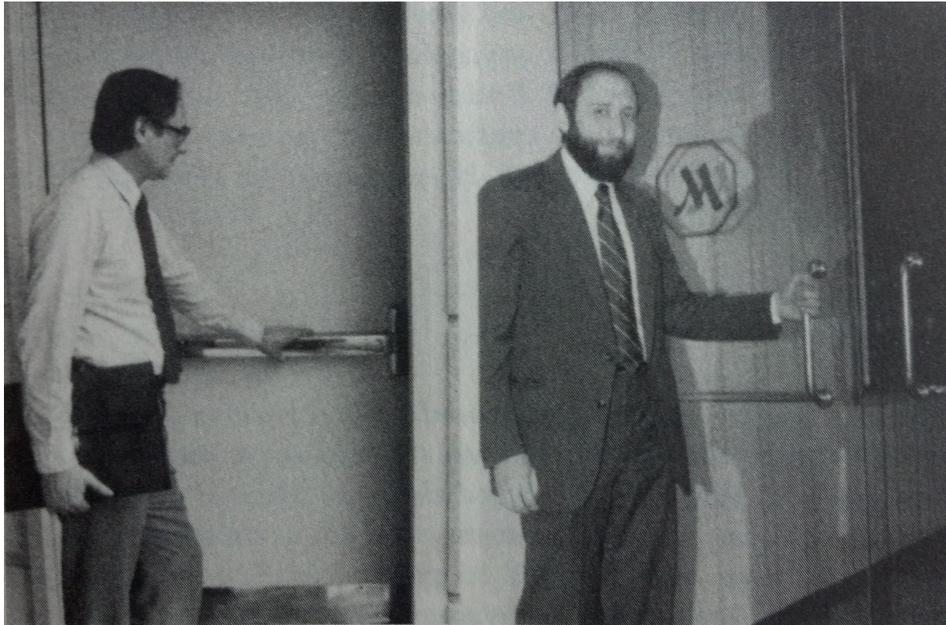


Abbildung 2.2.: Türen, die eine gute Affordance bieten: Der breite horizontale Griff der linken Tür weist darauf hin, dass die Tür zu drücken ist. Die rechte Tür hat unterschiedliche Griffe: der vertikale kurze Griff weist darauf hin, dass sie gezogen werden muss [Noroz].

Auch im Museums-Kontext ist es hilfreich auf eine gute Affordance zu achten. Beispielsweise sollten die interaktiven Installationen und Museumsführer möglichst intuitiv bedient werden können, um bei den Besuchern Frustration zu vermeiden. Zu komplizierte und nicht intuitive Installationen können dazu führen, dass ein Großteil der Besucher das Interesse verliert und weitergeht [HSo6].

Das Exploratorium in San Francisco⁴ erlaubt es den Besuchern mit Hilfe von Radio-Frequency Identification (RFID)-Karten Informationen zu Ausstellungsstücken zu sammeln um sich später ausführlicher damit befassen zu können. Dabei ist an jedem Ausstellungsstück ein RFID-Lesegerät installiert. Wenn der Besucher seine RFID-Karte an das Lesegerät hält, wird

⁴<http://www.exploratorium.edu/>

das Ausstellungsstück zur virtuellen Sammlung des Besuchers hinzugefügt (Abb. 2.3). In unterschiedlichen Studien ist deutlich geworden, dass die Besucher kein intuitives Verständnis für das RFID-System haben: Manche halten die Karte zu weit vom Lesegerät weg, bewegen sie schnell hin und her, oder entfernen sie wieder zu schnell vom Lesegerät, ohne dass die Karte gelesen werden kann. Durch Training der Besucher und ein besseres Design der Lesegeräte wird versucht die Affordance zu verbessern. Hilfreich wäre eine festgelegte und einheitlich verwendete Metapher, wie mit RFID-Hardware interagiert wird [HFT05].

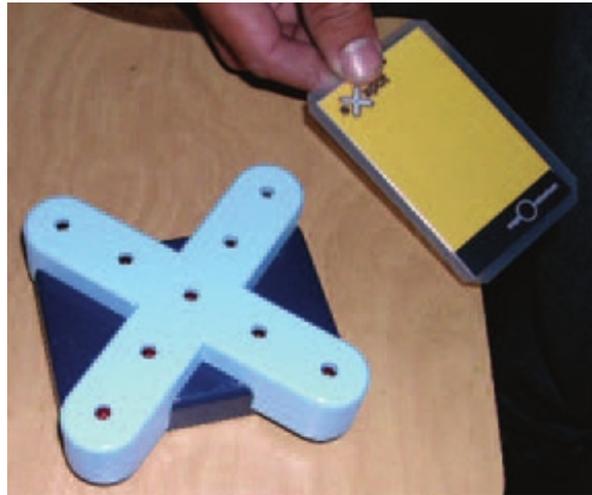


Abbildung 2.3.: RFID-Lesegerät im Exploratorium Museum und RFID-Karte [HFT05]

Hardy *et al.* präsentieren Smart Poster mit Near Field Communication (NFC)-Tags. Dabei wird entweder ein Plakat (statische Variante) oder ein Display (dynamische Variante) auf der Rückseite mit NFC-Tags versehen. Der präsentierte Prototyp zeigt eine Stadtkarte mit Points of Interest (POIs). Unter jedem POI ist ein NFC-Tag angebracht. Wird nun das NFC-fähige Smartphone über die POIs gehalten, werden zu diesem Informationen angezeigt und z.B. kann die Routenführung zu diesem POI gestartet werden (Abb. 2.4) [HRHW10]. Obwohl die NFC-Tags unsichtbar hinter dem Display angebracht werden können, ist es unter Umständen sinnvoll eine graphische Repräsentation des NFC-Tags auf der Karte darzustellen, um dem Benutzer einen Hinweis zu geben, wo er sein Smartphone hinhalten muss. Dies ist insbesondere dann relevant, wenn die Dichte der NFC-Tags niedriger ist, als die Dichte der POIs auf der Karte, so dass mehrere POIs über einem NFC-Tag zu liegen kommen. In diesem Fall ist eine zusätzliche Auswahlmöglichkeit nötig, z.B. indem auf dem Smartphone eine Liste der POIs angezeigt wird. In der Evaluation hat sich gezeigt, dass das System eine vorhersehbar schlechte Affordance bietet, da es bisher noch keine vergleichbaren Installationen gibt, bei denen man mit dem Smartphone bestimmte Punkte auf einem Poster oder Display berührt. So haben die Studienteilnehmer in vielen Fällen mit den Fingern das Poster berührt, wegen dem bekannten Interaktionskonzept des Touch-Screens. Andere Studienteilnehmer haben nur mit dem Smartphone interagiert, weil ihnen das Verwenden der Bluetooth-Verbindung vertraut ist [HRHW10].



Abbildung 2.4.: Interaktion mit dem dynamischen NFC-Display [HRHW₁₀]

Blöckner *et al.* benutzen das dynamische Display mit NFC von Hardy *et al.* [HRHW₁₀] für einen Museumsführer. Über das Display kann der Besucher unterschiedliche Museum-Touren ansehen, neue Museums-Touren erstellen und sie auf das ausgehändigte NFC-fähige Handy laden, um sie für den Museumsbesuch zu verwenden (Abb. 2.5) [BDF⁺09].



Abbildung 2.5.: Tourenplaner im Museum mit dem dynamischen NFC-Display [BDF⁺09]

2.3.2. Greifbare Benutzerschnittstelle

Der Begriff der Greifbaren Benutzerschnittstelle (Tangible User Interface (TUI)) wurde von Hiroshi Ishii und Brygg Ullmer eingeführt. Dabei wurden sie von der Sammlung an historischen wissenschaftlichen Geräten an der Harvard Universität inspiriert. Die meisten dieser Geräte sind aus dem Alltag verschwunden und vom Computer abgelöst worden. Ziel ihrer Arbeit ist es diese Vielfalt an Geräten mit dem Computer zu kombinieren und so „die Bits greifbar zu machen“ [IU97].

Wakkary *et al.* [WHM⁺09] nutzen TUIs in ihrem Museumsführer für Familien und kleine Besuchergruppen. Der Museumsführer ist dabei als Spiel ausgelegt in dem die Familie als Zeitreisende in der Gegenwart gelandet ist, weil die Zeitreise-Karte zerstört wurde. Indem sie Informationen im Museum aus den unterschiedlichen Zeiten sammeln, können sie die Karte wiederherstellen. Informationen können mit drei TUIs gesammelt werden (Abb. 2.6): Ein Hörer, das einem alten FM-Radio oder Walkie-Talkie ähnelt, ein Zeigegerät und ein Lesegerät in Lupenform. Die TUIs werden in Kombination mit einem PDA und einem großen Touchscreen auf einem Tisch verwendet. Der PDA dient zur grafischen Ausgabe während des Spiels und über den Touchscreen kann der aktuelle Spielstand und weiterführende Informationen angesehen werden. In den TUIs kommt ein Arduino-System zum Einsatz, das über WLAN mit den anderen Geräten verbunden ist. Die Erkennung der Ausstellungsstücke mit den TUIs erfolgt über Infrarot oder RFID [WHM⁺09].



Abbildung 2.6.: TUIs für die Zeitreisenden von Links nach Rechts: Hörer, Zeigegerät und Lesegerät [WHM⁺09]

2.4. Ortung

Die Ortung des Besuchers im Museum ermöglicht eine weitere Verbesserung der Interaktion mit dem Museum. Denkbar ist beispielsweise, dass der Museumsführer nur Aktionen erlaubt, die im momentanen Kontext sinnvoll sind, oder unterschiedliche Rundgänge vorschlägt, je nachdem wo sich gerade die meisten Besucher befinden. Interaktive Installationen im Museum könnten die Anzahl der Personen oder deren Beziehung zueinander berücksichtigen um ein optimal an die Besucher angepasstes Museumserlebnis zu bieten.

Im Bereich der Ortung wurden viele wissenschaftliche Arbeiten durchgeführt [BS12]. Bisher ist keine Lösung verfügbar, die allen Anforderungen gleichermaßen gerecht wird. Daher muss je nach Anwendung sorgfältig überlegt werden, welche Technik eingesetzt wird.

Für den Museums-Kontext werden folgende Anforderungen gestellt:

- einfache Installation
- kostengünstig
- unauffällig in die Ausstellung integrierbar
- mit den Ausstellungsstücken verträglich

Im folgenden werden mehrere Arbeiten im Bereich der Ortung vorgestellt. Die Arbeiten sind danach gegliedert, ob damit eine kontinuierliche Ortung (2.4.2) möglich ist oder ob die Position nur punktuell ermittelt wird (2.4.1).

2.4.1. Punktuelle Ortung

Bei der punktuellen Ortung ist die exakte Position des Besuchers nur an bestimmten Punkten bekannt. Bewegt sich der Besucher zwischen den Punkten, an dem der Besucher geortet werden kann, ist sein Aufenthaltsort unbestimmt. Die ungefähre Position kann mittels Dead Reckoning über den letzten bekannten Standort und mit einem Modell der möglichen Bewegungen abgeschätzt werden. Das Modell enthält beispielsweise die maximal mögliche Geschwindigkeit des Besuchers und Restriktionen durch die Raumgeometrie.

Der Übergang zur kontinuierlichen Ortung ist fließend, da mit einer hohen Dichte an Ortungspunkten eine nahezu kontinuierliche Ortung möglich ist. Insbesondere wird bei der kontinuierlichen Ortung auch gesampelt und interpoliert, sodass es bei vergleichbarer Messhäufigkeit keinen Genauigkeitsunterschied zwischen punktueller und kontinuierlicher Ortung gibt.

Der Begriff punktuelle Ortung ist etwas unpräzise, da die gemessene Position nicht auf einen infinitesimal kleinen Punkt beschränkt ist, sondern auch einen größeren Bereich umfassen kann. Beispielsweise kann ein QR-Code, je nach verfügbarem Lesegerät, auch von mehreren Metern Entfernung gelesen werden. Im Allgemeinen ist jedoch der Bereich, der einem Messpunkt zugeordnet ist, begrenzt.

Manuelle Ortung

Die trivialste Art der punktuellen Ortung erfolgt, wenn der Besucher seine Position manuell bekannt gibt. Im Museum sind beispielsweise die Ausstellungsstücke mit Nummern versehen, die der Besucher in den elektronischen Museumsführer eingibt und dann Informationen zum Ausstellungsstück erhält. Ähnlich ist auch eine Suchfunktion für die Namen der Ausstellungsstücke. Die Ortung erfolgt dabei nur indirekt unter der Annahme, dass der Besucher die Nummer oder den Namen des Ausstellungsstückes in der Nähe des Ausstellungsstückes eingibt. Merkt sich der Besucher Nummer oder Namen, kann er auch an jeder beliebigen anderen Position im Museum die Informationen zum zugehörigen Ausstellungsstück abrufen.

Quick Response (QR) Code

Mit der Verbreitung von Smartphones mit eingebauten Kameras erfreuen sich die QR Codes wachsender Beliebtheit. QR Codes wurden zuerst in der Logistikbranche eingesetzt⁵. Heute sind sie in vielen Bereichen anzutreffen, z.B. in der Werbung⁶, zur Navigationshilfe im Nahverkehr⁷ und auch in Museen [BS12]. Büttner *et al.* haben eine App mit QR Code Scanner für Mobiltelefone entwickelt, um physische Check-Ins durchzuführen. Mit der App kann über das soziale Netzwerk Foursquare⁸ an bestimmten Orten eingecheckt werden [BCR⁺10]. Bittins *et al.* präsentieren eine Architektur für Android mit der unterschiedliche Sensoren, darunter auch QR Codes, zur Ortung fusioniert werden. Mit einer Beispielanwendung wurden gute Ergebnisse bei der Indoor- und Outdoor-Ortung erzielt [BS12].

Infrarot

Infrarot ist gut für die Realisierung einer raumgenauen Ortung geeignet, da das Infrarot-Licht keine Wände durchdringt. Die Ortung erfolgt dadurch, dass Infrarot-Empfänger in den Räumen installiert werden und die zu ortenden Personen erhalten eine Infrarot-Diode, die einen eindeutige Bitfolge sendet. Da alle Infrarot-Signale das gleiche Medium teilen, können mehrere Personen nicht gleichzeitig geortet werden. Daher senden die Infrarot-Dioden ihr Signal periodisch [WHFaG92]. Bei Want *et al.* wurde die Periode auf 15 Sekunden eingestellt und mit einem variablen Anteil versehen, so dass zufällig synchronisierte Sender nach kurzer Zeit nicht mehr synchronisiert senden. Want *et al.* haben das System zur Ortung mit über 100 Mitarbeitern an der Universität in Cambridge getestet und erfolgreich eingesetzt [WHFaG92].

Einen anderen Ansatz verfolgen Chou *et al.* mit ihrem Museumsführer für das Taipei Astronomical Museum [CWH⁺04]. An jedem Ausstellungsstück ist ein selbstentwickelter Infrarot-Emitter angebracht, der periodisch eine dem Ausstellungsstück zugeordnete Identifikationsnummer (ID) ausstrahlt. Kommt der Museumsführer, der auf einem PDA mit Infrarot-Empfänger installiert ist, in die Nähe eines Ausstellungsstückes, werden Informationen zu dem Ausstellungsstück angezeigt. Tesoriero *et al.* setzen neben aktivem und passivem RFID auch Infrarot ein um Informationen zu Exponaten auf dem PDA anzeigen zu können, die vom Besucher nicht direkt erreichbar sind, da die Exponate z.B. von der Decke hängen. Dabei zeigt der Besucher mit dem PDA auf das Exponat. Dies ist möglich, da der Infrarot-Empfänger am PDA richtungsempfindlich ist [TGLPo8]. Alfaró *et al.* haben ein großes Fresko mit mehreren Infrarot-Emittern versehen. Steht der Besucher längere Zeit vor einem Ausschnitt des Freskos werden in dem Museumsführer auf einem PDA Informationen zu dem Ausschnitt angezeigt [ANP⁺05].

⁵<http://www.qrcode.com/en/>

⁶http://www.stroeer.de/markt_news.1049.0.html?newsid=4172

⁷<http://www.bvg.de/index.php/de/435755/name/QR-Codes.html>

⁸<http://www.foursquare.com>

Passives RFID

Passive RFID-Tags haben keine eigene Stromquelle, sondern funktionieren über den durch das RFID-Lesegerät induzierten Strom und übertragen Informationen durch Modulation des elektrischen Feldes. Mit dieser Technik sind nur geringe Leseabstände möglich. Daher sind die passiven RFID-Tags als Alternative zu Barcodes oder QR Codes zu sehen [NLLP04].

Wang *et al.* haben einen Museumsführer für den PDA entwickelt. Mit einer Erweiterung für den PDA können die RFID-Tags gelesen werden, die an jedem Ausstellungsstück angebracht sind. Auf den RFID-Tags ist nur eine ID gespeichert. Die Informationen zu den Ausstellungsstücken werden über ein Wireless Local Area Network (WLAN) aus einer Datenbank ausgelesen. Das hat den Vorteil, dass neue Informationen nur an zentraler Stelle in die Datenbank eingepflegt werden und nicht die RFID-Tags neu beschrieben werden müssen. Bilder und Videos können sowieso nicht auf den RFID-Tags gespeichert werden, da der verfügbare Speicher nicht ausreicht [WYLo7].

Tesoriero *et al.* nutzen für ihren Museumsführer passives RFID, wenn die ungenauere Ortung über aktives RFID (2.4.2) nicht ausreicht, um zwischen einzelnen Ausstellungsstücken unterscheiden zu können [TGLPo8]. Huang *et al.* verfolgen einen ähnlichen Ansatz mit der gleichen Technik [HWS11].

Im Exploratorium Museum in San Francisco ist an jedem Ausstellungsstück ein akkubetriebenes RFID-Lesegerät installiert und die Besucher erhalten am Eingang RFID-Karten (Abb. 2.3). Hält der Besucher seine RFID-Karte an das Lesegerät, werden Informationen zum Ausstellungsstück für ihn gespeichert. Zusätzlich können an manchen Stationen Bilder oder Videos aufgenommen werden, die dann ebenfalls gespeichert werden. Über einen Kiosk im Museum können sich die Besucher die gespeicherten Dinge ansehen. Zusätzlich kann der Besucher von zu Hause aus über eine für ihn generierte Webseite auf die gespeicherten Ausstellungsstücke, Fotos und Videos zugreifen und sich weiter informieren [HS04] [HFT05].

NFC

NFC ist nahe mit dem passiven RFID verwandt. NFC sendet bei einer Frequenz von 13,56 MHz mit einer Übertragungsrate von 424 Kbit/s und einem maximalen Abstand von 10 cm. RFID-Tags, die auf der gleichen Frequenz arbeiten, sind zu NFC kompatibel. Es gibt einen passiven und einen aktiven Modus. Im aktiven Modus bauen beide Geräte eine Verbindung auf und können so Daten austauschen, beispielsweise zwei Smartphones. Der passive Modus funktioniert wie das passive RFID: Das Lesegerät, beispielsweise ein Smartphone, erzeugt ein elektrisches Feld und der passive NFC-Tag sendet Daten durch Modulation des elektrischen Feldes.

NFC wird bisher hauptsächlich für Bezahldienste und Ticketsysteme eingesetzt [CNH⁺07]. Der Rhein-Main-Verkehrsverbund (RMV) hat 2006 mit einem Ticketsystem für das Busnetz in Hanau die erste kommerzielle NFC-Anwendung gestartet. Dabei wird das NFC-fähige Handy an einen Terminal gehalten um die Fahrkarte zu bezahlen und zu entwerten

[CNH⁺07]. In Japan wird ein NFC-Ticketsystem für den Pendlerverkehr großflächig eingesetzt [HRHW10].

NFC wird auch für unterschiedliche Zwecke in Museen eingesetzt. Rudametkin *et al.* haben auf der International Conference on Pervasive Services 2008 (ICPS2008) einen Museumsführer mit NFC vorgestellt. Für die Vorstellung wurden Nokia 6131 Handys mit NFC verwendet. In der Anwendung, die auf dem Handy läuft, kann der Besucher verschiedene Einstellungen vornehmen, wie die gewünschte Sprache, kindgerechte Präsentation der Ausstellungsstücke und vorhandene Behinderungen, um z.B. nur eine visuelle oder nur eine akustische Präsentation zu erhalten. Liest der Besucher mit seinem Handy einen NFC-Tag wird dies über Bluetooth an einen Server weitergeleitet. Dieser entscheidet über Regeln, wo die Informationen zum Ausstellungsstück ausgegeben werden. Ausgabegeräte sind das Handy selbst, in der Ausstellung installierte Fernseher oder Nabaztag Hasen, die Audio-Dateien wiedergeben können und dazu eine Choreografie aufführen. Sind zu Spitzenzeiten viele Personen im Museum, ist das Handy das bevorzugte Ausgabegerät und die Fernseher werden für Besuchergruppen verwendet [RTP⁺08]. Weis *et al.* haben einen Museumsführer entwickelt, der die Ausgabe von Informationen zu Ausstellungsstücken anpasst, je nachdem welche Personen sich in einem Raum befinden. Spricht die Mehrheit der Leute im Raum Englisch wird auf im Raum installierte große Displays Informationen in Englisch angezeigt. Sind weitere Personen mit anderen Sprachen im Raum bekommen diese die geeignete Übersetzung auf einem PDA angezeigt. Das System reagiert auch auf vorhandene visuelle oder akustische Behinderungen und wählt den geeigneten Ausgabekanal. Die Ortung erfolgt mit einer Kombination aus WLAN und NFC bzw. RFID. Mit den letzten beiden wird die punktuelle Ortung an den Ausstellungsstücken realisiert [KRW09] [WCRH10].

2.4.2. Kontinuierliche Ortung

Liu *et al.* geben einen guten Überblick über den Stand der Indoor-Ortung mit Funk-Technologien, die für die kontinuierliche Ortung geeignet sind [LD07]. Dabei unterscheiden sie zwischen drei verschiedenen Typen der Ortung: Triangulation, Szenenanalyse und die Nähe als Metrik.

Bei der Triangulation werden entweder die Distanzen zu den Referenzpunkten gemessen (Abb. 2.7) oder der Winkel unter dem das zu ortende Objekt von den Referenzpunkten zu sehen ist (Abb. 2.8). Für die Distanzmessung wird entweder die Signalstärke betrachtet und damit auf die Distanz geschlossen, oder es wird die Signallaufzeit gemessen und über die Signalausbreitungsgeschwindigkeit wird die Distanz berechnet. Die Laufzeitmessung ist technisch aufwändig, da exakt synchronisierte Empfänger und Sender erforderlich sind, um gute Ergebnisse zu erzielen. Zusätzlich ist für ein gutes Ergebnis eine Sichtverbindung zwischen Empfänger und Sender nötig. Das ist in Gebäuden und insbesondere in Museen oft schwer zu realisieren. Bei der Messung der Signalstärke ist keine Sichtverbindung erforderlich. Stattdessen wird ein Modell angewendet, das beschreibt, wie stark die Umgebung und Gegenstände das Signal dämpfen. Dies ist für jeden Ort unterschiedlich und ist bei dynamischer Umgebung, z.B. durch sich bewegende Personen, fehleranfällig.

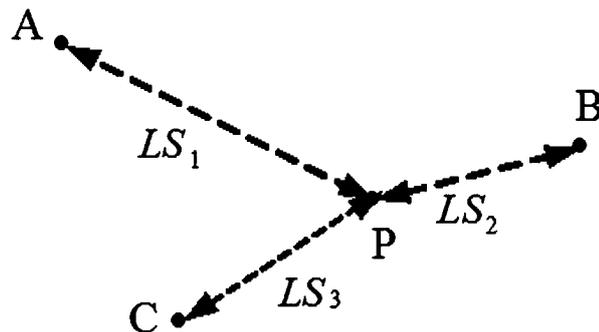


Abbildung 2.7.: Triangulation mit Distanzmessung [LDo7]

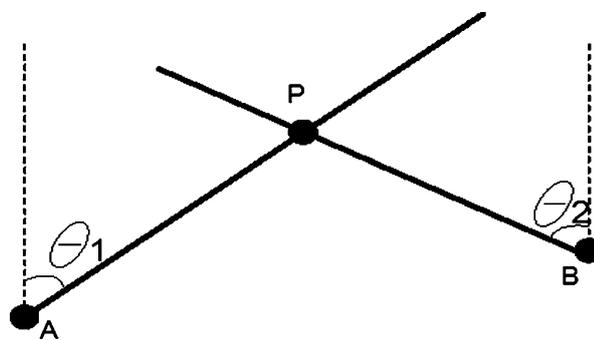


Abbildung 2.8.: Ortung durch Winkelmessung [LDo7]

Die Szenenanalyse bezieht die Umgebung gleich mit in die Berechnung ein. In einer ersten Phase werden an Messpunkten die auftretenden Signalstärken gemessen und gespeichert. Die Position des Empfängers wird dann abgeschätzt indem die aktuell gemessenen Signalstärken mit den a priori gespeicherten Signalstärken verglichen werden. Der Messpunkt mit den ähnlichsten Signalstärken ist der wahrscheinlichste Aufenthaltsort des Empfängers. Um diesen ähnlichsten Messpunkt zu finden gibt es eine Vielzahl an Algorithmen, z.B. probabilistische Ansätze, der k-Nächste-Nachbarn-Algorithmus (kNN) und neuronale Netze. Dieser Ansatz wird Fingerprinting genannt, da die „Abdrücke“ der Funksignale im Gebäude betrachtet werden.

Die Betrachtung der Nähe ist der einfachste Ansatz und ist eher der punktuellen Ortung (2.4.1) zuzuordnen: Die Position des zu ortenden Empfängers ist die Position des nächsten Senders. Mit einer hohen Anzahl an Sendern ist so die Position des Empfängers für viele Anwendungen ausreichend genau festgelegt. Können vom Empfänger die Signale mehrerer Sender gemessen werden, wird der Sender ausgewählt, der das stärkste Signal liefert. Die Ortung über das Mobilfunknetz, wo die Position des Handys der stärksten sichtbaren Mobilfunkzelle zugeordnet wird, hat auch diesen Ansatz, wenn auch nur mit grober Ortung (Abb. 2.9) [LDo7].

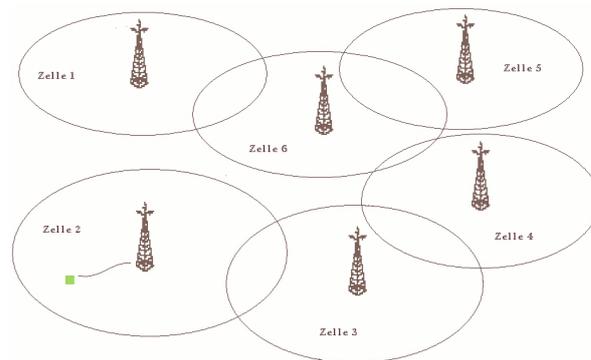


Abbildung 2.9.: Ortung durch die beim Handy (grüner Punkt) sichtbare Mobilfunkzelle [Men05]

General Positioning System (GPS)

Eines der bekanntesten Systeme für kontinuierliche Ortung ist GPS. GPS wurde zuerst für das Militär entwickelt, ist aber seit den 1980ern für den zivilen Einsatz freigegeben. GPS besteht aus 24 Satelliten, die ständig ihre Position und eine genaue Uhrzeit aussenden. Der GPS-Empfänger kann über die gemessenen Signallaufzeiten seine Position auf ungefähr 15 Meter genau bestimmen. GPS ist für die Ortung in Gebäuden ungeeignet, da das Satelliten-Signal Wände nicht durchdringen kann⁹ [NLLP04].

Naismith *et al.* haben einen mobilen Führer auf dem PDA für den botanischen Garten an der Universität in Birmingham entwickelt. Dieser ortet sich über GPS und zeigt eine Karte des Gartens. Wenn der Besucher einen bestimmten Bereich betritt, wird automatisch eine Audio-Wiedergabe gestartet. Zusätzlich sind weitere Multimedia-Inhalte zu dem Bereich abrufbar. Der mobile Führer bietet einen Tour-Modus, der durch den Garten leitet (Abb. 2.10). Bei der Evaluation des Systems hat sich gezeigt, dass die Genauigkeit nicht ausreichend war und insbesondere die Richtungsangaben im Touren-Modus des öfteren falsch waren. Dadurch mussten sich die Probanden vermehrt auf den mobilen Führer konzentrieren und waren vom Garten abgelenkt [NST05].

⁹<http://www.garmin.com/aboutGPS/>

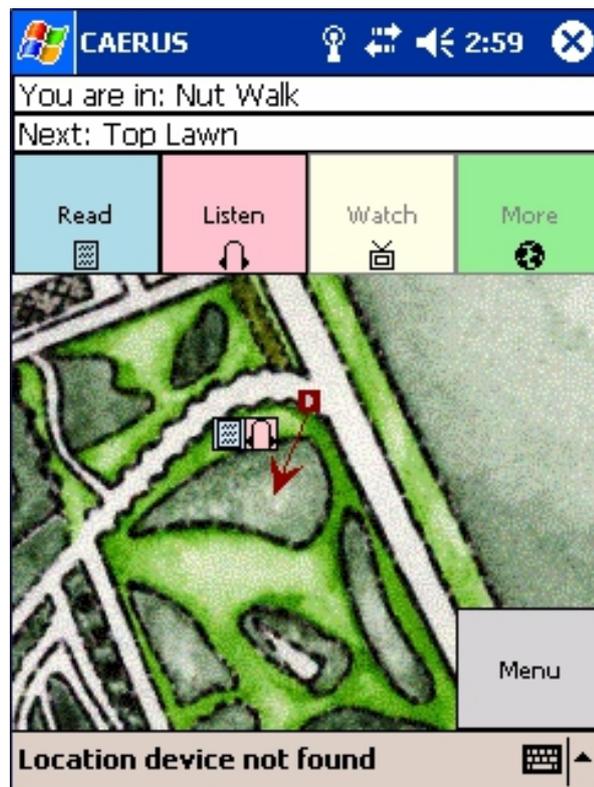


Abbildung 2.10.: Führer für den botanischen Garten im Tour-Modus [NST05]

Mit differentiellem GPS, das, zusätzlich zu den Satelliten, Korrektursignale von Referenzstationen auf der Erde zur Ortung verwendet, kann die Genauigkeit deutlich verbessert werden. Zudem kann es auch innerhalb von Gebäuden eingesetzt werden. Barnes *et al.* haben ein System entwickelt das mehrere Referenzstationen zu einem Netzwerk verbindet und diese zeitlich synchronisiert. In einer Studie im Freien wurde auf einem Feld von 200x60 Metern eine Genauigkeit im Zentimeterbereich erreicht [BRW].

WLAN

WLAN ist das aktuell weit verbreitetste lokale Funknetz. Mit dem Boom von mobilen WLAN-fähigen Geräten wie Laptops, Tablets und Smartphones ist heute in vielen Haushalten WLAN installiert. WLAN ist für den Museums-Kontext gut geeignet, da Datenübermittlung und Ortung mit einer Funktechnik abgedeckt werden kann und damit der Installationsaufwand und die Kosten sinken. Mit einer Datenrate von 54 Mbit/s und mehr ist es ausreichend schnell um auch Multimedia-Inhalte in annehmbarer Zeit an das mobile Gerät zu senden. Mit WLAN-Ortung, die die Signalstärke auswertet, ist eine Ortungsgenauigkeit von 3 – 30 Meter möglich, bei einer Update-Geschwindigkeit von wenigen Sekunden [LD07].

Bahl *et al.* präsentieren 2000 mit dem RADAR-Projekt zwei Ansätze zur Indoor-Ortung, die die Signalstärken der benachbarten WLAN-Sender auswertet. Der erste Ansatz beruht auf der Szenenanalyse: Vorab wird die Verteilung der Signalstärken im Gebäude gemessen und während der Ortung werden die aktuell gemessenen Signalstärken mit den a priori gemessenen Signalstärken verglichen. Bei den durchgeführten Experimenten wurde der Einfluss der Anzahl der Messpunkte, die Orientierung der zu ortenden Person und wie viele benachbarte WLAN-Sender zur Ortung herangezogen werden, untersucht. Durch mehrfache Messung zu verschiedenen Tageszeiten konnte die Messgenauigkeit gesteigert werden. Der zweite Ansatz verwendet ein Modell, das die Signalabschwächung durch Wände berücksichtigt. Der zweite Ansatz ist bei der Durchführung weniger aufwändig, da keine Vorabmessungen nötig sind, hat aber auch eine geringere Genauigkeit. Mit RADAR konnte so eine Genauigkeit von 2 – 3 Metern erzielt werden [BP00] [LD07]. In [BP00] präsentieren Bahl *et al.* Verbesserungen zum RADAR-System und erreichen damit eine nochmals gesteigerte Genauigkeit. Dazu verwenden Sie einen Algorithmus, der die Anzahl der Personen im Gebäude und das Wetter einkalkuliert. Zusätzlich können einzelne Stockwerke unterschieden werden [BP00] [LD07].

Youssef *et al.* präsentieren mit Horus ein System, das mit einem probabilistischen Ansatz die Genauigkeit gegenüber RADAR nochmals um über 80% steigern kann. Dabei lagen die Abweichungen in 90% der Fälle unter 1,5 Meter und im Worst Case unter 3 Metern. Durch Clustering-Techniken konnte gleichzeitig der Rechenaufwand minimiert werden [YA05].

In einer anderen Publikation präsentieren Youssef *et al.* eine analytische Methode, wie die Systeme zur Ortung verglichen werden können. Unter Beachtung der Anzahl der WLAN-Sender, lässt sich zeigen, dass probabilistische Verfahren wie Horus nahe an der theoretisch möglichen Genauigkeit liegen [YA03] [Men05].

Die meisten Systeme, die WLAN zur Ortung verwenden, basieren auf Signalstärkebetrachtungen. AeroScout betrachtet zusätzlich die Signallaufzeit um die Position zu bestimmen. Dies ist aber besser für Outdoor-Installationen geeignet. Bei Indoor-Installationen erreicht die Signalstärkebetrachtung bessere Ergebnisse [LD07].

Tsai *et al.* präsentieren einen kontextsensitiven Museumsführer für das Nationale Palastmuseum in Taiwan. Der Museumsführer ist auf einem PDA installiert und nutzt WLAN zur Ortung. Mit dem eingesetzten Simulated-Annealing-Algorithmus erreichen sie bei 92% der gemessenen Samples eine Genauigkeit von unter zwei Metern. Der Museumsführer zeigt dabei die Ausstellungsstücke auf einer Karte des Museums und vergrößert die Ausstellungsstücke, die sich in der Nähe des Besuchers befinden (Abb. 2.11) [TCL08].

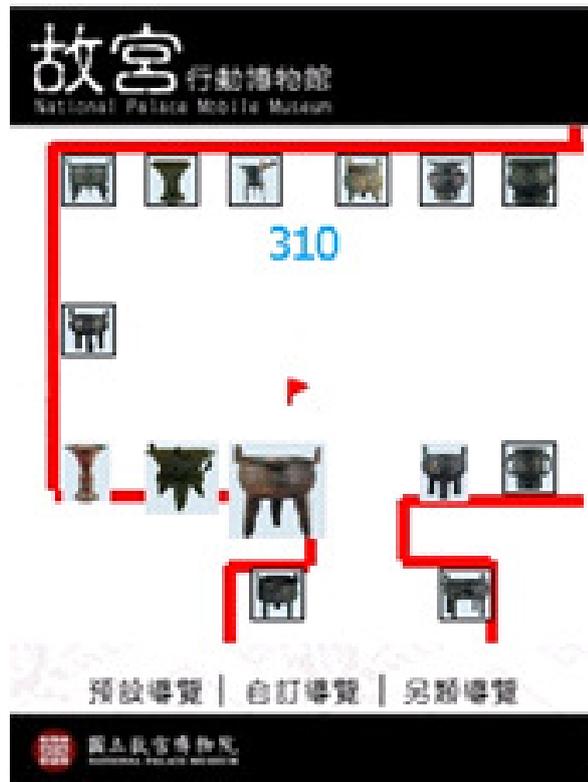


Abbildung 2.11.: Museumsführer mit automatisch vergrößerten Ausstellungsstücken in der Nähe des Besuchers [TCLo8].

Im American Museum of Natural History ortet sich der Museumsführer für das iPhone über WLAN. Die Ortung erfolgt dabei im Netzwerk mit der Cisco Mobility Services Engine (MSE)¹⁰, da sich bisher mit dem iPhone die WLAN-Signalstärken nicht auslesen lassen. Die auf einem Server berechnete Position wird über WLAN ans iPhone gesendet.

Bluetooth

Bluetooth hat im Vergleich zu WLAN eine kürzere Reichweite (10 – 15 Meter). Dafür ist Bluetooth auch in vielen günstigen Handys bereits eingebaut. Seit der Bluetooth Version 1.2 kann die Signalstärke der Bluetooth-Verbindung abgefragt werden. Der Wert wurde eingeführt um die Strahlungsleistung der Bluetooth-Sender zu regeln und erlaubt nur eine geringe Ortungsgenauigkeit. Erschwerend kommt hinzu, dass je nach Hersteller die Strahlungsleistung unterschiedlich gemessen wird. Bielawa kommt daher in seiner Master-Thesis zu dem Schluss, dass die erreichbare Genauigkeit kaum über die Genauigkeit hinausgeht, die erreicht wird, wenn nur die Sichtbarkeit der Bluetooth-Sender beachtet wird [Bie05].

¹⁰<http://www.cisco.com/en/US/products/ps9742/index.html>

Anastasi *et al.* haben das Ortungssystem BIPS entwickelt. Das System bietet raumgenaue Ortung auf Bluetooth-Basis. Dabei werden mobile bluetoothfähige Geräte von stationären Bluetooth-Stationen geortet und die Position an einen Server weitergeleitet. Andere Benutzer können die Position über ihr Gerät abfragen und sich zu einem anderen Benutzer navigieren lassen [ABC⁺03].

Huang *et al.* haben ein Indoor-Ortungssystem auf Bluetooth-Basis entwickelt. Dafür haben sie an Rechnern in ihrem Gebäude jeweils zwei Bluetooth-Dongles installiert. Mit einem Notebook und einem Nokia 6600 wurde das System getestet. Bis ein Bluetooth-Dongle von den Geräten entdeckt wird, vergehen bis zu zehn Sekunden. Mit der paarweisen Installation von zwei Dongles konnte die durchschnittliche Erkennungszeit von 4,3 auf 2 Sekunden verkürzt werden. Zusätzlich schützt das vorgestellte System die Privatsphäre der Benutzer: Die stationären Bluetooth-Dongles senden in regelmäßigen Abständen Pakete aus, so dass sie von anderen Geräten gefunden werden können. Das Gerät des Benutzers wertet diese Pakete aus und kann sich somit orten, sendet aber nichts zurück. Damit hat das installierte System keinerlei Informationen über den Standort des Benutzers [HR05].

Johnson *et al.* präsentieren ein ähnliches System: Sie übertragen mit den Paketen, die die Bluetooth-Dongles zum Verbindungsaufbau senden, die geographischen Koordinaten des Bluetooth-Dongles. Das Smartphone, das die Pakete empfängt, kann so seine Position abschätzen. Werden Pakete von mehreren Bluetooth-Dongles empfangen, kann trianguliert werden, um die Positionsbestimmung weiter zu verfeinern [JPS12].

Aktives RFID

Beim aktiven RFID sind die RFID-Tags im Gegensatz zum passiven RFID (2.4.1) mit einer eigenen Spannungsquelle ausgestattet. Da die RFID-Tags so nicht mehr über das elektromagnetische Feld des RFID-Lesegerätes mit Energie versorgt werden müssen, sind mit aktivem RFID Lesedistanzen bis zu 100 Metern möglich und es eignet sich damit auch für die kontinuierliche Ortung. Dabei ist die benötigte Feldstärke um einen aktiven RFID-Tag auszulesen um Faktor 1000 kleiner als bei passiven RFID-Tags [CNH⁺07] [Fin12].

Hightower *et al.* präsentieren mit SpotOn ein System mit aktivem RFID und Auswertung der Signalstärke zur Ortung im dreidimensionalen Raum. Mit der auf dem Markt verfügbaren RFID-Hardware, die zum automatischen An- und Abmelden am Computer entwickelt wurde, konnte die Position nur auf maximal 3 Meter genau bestimmt werden. Mit einer Eigenentwicklung, die die Signalstärke der RFID-Tag genauer und mit höherer Abfragerate ausliest konnte die Genauigkeit im Labor auf 1 Meter verbessert werden [HBWoo].

Ni *et al.* präsentieren LANDMARC, ein System zur Indoor-Ortung auf Basis von aktivem RFID. Dabei sind die RFID-Lesegeräte an festen Positionen installiert. Das zu ortende Objekt ist mit einem aktiven RFID-Tag ausgestattet. Die RFID-Lesegeräte zeichnen beim Lesen des RFID-Tags die Signalstärke auf und können so die Position bestimmen. Um die Positionsbestimmung auch bei dynamischer Umgebung zu verbessern, werden weitere RFID-Tags im Ein-Meter-Raster auf dem Fußboden angebracht. Die Lesegeräte können dadurch jederzeit die Signalstärkeverteilung im Raum im Ein-Meter-Raster abfragen. Die

2. Verwandte Arbeiten

Vorgehensweise ist dabei mit dem Fingerprinting vergleichbar, aber mit der entscheidenden Erweiterung, dass nicht nur a priori die Signalstärkeverteilung aufgezeichnet werden kann, sondern auch während der Ortung. Die Auswertung ergibt dass mit diesem Aufbau der Messfehler in 50% der Fälle unter einem Meter und der maximale Fehler unter zwei Metern liegt [NLLP04].

Chavira *et al.* kombinieren aktives RFID und NFC für die Ambient Intelligence (AmI) Konferenz. Mit dem aktiven RFID können Teilnehmer und Konferenzräume gefunden werden. NFC ist als Erweiterung gedacht um noch feingranularere Interaktionen zu ermöglichen, beispielsweise das Einlesen einer mit NFC ausgestatteten Visitenkarte, oder dass der Redner sich am bereitgestellten Rechner authentifizieren kann und gleich seine Unterlagen erhält [CNH⁺07].

Herzog *et al.* haben einen Audioguide für das jüdische Museum in Berlin entwickelt. Die Besucher erhalten am Eingang einen PDA mit eingebautem RFID-Lesegerät. Über die aktiven RFID-Transponder in der Ausstellung kann der PDA sich orten (Abb. 2.12) und präsentiert die Ausstellungsstücke in der Nähe in einer aufbereiteten Liste, so dass der Besucher leicht die gewünschte Audio-Wiedergabe starten kann [HSFB08].

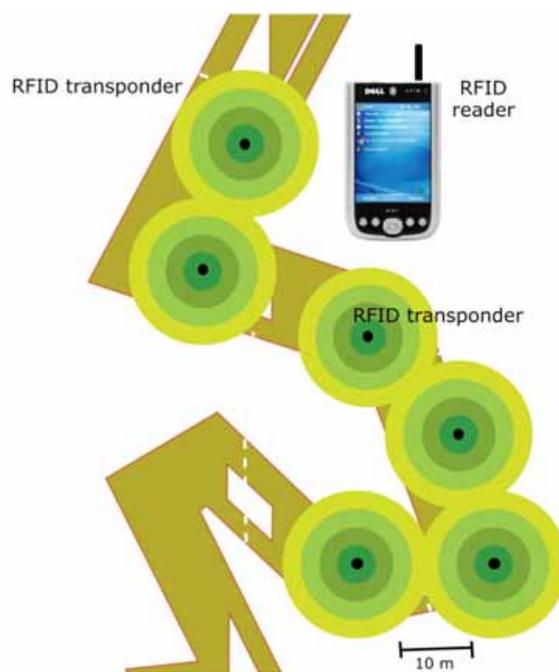


Abbildung 2.12.: Aufbau des Audioguide-Systems im jüdischen Museum in Berlin [HSFB08]

Tesoriero *et al.* kombinieren aktives und passives RFID um eine grob- und feingranulare Ortung im Museum zu ermöglichen. Da die verfügbaren PDAs höchstens einen verfügbaren Compact Flash Slot haben, in dem die RFID-Erweiterungen für den PDA genutzt werden können, wollen sie einen Hub einsetzen um beide gleichzeitig zu verwenden [TGLP08].

3. Konzept

In diesem Kapitel wird das Konzept der Diplomarbeit vorgestellt. Dabei werden Ergebnisse der verwandten Arbeiten (Kapitel 2) verwendet und durch neue Aspekte erweitert.

In der Diplomarbeit wird ein digitaler Museumsführer für Smartphones entwickelt. Das Smartphone wird als Plattform gewählt, da mit der großen Zahl an eingebauten Sensoren und Ausgabemöglichkeiten auf einfache Weise unterschiedliche Interaktionsmöglichkeiten realisiert werden können. Zudem hat das Smartphone aktuell eine weite Verbreitung und hat in den meisten Bereichen den PDA abgelöst. Dabei soll der Museumsführer umfangreich über die Ausstellungsstücke informieren und gleichzeitig den Besucher in die Interaktion mit dem Museum einbinden wie es beispielsweise bei den Tangible User Interfaces von Wakkary *et al.* [WHM⁺09] der Fall ist. Um die Bedienung zu vereinfachen, werden gleich mehrere Konzepte angewandt, damit der Besucher die Ausstellungsstücke nicht mehr über die Eingabe einer Nummer oder die manuelle Suche im Museumsführer suchen muss.

3.1. Interaktion

Die Verwendung des Museumsführers soll in den Museumsbesuch integriert werden ohne den Besucher von den Museumsinhalten abzulenken. Dazu wird ein Interaktionskonzept entwickelt, das dem Besucher erlaubt direkt mit den Ausstellungsstücken zu interagieren um sich Informationen zu diesen anzeigen zu lassen. Dafür wird jedes Ausstellungsstück mit einer Station erweitert. Es werden unterschiedliche Varianten entwickelt und in der Benutzerstudie (Kapitel 5) evaluiert. Die Stationen werden mit Gadgeteer entwickelt. Gadgeteer ist eine Plattform mit der schnell Hardware-Prototypen erstellt werden können (4.3.1).

Bei der ersten Variante kann der Besucher direkt mit dem Smartphone und dem Gadgeteer-System interagieren indem er den NFC-Reader des Smartphones verwendet, der einen passiven NFC-Tag am Ausstellungsstück auslesen kann. Liest das Smartphone den NFC-Tag, wird das Ausstellungsstück in der App angezeigt. Die im Abschnitt 2.4.1 beschriebenen Systeme von Rudametkin *et al.* und Weis *et al.* verwenden NFC auf die gleiche Weise für ihre Museumsführer. Bei beiden wird die gewonnene Information dazu genutzt um die Ausgabe anzupassen, beispielsweise ob die Beschreibung des Ausstellungsstückes über Audio ausgegeben wird oder auf welchem Display sie angezeigt wird. In der Diplomarbeit wird über das Gadgeteer-System dem Besucher mit Hilfe von Multicolor LEDs zusätzliches optisches Feedback gegeben (Abb. 3.1). Dabei leuchten die LEDs in einer Farbe, die der Besucher über dem Museumsführer auf dem Smartphone auswählen kann. Um den NFC-Tag

3. Konzept

mit dem Smartphone zu lesen, muss dieses in die Öffnung des Gadgeteer-Systems gehalten werden.

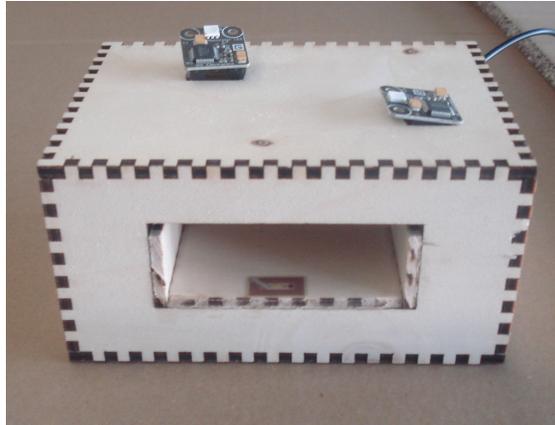


Abbildung 3.1.: Prototyp mit NFC und LEDs zur Interaktion mit dem Smartphone.

Ein weiterer Prototyp auf Gadgeteer-Basis kombiniert den Museumsführer mit einem zusätzlichen passiven RFID-Armband, das gleichzeitig als Eintritts-Armband genutzt werden kann. Einige Arbeiten unter 2.4.1 verwenden eine RFID-Erweiterung für den PDA und lesen damit RFID-Tags an den Exponaten. Die Interaktion ist dabei ähnlich wie im ersten Prototyp mit dem Smartphone und NFC (Abb. 3.1). Die anderen Arbeiten verzichten auf ein mobiles Gerät, wie den PDA und nutzen passives RFID um Informationen zum späteren Nachlesen zu speichern.

In der Diplomarbeit werden gleich beim Benutzen des RFID-Armbandes die Informationen zum Exponat auf dem Smartphone angezeigt. Damit kann der Besucher sich sowohl gleich informieren als auch die Informationen für einen späteren Abruf speichern. Beim Prototyp für das RFID-Armband wird auf eine gute Affordance geachtet um Besuchern die mit der RFID-Technik nicht vertraut sind eine frustfreie Bedienung zu ermöglichen (Abb. 3.2).



Abbildung 3.2.: Gadgeteer Prototyp für die Interaktion mit dem RFID-Armband.

Ein dritter Prototyp baut auf den beiden vorigen auf und kann sowohl mit NFC als auch mit dem RFID-Armband kombiniert werden. Er wird an den Eingängen zu den verschiedenen Räumen des Museums angebracht und gibt dem Besucher Feedback darüber, wie viele Besucher sich momentan in dem Raum aufhalten. Dazu werden wieder LEDs verwendet, die in den Farben der Besucher leuchten: Für jeden Besucher, der in den Raum gegangen ist, leuchtet eine LED in einer Art Füllstandsanzeige (Abb. 3.3). Jeder Besucher kann so anhand der Anzahl der leuchtenden LEDs sehen wie viele Besucher sich in dem Raum aufhalten. Alternativ kann der Prototyp auch für ein Exponat verwendet werden. Die Füllstandsanzeige könnte dann anzeigen wie viele Personen das Exponat in einem definierten Zeitintervall angeschaut oder zu ihren Favoriten hinzugefügt haben.

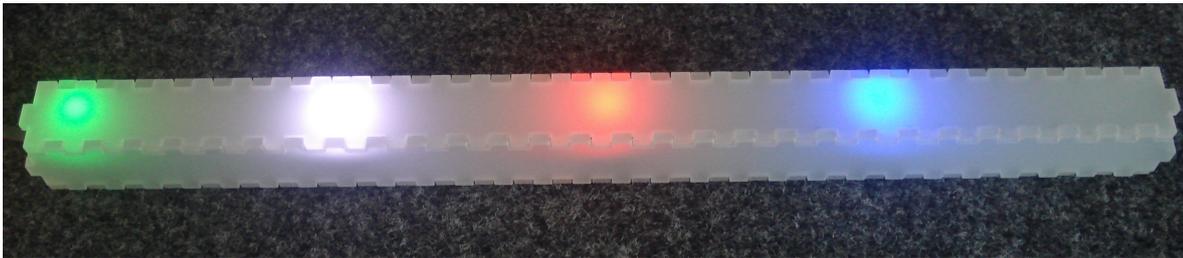


Abbildung 3.3.: Füllstandsanzeige eines Raumes.

3.2. Ortung

Der Museumsführer auf dem Smartphone soll auf die Umgebung reagieren können und erhält dazu die Fähigkeit sich im Museum zu orten. Zur Ortung bieten sich Bluetooth, GPS oder WLAN an, da diese Sensoren im Smartphone schon integriert sind. Da das System für Museen in Gebäuden geeignet sein soll ist GPS jedoch ungeeignet. Die in Kapitel 2.4.2 beschriebenen Arbeiten lassen vermuten, dass mit Bluetooth nicht die gewünschte Genauigkeit erreicht wird um innerhalb eines Raumes mehrere Bereiche sicher unterscheiden zu können. Die Arbeiten mit WLAN im Kapitel 2.4.2 lassen dagegen hoffen, dass damit bessere Ergebnisse erzielt werden können. Eine einfache Demo für Android, bei der die Signalstärke der Bluetooth- und WLAN-Sender aufgezeichnet wurden, hat gezeigt, dass die Ergebnisse auch auf das Smartphone übertragbar sind: Wie Huang *et al.* auch beschreiben vergehen bis zu zehn Sekunden bis ein Bluetooth-Dongle (vom Android Smartphone) erkannt wird. Für eine kontinuierliche Ortung, bei der über mehrere Messungen gemittelt werden sollte, um Ausreißer zu vermeiden, ist das zu lang. Bei WLAN können die Signalstärken dagegen mit einem Intervall von unter zwei Sekunden abgefragt werden. WLAN hat den zusätzlichen Vorteil, dass es gleichzeitig für die Datenübertragung und die Ortung verwendet werden kann, was das System schlanker und günstiger macht. Für Bluetooth wird dagegen unter Android empfohlen die Aufzeichnung der Signalstärken zu unterbrechen, sobald eine Datenverbindung aufgebaut werden soll.

3. Konzept

Mit Android 4.3 (API Level 18) ist die Unterstützung von Bluetooth 4.0 in die Android API integriert worden. Dies könnte zu einer Verbesserung der Ortung mit Bluetooth führen. Darauf wird im Rahmen dieser Diplomarbeit nicht weiter eingegangen, insbesondere da Bluetooth 4.0 nicht für die Übertragung größerer Datenmengen geeignet ist.

3.3. Besucherszenario

Im Folgenden wird beschrieben, wie der Besucher den Museumsführer verwenden kann (Abb. 3.4). Zu Beginn lädt der Besucher die Museums-App im Android Play-Store¹ oder über eine Webseite des Museums auf sein Smartphone. Im Eingangsbereich des Museums ist an einer gut sichtbaren Stelle ein QR-Code mit der URL des Museums-Servers angebracht, den der Besucher innerhalb der App scannt. Damit werden die Museumsinhalte vom Server des Museums auf das Smartphone geladen.

Dann kann sich der Besucher mit Name und Passwort anmelden oder den Museumsführer anonym ohne Anmeldung benutzen. Meldet sich der Besucher an hat er die Möglichkeit sich zu einem späteren Zeitpunkt erneut anzumelden und damit wieder Zugriff auf die für ihn gespeicherten Daten zu bekommen.

Jetzt ist der Museumsführer einsatzbereit und der Besucher kann zwischen verschiedenen Ansichten beliebig hin und her wechseln (Abb. 3.4). Dazu gehört z.B. eine Raumübersicht und der Verlauf des bisherigen Museumsbesuches. Der Besucher kann, indem er sein Smartphone an einen NFC-Tag oder sein Armband an das RFID-Lesegerät eines Prototyps hält, sich die Informationen zu dem dazugehörigen Ausstellungsstück anzeigen lassen. Alternativ kann auch ein Leihgerät des Museums verwendet werden. Bei entsprechender Anpassung kann so die Installation der App und das Laden der Museumsinhalte durch den Besucher wegfallen, indem die nötigen Daten schon davor auf das Smartphone übertragen werden.

¹<https://play.google.com/store>

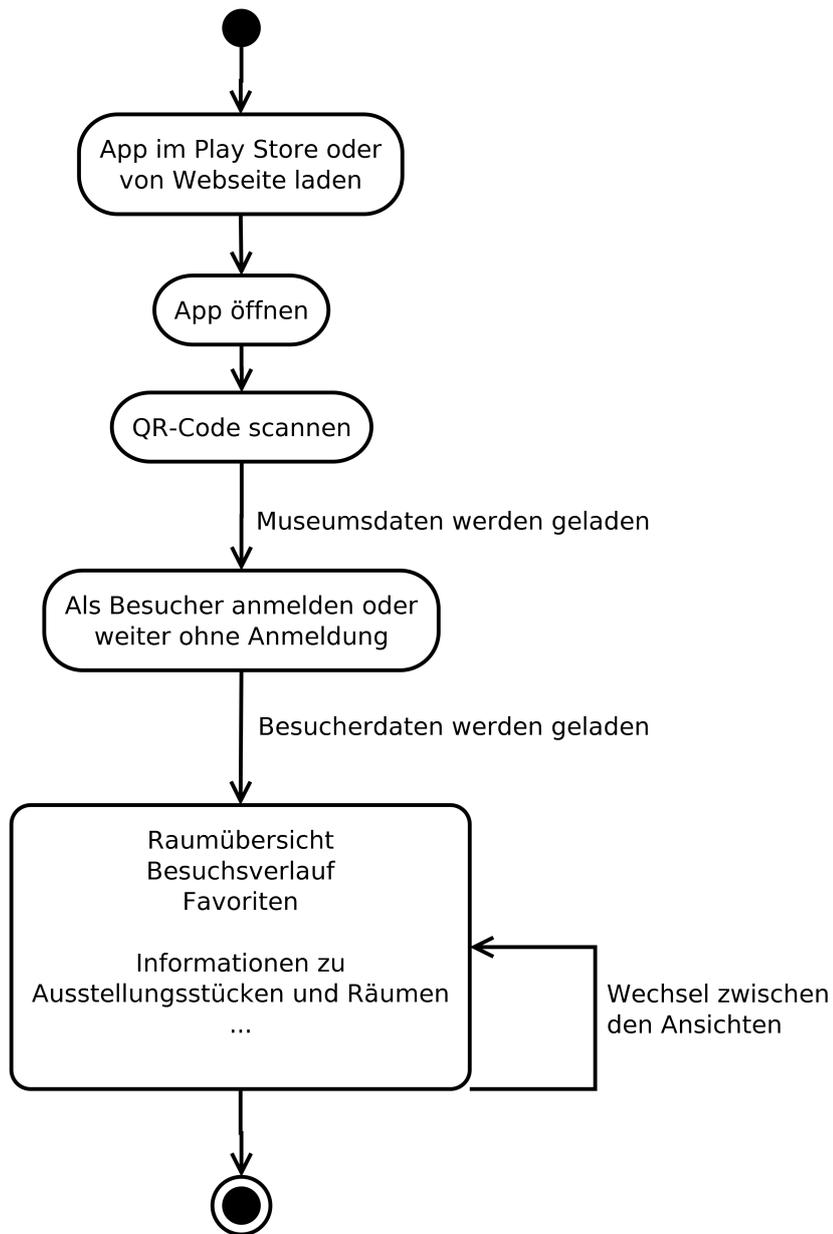


Abbildung 3.4.: Aktivitätsdiagramm des Museumsführers

4. Implementierung

In diesem Kapitel wird die Implementierung des Android Museumsführers (4.1), des Django Servers (4.2) und der Gadgeteer Prototypen (4.3) beschrieben. Details zum Deployment und ein Vergleich mit günstigerer Hardware sind im Anhang unter A.1 und A.2.

4.1. Android Museumsführer

Der Museumsführer für Android ist das Kernstück des Systems und bietet eine Vielzahl an Funktionen:

- Registrierung des Besuchers
- Beschreibungen zu den Ausstellungsstücken in unterschiedlichen Sprachen
- Bildmaterial zu den Ausstellungsstücken
- Favoritenliste des Besuchers
- Chronologische Ansicht der besuchten Ausstellungsstücke
- Raumübersicht, wo welche Ausstellungsstücke zu finden sind
- Standortbezogenes Anzeigen der Ausstellungsstücke
- Beschreibung zum Ausstellungsstück kann über NFC-Tag geöffnet werden

Die Wahl von Android zur Implementierung des Museumsführers hat mehrere Gründe:

- Persönliche Programmiererfahrung unter Android
- Aktuell weitverbreitetes Betriebssystem für Smartphones
- Geeignete API um die Signalstärke einer WLAN-Verbindung auszulesen
- NFC ist für das iPhone noch nicht verfügbar

4.1.1. Datenmanagement

In der ersten Entwicklungsstufe wurden die Museumsdaten ausschließlich auf dem Server gespeichert. Auf das Smartphone gelangten die Daten über WLAN in Form von HTML-Seiten. Vorteil dieses Ansatzes ist, dass das System mit überschaubarem Aufwand auf andere Geräte, die HTML-Seiten anzeigen können, übertragen werden können. Dazu gehören andere mobile Betriebssysteme aber auch stationäre Terminals mit integriertem Browser. Die Aktualisierung der Museumsdaten gestaltet sich besonders einfach, da sie sich nur auf dem Server befinden. Nachteilig ist die hohe Abhängigkeit von einer stabilen WLAN-Verbindung und dass sich die HTML-Seiten nicht völlig nahtlos in eine App integrieren lassen. Das System kann nicht komplett im mobilen Browser verwendet werden, da dort der Zugriff auf die benötigten Sensoren noch nicht möglich ist.

In einer zweiten Entwicklungsstufe wurden die Museumsdaten zu Beginn auf das Smartphone übertragen und in Listen und Arrays gespeichert. Die Aufbereitung der Daten zur Präsentation erfolgt nun auf dem Smartphone. Mit zunehmendem Funktionsumfang ist der Verwaltungsaufwand für Listen und Arrays übermäßig angestiegen. Daher wird in der finalen Version eine Datenbank auf dem Smartphone verwendet.

4.1.2. Architektur

Unter Android sind Activities die zentralen Komponenten. Activities sind im Normalfall mit einer GUI verbunden, die in einer XML-Datei definiert ist. Jede Activity wird dabei bildschirmfüllend dem Betrachter angezeigt. Die Kopplung zwischen einzelnen Activities, beispielsweise, wenn der Benutzer einen Button drückt, erfolgt über Intents. Der Intent enthält die Beschreibung welche Activity als nächstes angezeigt werden soll. Wird er ausgeführt, kommt die entsprechende Activity in den Vordergrund und die alte Activity wird pausiert und auf einem Stack verwaltet. Drückt der Benutzer die Zurück-Taste, kommt die alte Activity wieder in den Vordergrund. Die Activities laufen alle im Main-Thread oder auch GUI-Thread genannt.

Rechenintensive Operationen sollten in einem neuen Thread ausgeführt werden, da sonst die GUI stockt. Wenn diese zu lange nicht reagiert, zeigt das Android System einen Fehler.

Für lang laufende Operationen, die über mehrere Activities hinweg ausgeführt werden sollen, gibt es in Android die Services. Ein Service hat keine eigene GUI und kann entweder an Activities gebunden werden oder er wird von den Activities unabhängig gestartet. Im ersten Fall wird der Service beendet, sobald keine Activity mehr mit dem Service verbunden ist. Im zweiten Fall läuft der Service auch weiter, wenn die App beendet ist. Mit dieser Methode kann beispielsweise Musik abgespielt werden, während der Benutzer etwas anderes macht. Der Service muss in diesem Fall explizit beendet werden. Ein Service wird im Museumsführer verwendet, um die Verbindung zur Datenbank mit den Museumsdaten zu halten. Die WLAN-Fingerprints werden ebenfalls im Service aufgezeichnet, da das Fingerprinting unabhängig von der aktuell sichtbaren Activity durchgeführt werden soll, um ein möglichst kontinuierliches Bewegungsprofil des Besuchers zu erhalten (Abb. 4.1).

Für das WLAN-Fingerprinting ist eine weitere Komponente des Android-Systems, der BroadcastReceiver, nötig. Dieser BroadcastReceiver erhält vom System eine Nachricht, wenn beim Scannen der WLAN Access Points (APs) in der Umgebung diese mit einem Datenpaket antworten. Nachrichten über Google Cloud Messaging (4.1.6) werden ebenfalls in einem BroadcastReceiver verarbeitet.

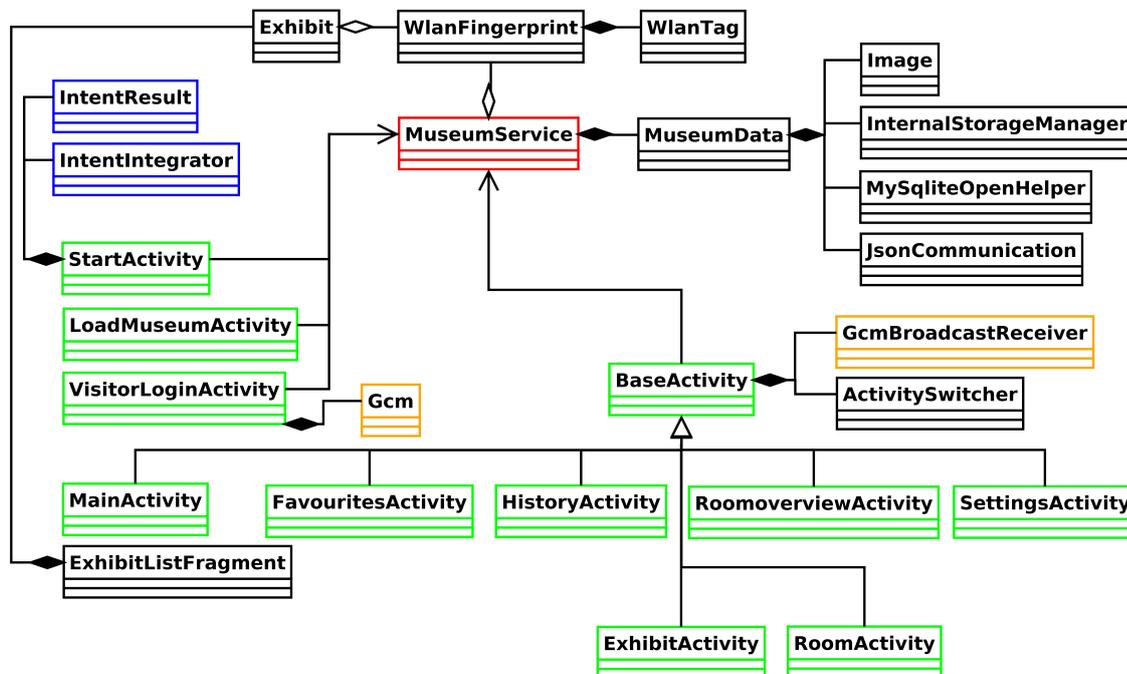


Abbildung 4.1.: Architektur der Android Museums-App: Activities (grün), Barcode Scanner Einbindung (blau), Google Cloud Messaging (GCM) (gelb) und Service (rot). Es sind nur die wichtigsten Klassen dargestellt.

4.1.3. Beginn des Museumsbesuches

Der Android Museumsführer enthält bei der Installation auf dem Smartphone keine Museumsdaten. Öffnet der Besucher die App muss die Verbindung zum Server des Museums hergestellt werden um die Museumsdaten zu laden und um ein Besucherprofil zu erstellen beziehungsweise ein bereits bestehendes Profil erneut zu laden. Denkbar wären mehrere Möglichkeiten wie die URL des Servers der App mitgeteilt wird:

- Die App enthält oder kann von einem bekannten Server ein Verzeichnis aller Museen laden und der Besucher kann das passende auswählen.
- Der Besucher gibt die URL manuell ein.
- Der Besucher scannt einen QR-Code
- Der Besucher scannt einen NFC-Tag

4. Implementierung

Dabei fordert die erste Option zusätzliche Infrastruktur oder häufige Updates der App und ist daher unpraktisch. Die zweite Option ist für den Besucher mühsam, da die URL unter Umständen sehr lange sein kann und sich leicht Fehler beim Tippen einschleichen. QR-Code und NFC-Tag sind weniger fehleranfällig und für den Besucher schneller. Meine Implementierung nutzt den QR-Code. Dazu wird die QR-Leseapp von ZXing¹ über Intents in die App eingebunden. Ist diese App noch nicht installiert, wird der Besucher zum Play Store² weitergeleitet, um die App zu installieren. Die Museumsdaten werden dann vom Server in die SQLite Datenbank³ der App geladen. Bisher werden alle Daten zu Beginn geladen. Bei Museen mit einem großen Bestand an Ausstellungsstücken sollte dies durch einen abschnittswisen Download ersetzt werden, so dass nur die Daten auf dem Smartphone vorgehalten werden, die für den momentanen Betrieb des Museumsführers nötig sind.

Danach kann sich der Besucher anmelden, indem er seinen Namen und seine Email-Adresse angibt. Zusätzlich wählt er eine persönliche Farbe aus, und gibt die Nummer seines RFID-Armbandes ein. Die ausgewählte Farbe und das Armband werden im Zusammenhang mit den Gadgeteer Prototypen (4.3) verwendet. In dem für den Besucher angelegten Profil werden die Farbwahl, Name und Email-Adresse, die angeschauten Ausstellungsstücke und seine Favoriten gespeichert. Meldet sich der Besucher zu einem späteren Zeitpunkt erneut an, kann er diese Daten wieder ansehen. Der Besucher kann den Museumsführer auch ohne Angabe von Name und Email-Adresse verwenden. Dann wird für ihn ein anonymes Profil angelegt, um für ihn die oben genannten weiteren Informationen zu speichern. Jedoch kann er sich nicht erneut anmelden, so dass die Daten für ihn verloren sind.

Bisher bietet der Login nur wenig Mehrwert, wenn der Besucher nur einmal das Museum besucht. Denkbar wäre, dass über die gespeicherte Email-Adresse dem Besucher eine Zusammenfassung des Museumsbesuches zugesandt werden kann oder er einen Newsletter des Museums erhält.

4.1.4. Während des Museumsbesuches

Wenn alle notwendigen Daten des Museums auf dem Smartphone vorhanden sind, ist der Museumsführer einsatzbereit. Über ein Menü⁴ an der linken Seite, das sich durch Klick auf den Menü-Button oder einen Fingerwisch vom linken Rand nach rechts öffnet, kann leicht zwischen den einzelnen Activities, die die unterschiedlichen Funktionen bereitstellen, gewechselt werden. Alle Activities sind dabei von einer Activity abgeleitet in der vom Smartphone eingelesene NFC-Tags und die Nachrichten bei der Verwendung des RFID-Armbandes bearbeitet werden und das dazugehörige Ausstellungsstück in einer neuen Activity geöffnet wird. Alle angeschauten und als Favoriten markierten Ausstellungsstücke werden sowohl in der Datenbank des Smartphones, als auch in der Datenbank des Servers gespeichert. In den Einstellungen kann der Besucher seine persönlichen Daten einsehen und

¹<http://code.google.com/p/zxing/>

²<https://play.google.com/store>

³<http://www.sqlite.org/>

⁴<https://github.com/johnkil/SideNavigation>

ändern. Unter anderem kann er eine neue Farbe wählen und wenn er den Museumsführer bisher anonym genutzt hat, kann er sich nachträglich noch mit Name und Email-Adresse registrieren.

4.1.5. Kontinuierliche Ortung

Die Hauptansicht des Museumsführers reagiert auf die Umgebung und präsentiert die Ausstellungsstücke in einer nach Distanz zum Besucher sortierten Liste (Abb. 4.2). Die Liste sortiert sich automatisch neu, wenn sich die Distanzen zu den Ausstellungsstücken ändert. Dies erspart dem Besucher das manuelle Suchen oder die Eingabe einer Nummer, um das Ausstellungsstück in einer großen Sammlung zu finden. Der Dienst beruht auf WLAN-Fingerprinting (2.4.2): Die App scannt regelmäßig (minimal im Zwei-Sekunden-Takt) die erreichbaren WLAN Access Points. Diese antworten der App indem sie ein Datenpaket an das Smartphone senden. Das Smartphone wertet dabei auch die empfangene Signalstärke von jedem Access Point (AP) aus. Je höher die Signalstärke ist, desto kürzer ist die Distanz zwischen Smartphone und AP. Die Signalstärken, die an einer Position gemessen werden, werden WLAN-Fingerprint genannt.

Öffnet ein Besucher die Beschreibung eines Ausstellungsstückes, indem er mit der Station am Ausstellungsstück interagiert, wird für das Ausstellungsstück ebenfalls ein WLAN-Fingerprint gespeichert. Damit ist dem System bekannt, welche WLAN Signalstärken an der Position des Ausstellungsstückes auftreten. Wenn sich jetzt der Besucher mit seinem Smartphone durch das Museum bewegt, kann das Smartphone die regelmäßig gemessenen WLAN Signalstärken mit den Signalstärken der Ausstellungsstücke vergleichen. Sind die Signalstärken gleich groß, bedeutet das, dass sich der Besucher in der Nähe des Ausstellungsstückes befindet. Sind die Signalstärken unterschiedlich ist der Besucher weiter vom Ausstellungsstück entfernt.

Für den Vergleich der WLAN-Fingerprints stehen verschiedene mathematische Methoden zur Verfügung: Eine Möglichkeit ist das normierte Skalarprodukt. Dafür werden die für das Ausstellungsstück aufgezeichneten WLAN-Signalstärken x_i zu einem Vektor $\vec{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ zusammengefasst. In gleicher Weise werden auch die vom Smartphone gemessenen Signalstärken zu einem Vektor \vec{y} zusammengefasst. Werden die Vektoren normiert (Formel 4.1) und dann das Skalarprodukt berechnet (Formel 4.2) ergibt sich ein Wert $a = [-1; 1]$. Das entspricht dem Kosinus des Winkels zwischen den beiden Vektoren. Ist $a = 1$ zeigen die beiden Vektoren in die gleiche Richtung, bei $a = 0$ sind sie orthogonal zueinander und bei $a = -1$ zeigen sie in entgegengesetzter Richtung. a wird als Näherung für den Abstand zwischen dem Ausstellungsstück und dem Smartphone verwendet: Je kleiner a ist desto größer ist der Abstand.

$$(4.1) \quad \text{Normierung : } \hat{x} = \frac{\vec{x}}{\|\vec{x}\|}$$

$$(4.2) \quad \text{Skalarprodukt : } a = \langle \vec{x}, \vec{y} \rangle = \sum_{i=1}^N x_i y_i$$

4. Implementierung

Ein entscheidender Nachteil des normierten Skalarproduktes ist, dass die Amplitude der Signalstärke nicht ausreichend beachtet wird: Ist beispielsweise nur ein WLAN Access Point am Smartphone sichtbar, ergibt das Skalarprodukt mit der entsprechenden gemessenen Signalstärke am Exponat immer 1, egal wie groß die Distanz zwischen beiden ist. Eine geeignetere Metrik könnte die mittlere (quadratische) Abweichung (Formel 4.3 und 4.4) sein. Dabei wird der Betrag der Differenz zwischen der gemessenen Signalstärke am Exponat x_i und am Smartphone y_i aufsummiert. Über die mögliche Quadrierung können große Abweichungen für die einzelnen Signalstärken stärker gewichtet werden. Die Quadrierung führt andererseits zu einer höheren Gewichtung von Ausreißern und erfordert daher eine konsequente Filterung der Messwerte.

$$(4.3) \quad \text{mittlere Abweichung} : b = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\|x_i - y_i\|)$$

$$(4.4) \quad \text{mittlere quadratische Abweichung} : b = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2$$

Die Fehleranfälligkeit der WLAN-Ortung, durch Metallgegenstände und sich bewegende Personen, wird durch mehrere Maßnahmen kompensiert:

- Die Präsentation der Ausstellungsstücke in einer Liste ermöglicht auch bei einer nicht ganz perfekten Sortierung das schnelle Auffinden des gesuchten Ausstellungsstückes.
- Die Ortung erfolgt nur relativ zu den Ausstellungsstücken und nicht absolut auf einer Karte. Kleine Messabweichungen, die sich nicht auf die Reihenfolge der Ausstellungsstücke auswirken, sind so für den Besucher nicht sichtbar.
- Die WLAN-Fingerprints für die Ausstellungsstücke werden während des Museumsbetriebs aufgezeichnet und aktualisiert. Damit wird die dynamische Umgebung etwas kompensiert.

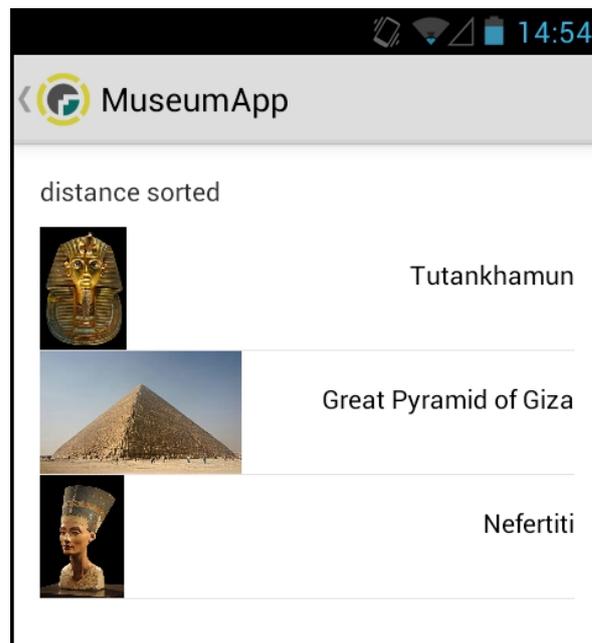


Abbildung 4.2.: Nach Distanz zum Besucher sortierte Liste der Ausstellungsstücke ^a.

^aBildquellen: <http://de.wikipedia.org/wiki/Tutenchamun>,
<http://de.wikipedia.org/wiki/Cheops-Pyramide>, <http://en.wikipedia.org/wiki/Nefertiti>

4.1.6. Punktuelle Ortung

Die punktuelle Ortung im Museumsführer erfolgt über die manuelle Ortung, passives RFID und NFC (2.4.1). Die manuelle Ortung beschränkt sich dabei auf die Auswahl des Ausstellungsstückes in einer Liste. Allein aus der Auswahl kann nur eingeschränkt auf die tatsächliche Position des Besuchers geschlossen werden. Jedoch kann die gewonnene Information verwendet werden, um die Ergebnisse der kontinuierlichen Ortung zu verbessern: Wählen beispielsweise fast alle Besucher das dritte Ausstellungsstück in der nach Distanz sortierten Liste der Ausstellungsstücke (Abb. 4.2) so wäre es sinnvoll dieses an die erste Position in der Liste zu verschieben. Das passive RFID und NFC liefern dagegen eine sehr genaue punktuelle Ortung, da bei beiden der mögliche Leseabstand nur wenige Zentimeter beträgt. Beides wird in Kombination mit den Gadgeteer Prototypen (4.3) verwendet: Die NFC-Tags an den Ausstellungsstücken werden direkt vom Smartphone gelesen, und erlauben damit die genaueste Ortung des Smartphones. Die gewonnenen Informationen werden für die kontinuierliche Ortung (4.1.5) als Hilfsmittel verwendet.

Google Cloud Messaging

Der Besucher wird mit einem Armband, das RFID-Tags enthält (Abb. 4.9), geortet, wenn er dieses an ein RFID-Lesegerät der Gadgeteer Prototypen (4.3.3) hält. Der Museumsführer auf dem Smartphone reagiert darauf indem er die Informationen zu dem passenden Exponat öffnet. Für dieses Interaktionskonzept muss das Smartphone vom Gadgeteer Prototyp benachrichtigt werden, sobald das Armband des Besuchers gelesen wurde. Im ersten Schritt sendet der Prototyp eine Nachricht an den Server des Museums (Abb. 4.3). Das Smartphone kann diese Nachricht vom Server erhalten indem es entweder regelmäßig eine Anfrage an den Server sendet, ob eine neue Nachricht bereitliegt (Polling) oder der Server kann die Nachricht über eine offene Verbindung zum Smartphone senden (Push). Google hat dafür den Dienst Google Cloud Messaging⁵ entwickelt, da insbesondere das Polling den Akku schnell leert. Google Cloud Messaging tritt dabei zwischen das Smartphone und den Museums-Server. Das Smartphone registriert sich bei Google Cloud Messaging und erhält eine eindeutige Nummer. Diese teilt das Smartphone dem Museums-Server mit. Dieser kann dann eine Nachricht an das Smartphone senden, indem er eine Nachricht mit der Nummer an Google Cloud Messaging sendet (Abb. 4.3). Zu beachten ist, dass der Google Cloud Messaging Server die einzige Komponente im System ist, für die eine Verbindung zum Internet nötig ist. Wenn der Museums-Server über das lokale Netzwerk des Museums erreichbar ist, wäre für die Prototypen und das Smartphone sonst keine Internetverbindung nötig. Alternativen zum Google Cloud Messaging Service wäre eine ständig offene TCP-Verbindung zwischen dem Museums-Server und dem Smartphone oder ähnliche Dienste wie Urban Airship⁶ oder Xtify⁷.

⁵<http://developer.android.com/google/gcm/index.html>

⁶<http://urbanairship.com/>

⁷<https://www.xtify.com/>

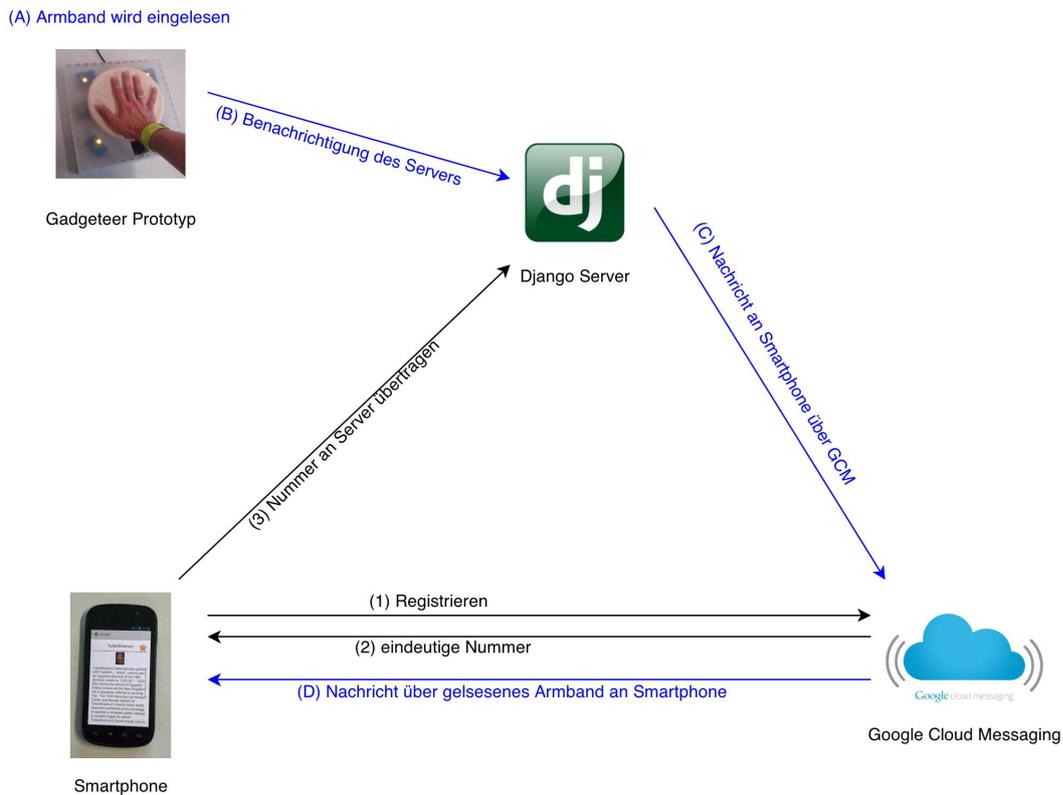


Abbildung 4.3.: (1-3) Registrieren für Google Cloud Messaging. (A-D) Smartphone über das eingelesene Armband benachrichtigen.^a

^aBildquellen: <http://c2journal.com/wp-content/uploads/2013/01/django-icon.png>,
<https://developer.android.com/google/gcm/index.html>

4.1.7. Internationalisierung

Die Auswahl der Sprache innerhalb des Museumsführers erfolgt über die Spracheinstellung des Betriebssystems. Ist dieses z.B. auf deutsch gestellt, ist der Museumsführer auch deutsch. Bisher sind in der App nur Deutsch und Englisch verfügbar. Dies kann mit dem eingebauten System in Android leicht erweitert werden, indem eine XML-Datei angelegt wird, die Übersetzungen aller Textfelder enthält⁸. Die Museumsinhalte werden auf der Serverseite über das Web-Frontend in mehreren Sprachen angelegt und die App wählt die richtige Sprache zur Anzeige aus. Der Standard, falls die Sprache des Android-Systems nicht vorhanden ist, ist Englisch.

⁸<http://developer.android.com/guide/topics/resources/localization.html>

4.2. Django Server

Der Django Server⁹ stellt die Museumsdaten zur Verfügung und ermöglicht auch deren Administration. Django hat ein eingebautes Web-Frontend (Abb. 4.4), über das auf die Datenbank des Servers zugegriffen werden kann und mit dem die Daten bearbeitet werden können. Damit lässt sich mit wenigen Anpassungen eine GUI zum Einpflegen der Museumsdaten erstellen. Auch die Daten der Besucher, wie angeschaute Ausstellungstücke und Favoriten, können darüber eingesehen werden. Mit dem integrierten Rechteverwaltungssystem können auf einfache Weise Konten eingerichtet werden mit denen nur eingeschränkt Änderungen in der Datenbank vorgenommen werden dürfen.

The screenshot shows the Django administration interface for managing exhibit data. The page title is "Django administration" and the breadcrumb trail is "Home > Museumcontentapp > Exhibits > Tutanchamun". The main section is titled "Change exhibit" and contains a form with the following fields:

- Name:** Tutanchamun
- Nfcid:** 3
- Museum:** Museum of Egypt
- Room:** Big Room
- Lighttp:** 0.0.0.0

Below the form, there are two sections for managing text entries:

- Text: Tutanchamun**
 - Language:** german
 - Title:** Tutanchamun
 - Text:** Tutanchamun (auch Tutenchamun; ursprünglich Tutanchaton) war ein altägyptischer König (Pharao) der 18. Dynastie (Neues Reich), der etwa von 1332 bis 1323 v. Chr. regierte.[3] Bekannt wurde er, als Howard Carter 1922 sein nahezu ungeplündertes Grab (KV62) im Tal der Könige entdeckte.
 - Number:** 1
 - Room:** -----
- Text: Tutankhamun**
 - Language:** english
 - Title:** Tutankhamun
 - Text:** Tutankhamun (alternatively spelled with Tutenkh-, -amen, -amon) was an Egyptian pharaoh of the 18th dynasty (ruled ca. 1332 BC - 1323 BC in the conventional chronology), during the period of Egyptian history known as the New Kingdom. He is popularly referred to as King Tut. His original name, Tutankhaten, means "Living Image of Aten", while Tutankhamun means "Living Image of Amun". In hieroglyphs, the name Tutankhamun was typically written Amen-tut-ankh, because of a scribal

Abbildung 4.4.: Django Web-Frontend zur Inhaltsverwaltung

⁹<https://www.djangoproject.com/>

4.2.1. Architektur

Anfragen an den Server werden über Http mit einer Representational State Transfer (REST) API (4.2.2) gestellt. Über einen URL-Resolver werden die Anfragen an das passende View weitergeleitet (Abb. 4.5). Im View wird die Anfrage bearbeitet indem Daten von der Datenbank gelesen werden oder neue Daten in ihr gespeichert werden. Mit der Datenbank Abstraktion werden die Datenbankoperationen mit Hilfe von Filtern vereinfacht, ohne dass SQL Anfragen formuliert werden müssen. Die Anfragen und auch die Datenbankerstellung erfolgen in Python. Der Server kann sowohl HTML als auch strukturierte Daten, wie JSON, an den Client liefern.

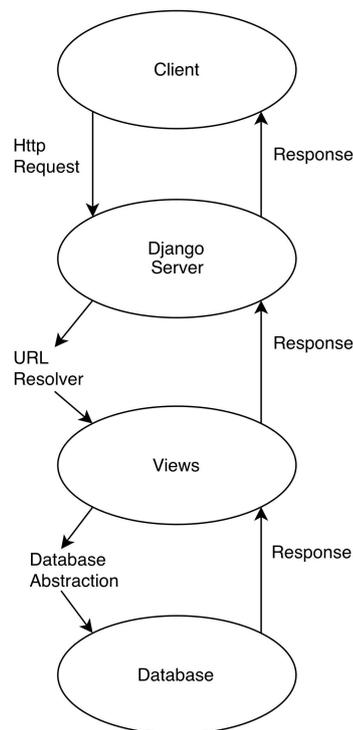


Abbildung 4.5.: Architektur des Django Servers^a

^a[http://de.wikipedia.org/wiki/Django_\(Framework\)](http://de.wikipedia.org/wiki/Django_(Framework)) Ausschnitt der Grafik

4.2.2. Django REST Framework

Die Museumsdaten werden über ein Application Programming Interface (API) zwischen dem Server und dem Smartphone ausgetauscht, das das REST Programmierparadigma anwendet. Für Django gibt es mehrere Frameworks, die auf einfache Weise REST in Django

4. Implementierung

Listing 4.1 Django REST Framework: Auflistung und Erstellen von Besuchern

```
class VisitorCreate(generics.ListCreateAPIView):
    serializer_class = VisitorSerializer
    queryset = Visitor.objects.all()

class VisitorSerializer(serializers.ModelSerializer):
    class Meta:
        model = Visitor
        fields = ('id', 'name', 'email', 'color')
```

integrieren. Dazu gehören unter anderem [django-piston](https://bitbucket.org/jespern/django-piston/wiki/Home)¹⁰, [django-tastypie](https://github.com/toastdriven/django-tastypie)¹¹ und das Django REST Framework¹². Alternativ kann eine REST API ohne ein Framework implementiert werden. In meiner Implementierung wird das Django REST Framework genutzt, da es eine umfangreiche Dokumentation, gute Community-Unterstützung und eine über den Browser ansprechbare API bietet. Der Codeabschnitt 4.1 zeigt die Implementierung um einen Besucher zu erstellen und eine Auflistung aller Besucher zu erhalten. Mit dem Serializer wird definiert welche Daten des Besucher aufgelistet werden. Die Daten können beispielsweise als JSON, YAML oder XML zurückgegeben werden.

4.2.3. Datenbank

Unter Django können verschiedene Datenbanken verwendet werden. In der Installation enthalten und damit sehr komfortabel verwendbar ist eine SQLite Datenbank¹³. Unter Android ist ebenfalls standardmäßig eine SQLite Datenbank integriert. Dadurch reduzieren sich die Datenformatkonflikte auf ein Minimum. In der Datenbank (Abb. 4.6) wird das Museum und die Besucher verwaltet. Das Museum ist in Räume unterteilt, denen wiederum die enthaltenen Ausstellungsstücke zugeordnet sind. Räume und Ausstellungsstücke besitzen eine NFC-ID, über die sie von einem Smartphone adressiert werden können. Die WLAN-Tags, die den Ausstellungsstücken und dem Museum zugeordnet sind, werden für die kontinuierliche Ortung (4.1.5) verwendet. Zuerst müssen sie jedoch vom Museumspersonal für die Ortung freigegeben werden, so dass nicht zum Museum gehörende mobile WLAN APs die Ortung nicht verfälschen können. Für die Räume und Ausstellungsstücke gibt es Texte und Bilder die im Museumsführer angezeigt werden. Vom Besucher gesehene Räume und Exponate werden mit einem Zeitstempel versehen und in der Datenbank gespeichert. Favoriten des Besuchers werden ebenfalls gespeichert. Das RFID-Armband des Besuchers wird mit den enthaltenen RFID-Tags und einer Identifikationsnummer auch in der Datenbank abgelegt.

¹⁰<https://bitbucket.org/jespern/django-piston/wiki/Home>

¹¹<https://github.com/toastdriven/django-tastypie>

¹²<http://django-rest-framework.org/>

¹³<http://www.sqlite.org/>

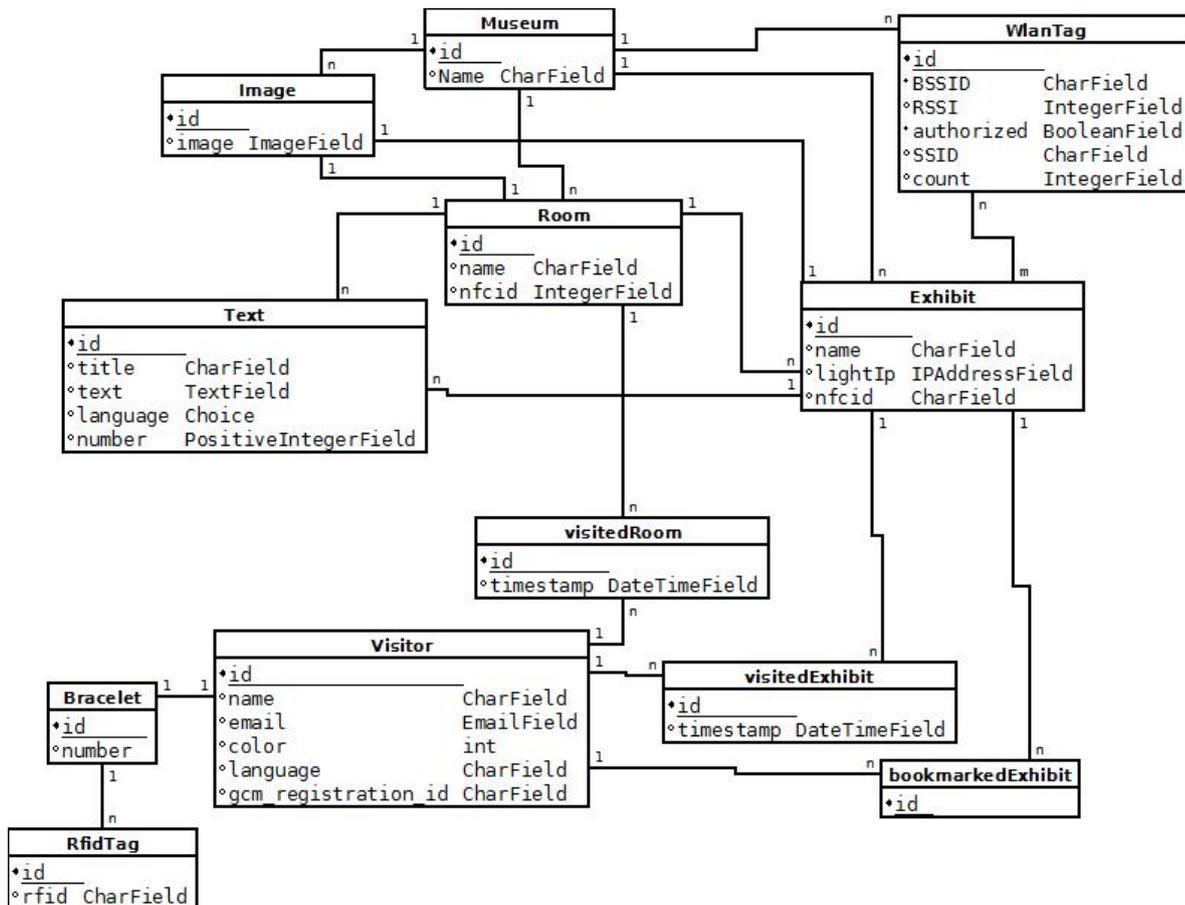


Abbildung 4.6.: Datenbankschema des Django Servers

4.3. Gadgeteer Prototypen

Die Gadgeteer Prototypen sind das Bindeglied zwischen der physischen Ausstellung und dem digitalen Museumsführer auf dem Smartphone. Diese Prototypen sind in Form kleiner Stationen an jedem Exponat installiert, sodass der Besucher mit ihnen interagieren kann. Die Prototypen bestehen aus der größtenteils vorgefertigten elektronischen Gadgeteer-Hardware, die nur noch programmiert werden muss, und einem Gehäuse, das für den Museums-Kontext geeignet ist und die gewünschte Affordance bietet.

4.3.1. Gadgeteer

Microsoft .NET Gadgeteer ist eine Plattform mit der auf einfache Weise Hardware-Prototypen entworfen werden können, ohne dass Hintergrundwissen über die Hardwareentwicklung nötig ist [VSH⁺12]. Zum Gadgeteer-System gehören fertige Hardwarekomponenten, die

4. Implementierung

einfach miteinander verbunden werden können, eine objektorientierte Softwareumgebung und die Möglichkeit passende Gehäuse zu designen. Mehrere Hersteller haben Hardware für das Gadgeteer-System entwickelt. Zu einem lauffähigen Gadgeteer Prototyp gehört ein Mainboard, das einen Prozessor, Speicher und Schnittstellen für weitere Hardware bereitstellt. Mittlerweile sind über 40 unterschiedliche Sensoren und Aktoren verfügbar, die mit einem einheitlichen Kabel an das Mainboard angeschlossen werden können. Dazu gehören unter anderem Displays, Motoren, Kameras, Beschleunigungssensoren und Schalter. Kommunikationsschnittstellen sind beispielsweise WLAN, LAN, XBee oder USB. Die Stromversorgung erfolgt über USB oder Akkus.

Die Software wird mit C# in Visual Studio¹⁴ mit einer event-basierten API programmiert. Die Gadgeteer-Bibliotheken sind ebenfalls in C# geschrieben und basieren auf dem .NET Micro Framework (NETMF). Damit wird eine Abstraktion von den Mainboards und Erweiterungen der unterschiedlichen Hersteller erreicht und die Programmierung vereinheitlicht. In einem Designer, der für Visual Studio verfügbar ist, wird die virtuelle Hardware mit Drag-And-Drop zusammengefügt (Abb. 4.7 links). Im Programm sind die Komponenten dann direkt ansprechbar. Anschließend wird das Gadgeteer-System genau so verkabelt, wie es im Designer angezeigt wird (Abb. 4.7 rechts).

Über ein Solid Works¹⁵ Add-in können die 3D-Modelle der einzelnen Komponenten für das Design eines passenden Gehäuses importiert werden. Es werden lasergecuttete und 3D-gedruckte Gehäuse unterstützt [VSH⁺ 12].

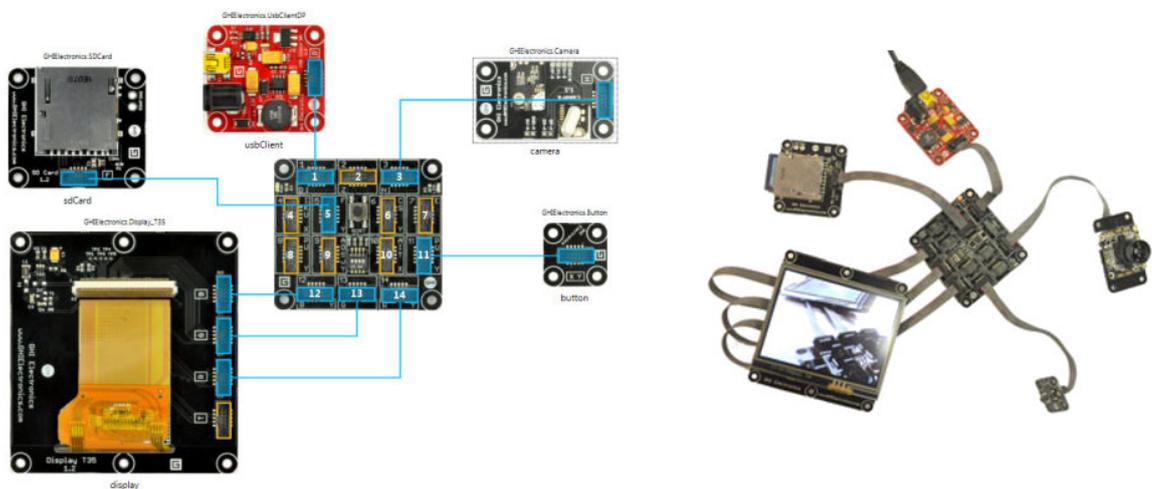


Abbildung 4.7.: Die Komponenten werden im Designer zusammengefügt (links) und genau so verkabelt (rechts).

¹⁴<http://www.microsoft.com/visualstudio/deu>

¹⁵www.solidworks.de

4.3.2. NFC Prototyp

Der Prototyp enthält einen passiven NFC-Tag, der von einem geeigneten Smartphone ausgelesen werden kann und auf dem Smartphone die Beschreibung des zugehörigen Ausstellungsstückes öffnet (Abb. 3.1). Die Zuordnung zwischen dem NFC-Tag und dem Ausstellungsstück erfolgt über eine ID, die in der Datenbank und auf dem NFC-Tag gespeichert ist. Um den Prototyp in der Farbe des Besuchers leuchten zu lassen, ist die integrierte Gadgeteer-Hardware über LAN oder WLAN mit dem Server und dem Smartphone verbunden. Auf dem Prototypen selbst läuft auch ein einfacher Server, der mit Hilfe von Nachrichten über die anzuzeigende Farbe informiert wird. Da der passive NFC-Tag und das Gadgeteer-System nicht direkt miteinander verbunden sind, müssen diese nicht im gleichen Gehäuse sein. So kann der NFC-Tag an einer Stelle angebracht werden, die vom Besucher gut zu erreichen ist und der Gadgeteer-Server könnte mit der Beleuchtung des Ausstellungsstückes oder sogar der Raumbeleuchtung gekoppelt werden.

Evolution

Der Prototyp mit NFC soll auf intuitive Weise bedienbar sein und möglichst wenig Spielraum für eine Fehlbedingung lassen. Durch NFC ist ein Rahmen gesetzt, der für das erfolgreiche Lesen des Tags eingehalten werden muss: Der mögliche Leseabstand zwischen Smartphone und NFC-Tag beträgt wenige Zentimeter und das Smartphone muss etwa eine Sekunde über den Tag gehalten werden. Beim Samsung Galaxy Nexus, das für die Prototyp-Entwicklung verwendet wird, muss die obere Hälfte der Smartphone-Rückseite an den Tag gehalten werden um ihn auszulesen. Mit diesem Rahmen ist es nicht möglich einen Prototyp zu entwickeln bei dem das Smartphone ohne Umgreifen in einer Hand gehalten werden kann: Weder NFC-Tags über dem Smartphone, noch Tags, bei denen sich die Hand dazwischen befindet, können gelesen werden.

Ein erster Entwurf aus Pappkarton mit einer Öffnung (Abb. 4.8), in die das Smartphone gehalten wird, hat mehrere Vorteile gezeigt: Durch den eingeschränkten Platz ist die Position des Smartphones genau festgelegt und die Bauweise verhindert, dass der Besucher das Smartphone über dem Tag zu schnell hin und her bewegt. Ein Nachteil ist, dass die Öffnung nur für eine bestimmte Größe der Smartphones geeignet ist. Wird die Öffnung jedoch so gewählt, dass sie für jedes Smartphone groß genug ist, könnte der beschriebene Vorteil wegfallen. Werden nur identische Leihgeräte eingesetzt, kann der Prototyp auf diese angepasst werden.

4. Implementierung



Abbildung 4.8.: Erster NFC Prototyp mit Öffnung für das Smartphone und LEDs.

4.3.3. RFID-Armband Prototyp

Bei diesem Prototyp wird der RFID-Reader des Gadgeteer-Prototyps verwendet um das passive RFID-Armband (Abb. 4.9) des Besuchers auszulesen. Das Armband ist über eine eindeutige Nummer dem Besucher zugeordnet. Diese gibt der Besucher während dem Login in der App ein. Das Armband besteht aus mehreren RFID-Tags, die jeweils auch eine eindeutige ID enthalten. Wird ein RFID-Tag eingelesen, sendet der Prototyp dessen ID und die ID des Ausstellungsstückes an den Django Server (4.2). Der Server liest aus der Datenbank die Farbe des Besuchers und sendet diese an den Prototypen zurück. Zusätzlich sendet der Server über Google Cloud Messaging (GCM) (4.1.6) die ID des Ausstellungsstückes an das Smartphone des Besuchers.



Abbildung 4.9.: Mit passiven RFID-Tags bestücktes Armband.

Evolution

Bei der Entwicklung des Prototyps ist zu beachten, dass RFID die gleichen Einschränkungen wie NFC aufweist: Der Leseabstand ist sehr kurz und das RFID-Armband muss ruhig gehalten werden. Ein RFID-Tag kann nicht gelesen werden, wenn er orthogonal zum Lesegerät liegt. Das ist beim Design des Armbandes zu beachten. Eine einfache Lösung ist, so viele Tags in das Armband einzufügen, dass es von jeder Richtung erfolgreich gelesen werden kann. Alternativ kann die Position des Tags auf dem Armband markiert werden und der Besucher muss genau diese Stelle auf das Lesegerät halten, was aber den Bedienkomfort verschlechtert. Um eine gute Affordance für das Armband zu gewährleisten wird für den Prototyp ein Handabdruck verwendet, um dem Besucher zu vermitteln, wo er seine Hand positionieren muss, dass das RFID-Armband gelesen werden kann. Ein erster Prototyp der mit Gipsband modelliert wurde hat nicht die gewünschte Qualität erreicht und konnte durch die exakte Abbildung der Hand nur schwer mit größeren Händen genutzt werden. Beim Prototyp für die Benutzerstudie kommt ein Abdruck aus Salzteig zum Einsatz (Abb. 4.10 und Abb. 3.2). Gedruckte Handabdrücke in 2D oder 3D sind denkbare Alternativen.



Abbildung 4.10.: Handabdruck aus Salzteig.

4.3.4. Daumen Prototyp

Der Daumen Prototyp wird speziell für die Benutzerstudie (Kapitel 5) entwickelt, um einen weiteren einfach zu bedienenden Prototyp im Vergleich zu haben. Die Idee eines Prototypen der mit einem Finger bedient wird, ist aus einer Beobachtung in der Hagia Sophia¹⁶ in Istanbul entstanden, die heute ein Museum ist: Am Ausgang befindet sich dort ein Loch in einer Säule. Steckt der Besucher seinen Daumen in das Loch und dreht die Hand, soll es Glück bringen. Viele Besucher stellen sich an der Säule an um diese ungewöhnliche Interaktion durchzuführen. Der entwickelte Prototyp greift die Interaktion mit dem Daumen in vereinfachter Form auf. Drückt der Besucher seinen Daumen, oder einen anderen Finger, in den Abdruck leuchtet wieder die Farbe des Besuchers auf und das Ausstellungsstück wird

¹⁶http://de.wikipedia.org/wiki/Hagia_Sophia

4. Implementierung

in der Smartphone App angezeigt. In der aktuellen Entwicklungsstufe fehlt dem Prototyp die Möglichkeit der Identifikation des Besuchers. Daher kann er in dieser Form nicht im Museum eingesetzt werden. Optimal wäre ein RFID-Reader wie beim RFID-Armband Prototyp (4.3.3) mit einer verbesserten Reichweite, dass das RFID-Armband gelesen werden kann, sobald der Besucher den Daumenabdruck drückt.

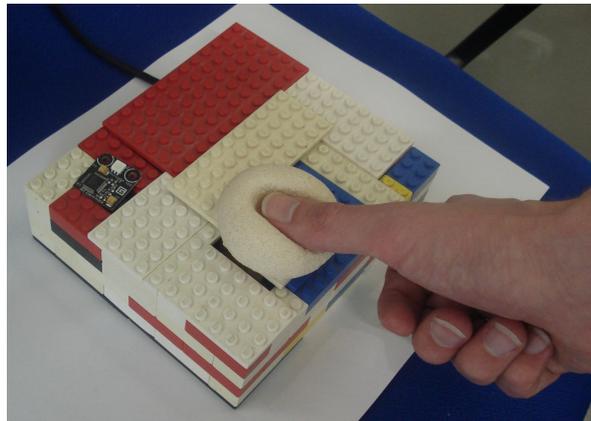


Abbildung 4.11.: Prototyp mit Daumen-Schalter.

4.3.5. Raumregistrierung Prototyp

Die Raumregistrierung soll den Kuratoren die Möglichkeit geben die Besucherströme im Museum auszuwerten. Zugleich soll für die Besucher ein Mehrwert entstehen, dass sich die Besucher für die Räume über die Prototypen registrieren. Die Anzeige wie viele Leute sich in dem Raum aufhalten ist dabei ein erster Schritt. Es soll dabei die Analogie zu einer Füllstandsanzeige für einen Akku auf dem Smartphone oder dem Laptop verwendet werden, um bei den Besuchern ein intuitives Verständnis zu gewährleisten. Wie bei den anderen Prototypen kommt dabei die Farbe des Besuchers zum Einsatz. Eine erste Idee ist eine Lichterkette am Türrahmen an der für jeden Besucher im Raum eine LED leuchtet. Im Rahmen der Diplomarbeit wird die Lichterkette in ein eigenes Gehäuse eingefügt, um für die Benutzerstudie und dem Deployment in unterschiedlichen Museen flexibel zu sein (Abb. 3.3). Für die Implementierung wird eine FIFO-Liste verwendet: Registriert sich der Besucher für den Raum, wird seine Farbe in die Liste eingefügt und eine LED leuchtet in seiner Farbe. Nach einer festgelegten Zeit wird die LED wieder abgeschaltet. Fortführend soll die LED des Besuchers auch automatisch abgeschaltet werden, wenn er den nächsten Raum betritt. Der Prototyp zur Raumregistrierung konnte nicht in der Benutzerstudie (Kapitel 5) evaluiert werden, da nicht genügend Gadgeteer-Hardware verfügbar war.

5. Benutzerstudie

Die Benutzerstudie wird an der Universität im Labor durchgeführt. Zu Beginn wird die Affordance der Gadgeteer Prototypen (4.3) getestet, indem die Probanden die Prototypen ausprobieren dürfen, ohne zuvor zu wissen wie diese benutzt werden. Anschließend wird das Gesamtsystem, wie es im Museum installiert ist, evaluiert. Dafür wird ein kleines Museum mit 3 Exponaten aufgebaut.

5.1. Teilnehmer

An der Studie haben 14 Personen teilgenommen. Die erste Person hat die Pilotstudie gemacht, so dass deren Ergebnisse im Folgenden nicht gewertet werden. 8 der Probanden sind männlich, 5 sind weiblich. Die Probanden sind zwischen 17 und 31 Jahre alt mit einem Durchschnittsalter von 24,4 Jahren (Standardabweichung 3,01). 60% der Probanden sind Informatik-Studenten. Die weiteren Teilnehmer sind bunt gemischt: Zwei weitere Studenten mit anderem Studiengang, ein Schüler, ein wissenschaftlicher Mitarbeiter, und ein kaufmännischer Angestellter. Ein Proband hatte muttersprachliche Englischkenntnisse und nur mittelmäßige Deutschkenntnisse. Ein weiterer Proband hatte gute Deutschkenntnisse, konnte sich aber auf Englisch besser ausdrücken. Alle weiteren Probanden hatten Deutschkenntnisse auf Muttersprachen-Niveau.

5.2. Durchführung

Die Probanden nehmen jeweils einzeln an der Studie teil. Zu Beginn erhalten sie eine kurze Einführung (A.3.2) und füllen eine Einverständniserklärung (A.3.1) aus, dass die gesammelten Daten im Rahmen der Studie verwendet werden dürfen. Im Anschluss erhält der Proband, wie beim Museumsbesuch, ein Armband und ein Smartphone, auf dem der Museumsführer installiert ist und bekommt eine Einweisung, wie das System funktioniert (A.3.3). Dann werden nacheinander in permutierter Reihenfolge die drei Prototypen zur Registrierung an den Ausstellungsstücken gezeigt. Der Proband soll mit den Prototypen interagieren, ohne davor zu wissen wie diese funktionieren, um deren Affordance zu evaluieren (Abb. 5.1). Die Ergebnisse werden vom Experimentator notiert. Die Prototypen haben die Formen, wie sie später auch im Museum verwendet werden sollen, sind aber ohne Funktionalität.

5. Benutzerstudie

Die Funktionalität wird anschließend in einem kleinen aufgebauten Museum evaluiert (Abb. 5.2). Dabei kann der Besucher das System an 3 Exponaten ausprobieren.

Die Ergebnisse werden über einen System Usability Scale (SUS) Fragebogen (A.3.5)[Bro96], einem weiteren Fragebogen (A.3.4) und einem abschließendem semistrukturierten Interview (A.3.6) festgehalten. Die Probanden werden mit 5€ entlohnt.



Abbildung 5.1.: Evaluierung der Affordance mit den nacheinander aufgedeckten Prototypen.



Abbildung 5.2.: Museum für die Benutzerstudie mit drei Ausstellungsstücken.

5.3. Ergebnisse

Von den 13 Probanden sind 12 mit der Benutzung von Android vertraut (Abb. 5.3). Zwei haben zusätzlich Erfahrung mit iOS und einer mit Windows Phone. Einer hat bisher keine Smartphones verwendet.

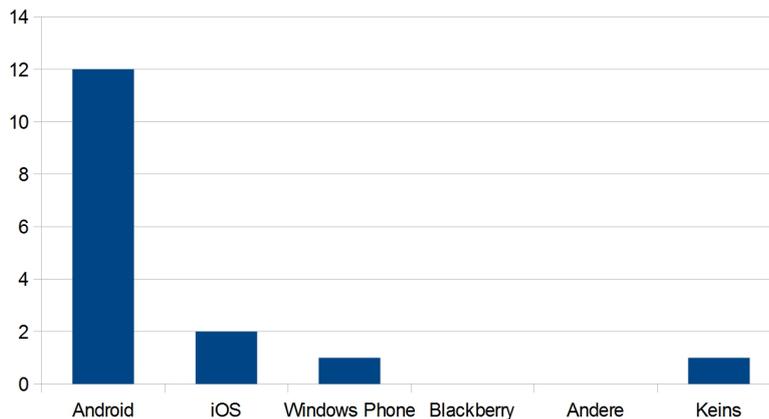


Abbildung 5.3.: Die Probanden sind mit diesen Smartphone-Systemen vertraut (Mehrfachnennung erlaubt).

Ob die Teilnehmer einen Museumsführer auf ihrem Smartphone installieren würden beantworten 8 mit ja, 4 mit vielleicht und 1 mit nein. Die Begründung der Nein-Stimme ist, dass sie kein Smartphone im Museum verwenden will. Das ist ein wichtiger Punkt, da die Annahme naheliegt, dass in anderen Personengruppen, insbesondere ältere Besucher und Besucher mit anderen Berufsbildern, die Anzahl der Personen, die kein Smartphone verwenden wollen, höher liegen würde. Zweimal wurden die Rechte der App genannt, warum die App vielleicht nicht installiert werden würde. Bei den Argumenten für die Installation auf dem eigenen Gerät gibt es keine weitere Doppelnennung. Vorteile werden beispielsweise darin gesehen, dass man sein eigenes Gerät verwenden kann, Informationen zu Ausstellungsstücken in der App auch später angeschaut werden können und die Verfügbarkeit von unterschiedlichen Sprachen.

Der SUS Test [Bro96] bewertet die Usability eines Systems. Die Usability kann als Qualitätsanzeiger verstanden werden, der die Eignung eines Systems für einen bestimmten Zweck angibt [Bro96]. Dazu gehört die Effektivität, die Effizienz und die Zufriedenheit des Benutzers (ISO 9241 – 11¹). Der SUS Test ermöglicht die Vergleichbarkeit der Usability über die Grenzen des konkreten Anwendungsfalles hinweg. Der Test umfasst 10 Aussagen denen der Proband über eine Likert-Skala zustimmen oder widersprechen kann (A.3.5). Über eine

¹http://de.wikipedia.org/wiki/EN_ISO_9241#EN_ISO_9241-11_Anforderungen_an_die_Gebrauchstauglichkeit

5. Benutzerstudie

Berechnungsvorschrift wird für jeden Proband ein SUS-Score berechnet. Der SUS-Score ist ein Zahlenwert zwischen 0 und 100 und steht für die Usability des untersuchten Systems. In der Studie wurde im Durchschnitt ein SUS-Score von 79 erreicht. Der Median liegt bei 80. Die Werte reichen von 55 bis 97, wobei 50% zwischen 75 und 87 liegen (Abb. 5.4).

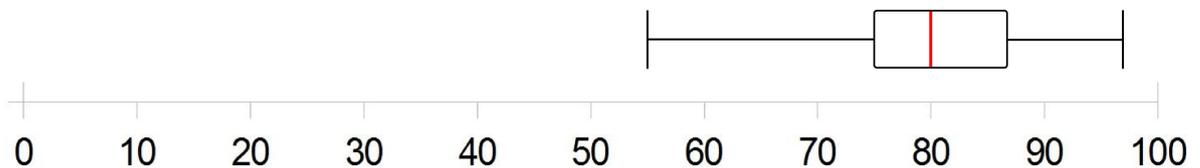


Abbildung 5.4.: Boxplot der SUS-Werte.

Die Analyse der Affordance der Prototypen hat durchweg positive Ergebnisse erzielt. Der Prototyp mit dem Handabdruck ist dabei von allen Probanden sofort richtig verwendet worden. Auch der Daumenabdruck ist von allen Probanden erkannt worden, wobei einige sich nicht sicher waren, ob es sich um ein Kunstwerk handelt, das nicht angefasst werden darf. Die meisten Probanden haben jedoch den Zeigefinger statt dem Daumen verwendet. Bei der Ausführung als drückbarer Knopf spielt dies jedoch keine Rolle. Der Prototyp, bei dem das Smartphone in die Öffnung gehalten werden muss, hat etwas schlechter abgeschnitten: Zwei Probanden war nicht bewusst, dass sie das Smartphone verwenden können und einer hat vermutet, dass die Hand in die Öffnung gehalten werden muss. Wurden die Probanden gefragt, welchen Prototyp sie für den Einfachsten halten wurde einstimmig der Handabdruck genannt. In den Anmerkungen zu diesem Prototyp wurde mehrmals die Problematik mit Links- und Rechtshändern genannt, da der Abdruck von einer rechten Hand gemacht wurde. Zudem muss auch das RFID-Armband an der Hand sein, die auf den Prototypen gelegt wird. Ein Proband äußerte Bedenken wegen der Hygiene des Handabdruckes. Den Fingerabdruck empfanden 4 Probanden als nicht intuitiv und 2 wünschten sich zur weiteren Verdeutlichung das Linienmuster eines Fingerabdruckes. Auch für den Prototyp mit dem Smartphone wünschten sich 3 Probanden eine geeignete Beschriftung, die die Bedienung erläutert.

Im aufgebauten Museum haben alle Probanden die 3 Prototypen ausprobiert und sich die unterschiedlichen Funktionen in der App angeschaut. Einige Probanden besuchten die Exponate auch mehrfach, um zu sehen wie sich die Farbänderung in der App auf die LED-Farben der Prototypen auswirkt oder um zu testen wie gut die WLAN-Ortung funktioniert.

Die Fragebogen zu den Prototypen und der Smartphone App (A.3.4) und das semistrukturierte Interview (A.3.6) haben in den Fragen zu den positiven und negativen Aspekten ähnliche Ergebnisse erzielt. Trotzdem wurde durch die Kombination von Fragebogen und Interview ein vielfältigeres Feedback erzielt, als es nur mit einem der beiden möglich gewesen wäre.

Die Frage ob den Probanden die Interaktion mit der Ausstellung über die Prototypen wichtig ist erzielte auf der Likert-Skala 4,5 (Likert-Skala von 1 (stimme gar nicht zu) bis 5 (stimme voll und ganz zu)). Auch die Frage, ob sie sich das System im Museum vorstellen können

erzielte einen Wert von 4,5. Im Gegensatz dazu war den Probanden die Auswahlmöglichkeit über den Touchscreen nicht ganz so wichtig und ergab einen Wert von 3,8, wobei hier 2 Ausreißer mit 1 und 2 dabei sind. Die 1 wurde von dem Probanden vergeben, der kein Smartphone verwenden möchte und die 2 könnte wegen Übersetzungsschwierigkeiten falsch angekreuzt worden sein, da die anderen Antworten des Probanden diese Bewertung auch nicht stützen.

Das Feedback im Fragebogen zum Prototyp mit dem Handabdruck unterstreicht das Ergebnis der Affordance-Studie: 7 Probanden betonten die Einfachheit der Interaktion, aber auch die Problematik durch den rechten Handabdruck wurde 3 mal erwähnt. Im Interview wurde der Handprototyp bei der Frage was dem Probanden besonders gut gefallen hat ebenfalls 4 mal erwähnt. 2 mal wurde bemängelt, dass der Prototyp schlecht funktioniert: Das RFID-Armband konnte nur bei einem Abstand von wenigen Millimetern erfolgreich gelesen werden. Das erschwerte die erfolgreiche Nutzung. Auch der Tragekomfort des Armbandes wurde von einem Probanden bemängelt. Der dreidimensionale Handabdruck wurde mehrmals positiv erwähnt.

Obwohl alle Probanden auch mit dem Daumenabdruck richtig interagierten, wurde von 6 Probanden Zweifel geäußert, ob dieser auch für die Museumsbesucher verständlich ist. 4 Probanden merkten an, dass der Prototyp keine Hinweise darauf gibt, dass er gedrückt werden muss. Vorgeschlagene Lösungen sind beispielsweise eine Beschriftung oder das Ersetzen durch einen einfachen Knopf. Beim Test im Beispielmuseum haben alle Probanden den Finger einige Zeit auf dem Abdruck liegen lassen. Der verwendete Knopf des Gadgeteer Kits funktioniert jedoch durch kurzes Draufdrücken. Daher mussten die meisten Probanden ein zweites mal drücken, bis es klappte. Teilweise ist dies auch der einfachen Konstruktion des Prototyps geschuldet (Abb. 4.11). 2 Probanden lobten trotzdem die einfache Bedienung und die Idee.

Bei 4 Probanden, die nacheinander an der Studie teilnahmen, funktionierte der Dienst über Google Cloud Messaging (4.1.6) nicht. Das hatte zur Folge, dass bei der Interaktion mit dem Hand- oder Daumenabdruck die Beschreibung des Ausstellungsstückes nicht in der App geöffnet wurde. Durch Erläuterung des Experimentators konnten sich die betroffenen Probanden die Funktionsweise trotzdem gut vorstellen.

Der Prototyp mit NFC-Schnittstelle für das Smartphone erhielt ein gemischtes Feedback: Während 4 Probanden die Bedienungsweise unintuitiv oder umständlich fanden, empfanden 2 Probanden die Bedienung einfach und 2 weitere hielten es für den besten Prototyp. Von 2 wurde positiv hervorgehoben, dass nur das Smartphone nötig ist und damit die zweite Hand frei ist. Einem Probanden gefiel das akustische Feedback, das das Android System beim Lesen eines NFC-Tags abspielt. 2 Probanden befürchteten, dass das Smartphone herunterfallen könnte und einer schlug die vertikale Aufstellung des Prototyps vor, dass das Smartphone von oben in die Öffnung gehalten wird. Während der Studie ist keinem das Smartphone heruntergefallen.

Im zweiten Teil des Fragebogens wurde Feedback zur Museums App gegeben. 3 Probanden lobten die schnelle Verfügbarkeit von zusätzlichen Informationen zu den Ausstellungsstücken. 2 weiteren gefiel, dass die Information über das Smartphone auch später noch

abgerufen werden kann, im Museum und auch zu Hause. Mehreren gefiel die automatische Sortierung der Ausstellungsstücke nach der Distanz zum Besucher, obwohl die Sortierung in der Laborstudie nicht zuverlässig funktionierte. Ein Proband fand die sich automatisch sortierende Liste verwirrend. Auch die Menüführung wurde von einem als verwirrend empfunden. Ein Proband fand es positiv, dass die Informationen zu den Ausstellungsstücken über den Touchscreen aufgerufen werden können und nicht nur über die Prototypen und damit Warteschlangen vor den Prototypen vermieden würden. Ein weiterer Proband wünschte sich dagegen einen Mehrwert, wenn er die Prototypen verwendet, da sonst die Besucher nur die Auswahlmöglichkeit über den Touchscreen nutzen würden. 3 mal wurde erwähnt, dass die Information zu den Ausstellungsstücken nicht interessant aufbereitet wurde oder dass die Präsentation textlastig ist. Weiterführende Funktionen, die sich die Probanden wünschten, waren eine Navigation zu den Ausstellungsstücken und flexible Suchmöglichkeiten, z.B. nach ähnlichen Ausstellungsstücken oder nach Ausstellungsstücken aus einer bestimmten Epoche.

Im semistrukturierten Interview befürworteten 11 Probanden ein einheitliches System für mehrere Museen. 3 davon sahen einen Vorteil darin, dass nicht für jedes Museum eine eigene App installiert werden müsste und 7, dass den Besuchern schon bekannt ist, wie sie mit dem System interagieren können. Als weitere Vorteile wurde die Übersicht über alle Museumsbesuche in einer App genannt und dass die Besucher über die App motiviert werden erneut ins Museum zu gehen. 3 Probanden wünschten sich Anpassungen im Design für das jeweilige Museum und Variation in der Ausgestaltung des Systems. 2 Probanden sprachen sich gegen ein einheitliches System aus, da sie befürchteten, dass alle Museen gleich sind und es keine Abwechslung geben würde.

Die Frage, ob sie Sicherheitsbedenken hätten, dass der Museumsführer weiß, wo sie sich gerade im Museum aufhalten, beantworteten alle Probanden mit nein. 3 nannten die Bedingung, dass sich die Ortung auf das Museum begrenzt und mehrere betonten, dass die Daten anonymisiert werden und nicht weitergegeben werden sollten um nicht für Werbung oder Anderes missbraucht werden zu können. Ein Proband sagte, dass über die Kamerasysteme, die üblicherweise in Museen installiert sind, die Besucher sowieso schon geortet werden können.

11 Probanden würden gerne eine Zusammenfassung des Museumsbesuches mitnehmen. 6 bevorzugen die digitale Variante über eine Webseite und 5 weitere fänden es gut, wenn zwischen dem Ausdruck, beispielsweise in Form einer Postkarte und der digitalen Variante gewählt werden könnte. 2 Probanden legten keinen Wert auf die Zusammenfassung. Falls sie doch noch einmal Informationen abrufen wollten, würde Ihnen die Museum App auf dem eigenen Smartphone ausreichen.

5.4. Diskussion

Zusammenfassend war die Bewertung positiv und die Probanden hatten sichtbar Freude an dem System, obwohl es in einigen Bereichen noch nicht ganz rund läuft.

Die Studie der Affordance hat gezeigt, dass der Prototyp mit dem Handabdruck am einfachsten verstanden wird. Dadurch, dass das RFID-Armband am richtigen Handgelenk sein muss, wird aber auch dieser Prototyp ohne Beschriftung nicht eingesetzt werden können. Zudem müsste ein Handabdruck verwendet werden, der sowohl für Rechts- und Linkshänder geeignet ist und es muss ein anderes RFID-Lesegerät eingesetzt werden, das das Armband aus einer größeren Distanz lesen kann.

Der Prototyp mit dem Daumenabdruck hat gezeigt, dass viele Probanden auch kompliziertere Formen richtig erkennen können. Beim Prototyp ist jedoch die kommunizierte Interaktionsmöglichkeit von der eingebauten abgewichen: die Probanden vermuteten einen Drucksensor oder ein Lesegerät und ließen den Finger auf dem Abdruck ruhen. Richtig bedient wird er aber über einen kurzen Klick. Falls es für das Auslesen des RFID-Armbandes nötig ist, dass der Besucher einige Zeit seine Hand still hält ist der Abdruck in Kombination mit einem Drucksensor genau das Richtige. Ist die Verweildauer der Hand unproblematisch würde beispielsweise ein halbkugelförmiger roter Knopf, wie er in Quizshows verwendet wird, die Interaktionsmöglichkeit besser kommunizieren.

Bei beiden Prototypen ist es wichtig den Wechsel zwischen der Interaktion mit der Hand und der Interaktion mit dem Smartphone durch geeignetes Feedback zu unterstützen, beispielsweise indem das Smartphone vibriert oder einen Ton wiedergibt, wenn das Ausstellungsstück geöffnet wird. Das erleichtert es dem Besucher im richtigen Zeitpunkt seine Aufmerksamkeit vom Prototyp auf das Smartphone zu lenken.

Der Prototyp, der über NFC direkt mit dem Smartphone verwendet wird, ist nicht von dem Aufmerksamkeitswechsel betroffen. Trotzdem hat der Prototyp nicht alle Probanden überzeugen können, da er nicht an die Intuitivität des Handabdrucks herankommt. Vorteile des Prototyps sind die Offline-Tauglichkeit durch die passiven NFC-Tags, sobald die Informationen zu den Exponaten auf das Smartphone geladen wurden, und die zuverlässigste Sensorik, da nur das NFC-Lesegerät des Smartphones zum Einsatz kommt.

Die Vorteile der schnellen Verfügbarkeit der Informationen und der Unabhängigkeit von Informationstafeln gelten auch für die entwickelte Museums App. Im Gegensatz zu digitalen Museumsführern, die im Besitz des Museums sind, kann der Besucher mit seinem eigenen Smartphone auf einfache Weise zu Hause sich noch einmal ausgewählte Informationen ansehen. Die Präsentation der Ausstellungsstücke, die in der Nähe des Besuchers sind, fand bei den Probanden Anklang. Die angewandte Technik mit WLAN-Fingerprinting ließ sich jedoch im Labor nicht erfolgreich einsetzen. Je nachdem wie viel Metall oder andere Stoffe, die die WLAN-Signale absorbieren oder reflektieren, im Museum verbaut sind, muss entschieden werden, ob sich WLAN-Fingerprinting erfolgreich einsetzen lässt. Zudem ist ein möglichst großer Abstand zwischen den Ausstellungsstücken, die in der App angezeigt werden sollen, hilfreich, da so die Ausstellungsstücke leichter voneinander unterschieden werden können. Wenn der Abstand zwischen den Ausstellungsstücken zu gering ist, um

sie über WLAN-Fingerprinting zu unterscheiden, müssten die Ausstellungsstücke in unterscheidbare Gruppen unterteilt werden. Die Präsentation auf dem Smartphone würde dann gruppenweise erfolgen. Das hat den zusätzlichen Vorteil, dass das Smartphone länger die gleichen Ausstellungsstücke anzeigen kann und das von einem Probanden als irritierend empfundene häufige Umsortieren der Liste vermieden wird.

Bei der Entwicklung der App lag der Augenmerk nicht auf den Museumsinhalten und deren ansehnlicher Präsentation. Dies wurde demnach auch von 3 Probanden bemängelt. Verbesserung könnte durch eine ansprechendere Formatierung des Textes erreicht werden. Das ist in eingeschränkter Form für Textfelder in der Android App möglich. Für mehr Gestaltungsfreiraum können auch HTML-Seiten angezeigt werden, die jedoch eine längere Ladezeit haben. Text to Speech, Audio und Video könnten den Museumsführer zusätzlich aufwerten.

Hornecker *et al.* [HN12] haben untersucht, wie gut sich die Aussagen einer Laborstudie auf ein reales System im Museum übertragen lassen. Dabei sind sie zum Ergebnis gekommen, dass der Test der Usability im Labor sich auf das Museum übertragen lässt. Soziale Verhaltensmuster in Besuchergruppen oder Familien können jedoch im Museum von den Laborbeobachtungen abweichen. Der SUS-Fragebogen mit einem durchschnittlichen SUS-Score von 79 lässt hoffen, dass das System auch im Museum erfolgreich sein wird. Bangor *et al.* [BKMog] haben in der Analyse von SUS 3500 Fragebogen von 273 Studien aus unterschiedlichen Bereichen ausgewertet, die im Durchschnitt einen SUS-Score von 69,5 und einen Median von 70,5 erreicht haben. Zu bedenken ist, dass die Probanden den Prototyp bewertet haben und nicht ein System, das genau so im Museum installiert werden soll. Ein Proband konnte sich beispielsweise das System sehr gut im Museum vorstellen, solange die Sensoren so funktionieren, wie sie sollen. Das ist bei den Prototypen, beispielsweise für das RFID-Lesegerät, noch nicht gegeben.

6. Zusammenfassung und Ausblick

In dieser Arbeit wurde ein digitaler Museumsführer für Smartphones entwickelt, der es ermöglicht auf innovative Weise mit den Ausstellungsstücken zu interagieren. Dazu ist an jedem Exponat eine Station auf Gadgeteer-Basis installiert. Drei unterschiedliche Varianten der Stationen wurden entwickelt: Ein Handabdruck und ein Fingerabdruck, die den Besucher über ein RFID-Armband identifizieren und eine Station mit einem NFC-Tag, der vom Smartphone gelesen werden kann. Bei allen Varianten werden auf dem Smartphone Informationen zu dem dazugehörigen Exponat angezeigt. Über WLAN gelangen die Museumsinhalte auf das Smartphone. Die Museumsinhalte werden auf einem Django-Server verwaltet und können über ein Web-Frontend von den Kuratoren gepflegt werden. Das WLAN dient zusätzlich zur Positionsbestimmung der Besucher im Museum. Die gewonnene Information wird dazu verwendet um dem Besucher die Ausstellungsstücke zu präsentieren, die sich in seiner Nähe befinden. Im Museumsführer kann der Besucher zusätzlich Ausstellungsstücke als Favoriten markieren und er kann sich den Verlauf seines bisherigen Museumsaufenthaltes anzeigen lassen.

In einer Benutzerstudie im Labor wurde die Affordance der Stationen untersucht und das Gesamtsystem konnte in einem kleinen nachgebauten Museum ausprobiert werden. Die Ergebnisse sind vielversprechend. Für den produktiven Einsatz sind trotzdem noch Überarbeitungen nötig.

Ausblick

Zukünftige Aufgaben um das System für den Einsatz in einem kompletten Museum einsatzbereit zu machen gliedern sich in die Verbesserung der schon vorhandenen Funktionen und in Implementierung neuer Funktionen, um dessen Attraktivität noch zu steigern. Auf Seiten der Hardware müssen leistungsfähigere RFID-Sensoren ausgewählt werden, um eine fehlerfreie Interaktion zu ermöglichen. Bei der erforderlichen hohen Stückzahl an Stationen könnte sich zudem eine Eigenentwicklung der Stationen ohne Gadgeteer-Hardware amortisieren. Im digitalen Museumsführer sollten die Ausgabemöglichkeiten der Informationen zu den Exponaten erweitert werden, um einen nennenswerten Mehrwert zu einfachen stationären Beschreibungstafeln zu bieten. Zudem könnten bei der Skalierung auf mehrere 1000 Ausstellungsstücke und viele Besucher weitere Hürden, wie der Rechenaufwand und der beschränkte Speicherplatz, auftauchen.

Denkbare Erweiterungen wären Analysefunktionen für die Kuratoren, die über das System die Ausstellungen verbessern könnten und die Möglichkeit bereits bestehende Datenbestände

6. Zusammenfassung und Ausblick

der Museen in das System einbinden zu können. Weitere Funktionen in der App wären eine Navigationslösung auf Basis der WLAN-Ortung und die dadurch mögliche Gestaltung von unterschiedlichen Touren durch das Museum. Erweiterte Suchmöglichkeiten nach Exponaten und integrierte Spiele könnten den Museumsführer zusätzlich attraktiver machen.

Im Rahmen von MeSch soll das entwickelte System in einem der am Projekt beteiligten Museen installiert und über einen längeren Zeitraum evaluiert werden. Dabei können auch quantitative Daten zur weiteren Verbesserung gesammelt werden.

A. Anhang

A.1. Deployment

Der Museumsführer kann auf einfache Weise für den Einsatz im Museum eingerichtet werden. In diesem Kapitel wird näher darauf eingegangen was zu beachten ist, um den Museumsführer erfolgreich einzusetzen.

Um das WLAN-Fingerprinting zu aktivieren, müssen die WLAN APs, die zur Ortung verwendet werden sollen, auf dem Server über eine Checkbox autorisiert werden. Nicht autorisierte WLAN-Funknetze werden bei der Ortung ignoriert. Die Daten zu den WLAN APs werden vom Smartphone auf den Server gesendet, wenn der NFC-Tag eines Ausstellungsstückes gescannt wird oder wenn bei Ausstellungsstücken mit RFID-Reader das Armband gelesen wird. Alternativ können die Daten auch manuell über das Frontend des Servers eingefügt werden.

Für jedes Exponat und jeden Raum muss auf dem Server ein Bild hinterlegt sein, dass sie auf dem Smartphone angezeigt werden. Über die Anpassung der SQL Anfragen kann das Verhalten modifiziert werden, dass auch Objekte, die beispielsweise keinen Beschreibungstext oder Bild haben, angezeigt werden.

Um den Android Museumsführer über das Lesen eines RFID-Armbandes zu informieren wird Google Cloud Messaging (GCM) verwendet. GCM ist ein kostenloser Dienst von Google und kann in einem bestehenden Google Account in der Google API Console¹ aktiviert werden. Der API Key muss im Django Server in settings.py und die Projektnummer muss in der App in Gcm.java eingefügt werden. Während der Entwicklung und der Benutzerstudie funktionierte GCM zeitweise nicht. Daher sollte unter Umständen eine der unter 4.1.6 beschriebenen Alternativen umgesetzt werden.

Zum Formatierung der NFC-Tags, falls diese in einem unformatierten Zustand geliefert werden, hat sich die App StartNFC Expert² bewährt. Mit der App NFC TagWriter³ von NXP kann anschließend eine ID als einfacher Text auf die NFC-Tags geschrieben werden.

¹<https://code.google.com/apis/console>, <http://developer.android.com/google/gcm/gs.html>

²<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.startnfc.expert&hl=de>

³<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.nxp.nfc.tagwriter&hl=de>

Artikel	Preis
Smartphone mit NFC	ab 70€
FEZ Spider Gadgeteer Starter Kit	215€
FEZ Spider Gadgeteer Mainboard	120€
Gadgeteer RFID Reader Modul	30€
Multicolor LED Modul (DaisyLink)	18€

Tabelle A.1.: Preise der verwendeten Hardware. Die Preise geben eine grobe Abschätzung und können je nach bestellter Anzahl und Händler variieren. Stand August 2013

A.2. Günstige Hardwarealternativen

Die in der Diplomarbeit verwendete Hardware erfordert vom Museum eine nicht unerhebliche finanzielle Investition. Insbesondere die Gadgeteer-Prototypen, die an jedem Ausstellungsstück angebracht werden, sind bei einer hohen Stückzahl kostspielig. Tabelle A.1 gibt einen Überblick, was die einzelnen Komponenten kosten.

Es gibt mehrere Stellen im System an denen gespart werden kann, ohne die Funktionalität zu sehr einzuschränken. Werden ergänzend oder statt den NFC-Tags QR-Codes verwendet können eine größere Anzahl an Smartphones für das System verwendet werden, da nahezu jedes Smartphone eine Kamera hat, eingebaute NFC-Reader aber noch nicht so weit verbreitet sind. Wenn die Besucher ihr eigenes Smartphone verwenden sinkt dadurch die Anzahl der nötigen Leihgeräte im Museum.

Der Gadgeteer-Prototyp mit NFC kann besonders einfach ersetzt werden, da der passive NFC-Tag nicht direkt mit dem Prototyp verbunden ist. Die Funktionalität des Prototyps beschränkt sich darauf über das Netzwerk mit WLAN oder LAN die Farbwahl des Besuchers entgegen zu nehmen und die LEDs in der entsprechenden Farbe aufleuchten zu lassen. Eine Alternative wäre beispielsweise die Hue LED-Lampen von Philips⁴. In Kombination mit programmierbaren LED-Lichterketten, die für die Raumregistrierung benötigt werden, kann auch ein Raspberry Pi⁵ oder ein Arduino Uno⁶ als Server verwendet werden.

Der Prototyp mit RFID-Armband und Gadgeteer-RFID-Reader kann auch durch eine Lösung mit QR-Code oder Barcode ersetzt werden. Das macht die Armbänder nochmals günstiger, da reine Papierarmbänder möglich sind. Ein QR-Code-Reader kann mit einer IP Webcam und der Analyse des Bildes auf dem Server realisiert werden. Während der Entwicklung kann auch ein Smartphone die QR-Codes analysieren. Für die Farbwiedergabe ist weiterhin ein zusätzliches System nötig. Möchte man RFID beibehalten können mit der passenden Erweiterung auch Lesegeräte mit dem Raspberry Pi oder dem Arduino gebaut werden. Statt

⁴<https://www.meethue.com/de-DE>

⁵www.raspberrypi.org

⁶<http://arduino.cc/de/Main/ArduinoBoardUno>

Artikel	Preis
Raspberry Pi	36€
Arduino UNO R3	23€
RFID Erweiterung	15€
RGB LED Strang (25 LEDs)	44€
WLAN IP Webcam	ab 38€
Hue LED-Lampen (3 Stück)	200€

Tabelle A.2.: Preise alternativer Hardware. Die Preise geben eine grobe Abschätzung und können je nach bestellter Anzahl und Händler variieren. Stand August 2013

RFID kann in gleicher Weise NFC verwendet werden. Entsprechende Erweiterungen sind ebenfalls erhältlich. In der Tabelle A.2 sind ungefähre Preise für die alternative Hardware aufgeführt.

A.3. Benutzerstudie

A.3.1. Einverständniserklärung für die Studie

Einverständniserklärung zur Studie „Museumsführer“

Name: _____

Vorname: _____

Mir wurde der Zweck der Studie erläutert und ich wurde darüber informiert, dass ich die Studie jederzeit abbrechen kann.
Ich wurde des Weiteren darüber in Kenntnis gesetzt, dass die während der Studie gesammelten Video- und Audiodaten zur Auswertung der Studie herangezogen werden. Sämtliche Daten werden für die wissenschaftliche Nutzung gesammelt und hierbei vertraulich behandelt.

Der Verwendung von Bildmaterial mit meiner Person in Präsentationen, Ausarbeitungen und Veröffentlichungen (auch online)

stimme ich zu.
 stimme ich nicht zu.

Stuttgart, den

Unterschrift:

A.3.2. Kurze Einführung zum Beginn der Studie

Der Text wird nicht vorgelesen sondern dessen Inhalt wird im Gespräch frei übermittelt: Herzlich Willkommen zur Studie. In der Studie wird ein digitaler Museumsführer bewertet, ob er intuitiv bedienbar ist und wie gut er für den Museumseinsatz geeignet ist. Zu Beginn sind ein paar Formalien zu erledigen, dann kann es losgehen.

A.3.3. Einführung für die Affordance-Analyse

Der Text wird nicht vorgelesen sondern dessen Inhalt wird im Gespräch frei übermittelt: Am Eingang des Museums erhalten Sie ein Smartphone, auf dem der Museumsführer installiert ist und ein Armband. Der Museumsführer kann Informationen zu den Ausstellungsstücken anzeigen. Sie werden angezeigt, wenn das Ausstellungsstück auf dem Smartphone ausgewählt wird oder wenn mit einem System interagiert wird, das an jedem Ausstellungsstück installiert ist. Im ersten Teil der Studie wollen wir herausfinden, ob es den Besuchern intuitiv klar ist, wie sie die Systeme zu benutzen haben. Dazu zeige ich Ihnen drei unterschiedliche Ausführungen und Sie dürfen einfach mit diesen interagieren, beziehungsweise sagen wie Sie mit diesen interagieren würden. Die vorgestellten Systeme sind in diesem Teil der Studie ohne Funktionalität. Das funktionierende System können Sie im Anschluss in einem kleinen aufgebauten Museums ausprobieren. Für die Auswertung mache ich nebenbei ein paar Notizen.

A.3.4. Fragebogen

Benutzerstudie zur Bewertung eines digitalen Museumsführers



(September 2013)

Fragebogen

Teilnehmer #: _____

Geschlecht: weiblich männlich

Alter: _____

Ausbildung / Berufsstand: _____

Linkshänder Rechtshänder

Ich bin mit diesen Smartphone-Systemen vertraut:

- Android
- iOS (iPhone)
- Windows Phone
- BlackBerry
- Andere: _____
- Ich habe bisher kein Smartphone benutzt

Würden Sie einen Museumsführer auf ihrem Smartphone installieren?

- Ja
- Nein
- Vielleicht

Begründung:

Benutzerstudie zur Bewertung eines digitalen Museumsführers



(September 2013)

A. Prototypen

1. Die Interaktion mit der Ausstellung (über die Prototypen) ist mir wichtig

Stimme gar nicht zu	stimme nicht zu	unentschieden	stimme zu	stimme voll und ganz zu
<input type="checkbox"/>				

2. Ich kann mir dieses System sehr gut in einem Museum vorstellen

Stimme gar nicht zu	stimme nicht zu	unentschieden	stimme zu	stimme voll und ganz zu
<input type="checkbox"/>				

3. Was fanden Sie gut/schlecht? Haben Sie Verbesserungsvorschläge?

Hand-Prototyp

Finger-Prototyp

Smartphone-Prototyp

Benutzerstudie zur Bewertung eines digitalen Museumsführers



(September 2013)

B. Museumsführer auf dem Smartphone

1. Die Auswahlmöglichkeit eines Ausstellungsstückes über den Touchscreen ist mir wichtig

Stimme gar nicht zu	stimme nicht zu	unentschieden	stimme zu	stimme voll und ganz zu
<input type="checkbox"/>				

2. Was fanden Sie gut/schlecht? Haben Sie Verbesserungsvorschläge?

A.3.5. SUS Fragebogen

Interaktiver Museumsführer



(September 2013)

System Usability Scale (SUS)

Teilnehmer #: _____

1. Ich könnte mir vorstellen, das System häufig einzusetzen.

Stimme gar nicht zu	stimme nicht zu	unent- schieden	stimme zu	stimme voll und ganz zu
<input type="checkbox"/>				

2. Ich habe das System als unnötig kompliziert empfunden.

Stimme gar nicht zu	stimme nicht zu	unent- schieden	stimme zu	stimme voll und ganz zu
<input type="checkbox"/>				

3. Ich empfand die Bedienung des Systems als einfach.

Stimme gar nicht zu	stimme nicht zu	unent- schieden	stimme zu	stimme voll und ganz zu
<input type="checkbox"/>				

4. Ich denke, dass ich die Hilfe einer technisch versierten Person benötigen würde, um das System zu nutzen.

Stimme gar nicht zu	stimme nicht zu	unent- schieden	stimme zu	stimme voll und ganz zu
<input type="checkbox"/>				

5. Ich fand, dass die verschiedenen Systemfunktionen gut integriert waren.

Stimme gar nicht zu	stimme nicht zu	unent- schieden	stimme zu	stimme voll und ganz zu
<input type="checkbox"/>				

Interaktiver Museumsführer



(September 2013)

6. Ich fand es gab zu viele Inkonsistenzen in dem System.

Stimme gar nicht zu	stimme nicht zu	unent- schieden	stimme zu	stimme voll und ganz zu
<input type="checkbox"/>				

7. Ich kann mir vorstellen, dass die meisten Leute dieses System sehr schnell erlernen können.

Stimme gar nicht zu	stimme nicht zu	unent- schieden	stimme zu	stimme voll und ganz zu
<input type="checkbox"/>				

8. Ich empfand die Nutzung des Systems als sehr umständlich.

Stimme gar nicht zu	stimme nicht zu	unent- schieden	stimme zu	stimme voll und ganz zu
<input type="checkbox"/>				

9. Bei der Nutzung des Systems war ich sehr zuversichtlich.

Stimme gar nicht zu	stimme nicht zu	unent- schieden	stimme zu	stimme voll und ganz zu
<input type="checkbox"/>				

10. Ich musste eine Menge lernen, bevor ich das System nutzen konnte.

Stimme gar nicht zu	stimme nicht zu	unent- schieden	stimme zu	stimme voll und ganz zu
<input type="checkbox"/>				

A.3.6. Fragen des semistrukturierten Interviews

- Was hat dir besonders gut an dem Gesamtsystem gefallen?
- Wo siehst du Probleme oder Raum für Verbesserungen bei der Benutzung des Systems?
- Wäre es für dich denkbar, dass das System in vielen unterschiedlichen Museen eingesetzt wird? Würdest du gerne ein einheitliches System haben?
- Hätten Sie Sicherheitsbedenken weil der Museumsführer weiß, wo Sie sich gerade im Museum befinden?
- Würdest du gerne eine Zusammenfassung des Museumsbesuches mit nach Hause nehmen? (Angeschauter Ausstellungsstücke, Fotos,...) Webseite oder Papiausdruck?

A.4. Screenshots der Museums App

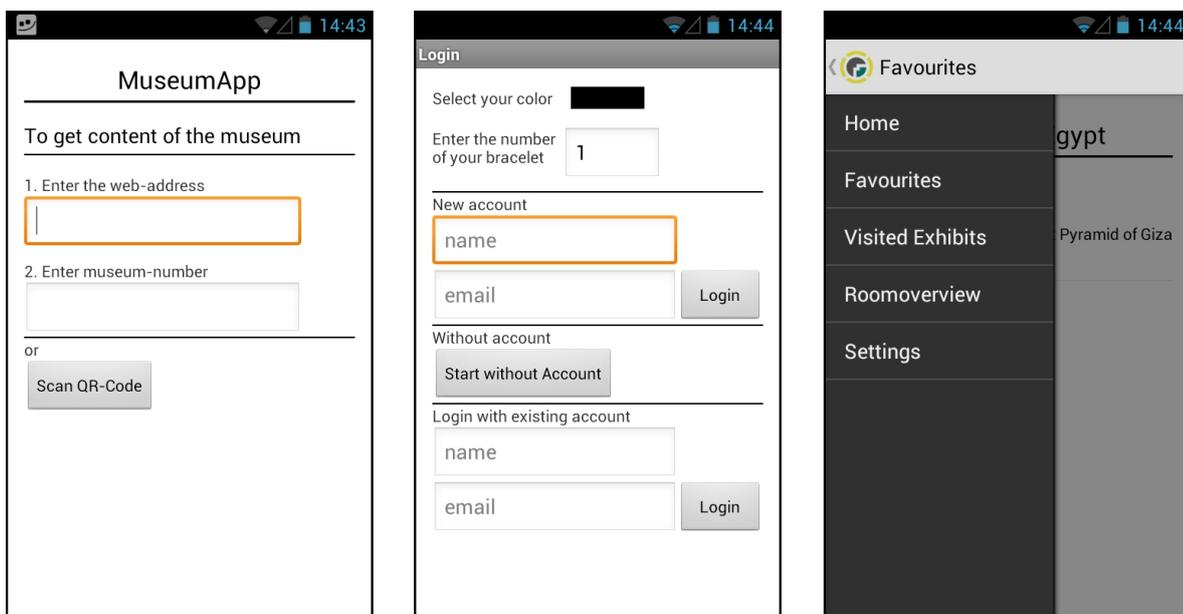


Abbildung A.1.: Links: Web-Adresse des Museumsservers über QR-Code oder Texteingabe laden, Mitte: Besucher Login, Rechts: Seitliches Menü.

A. Anhang

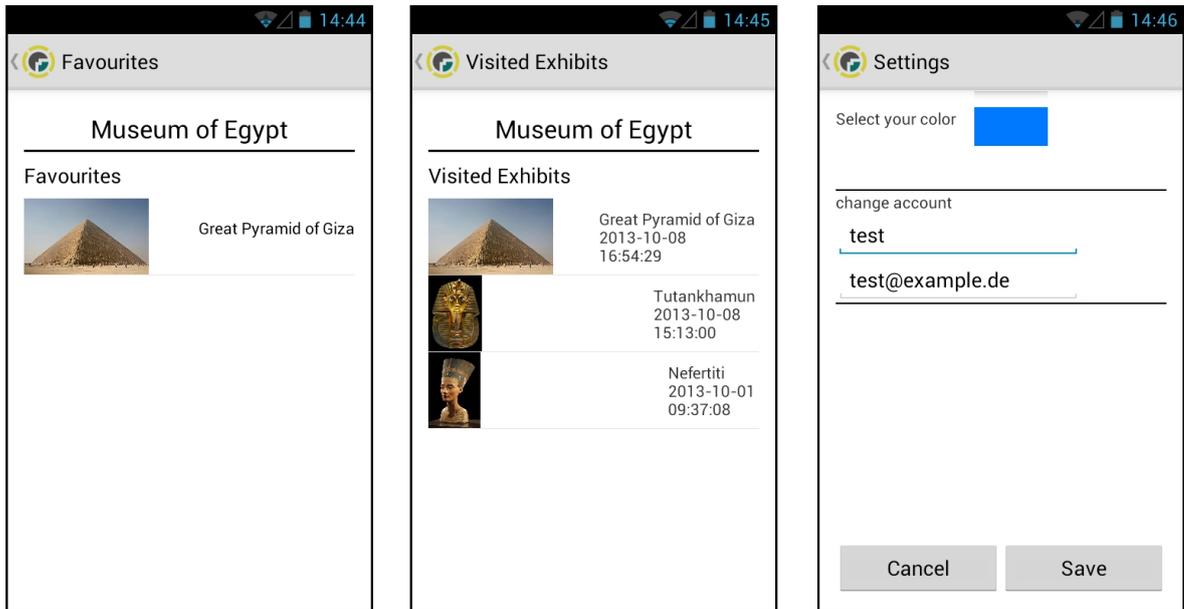


Abbildung A.2.: Links: Favouriten des Besuchers, Mitte: Bisher gesehene Ausstellungsstücke, Rechts: Einstellungen.

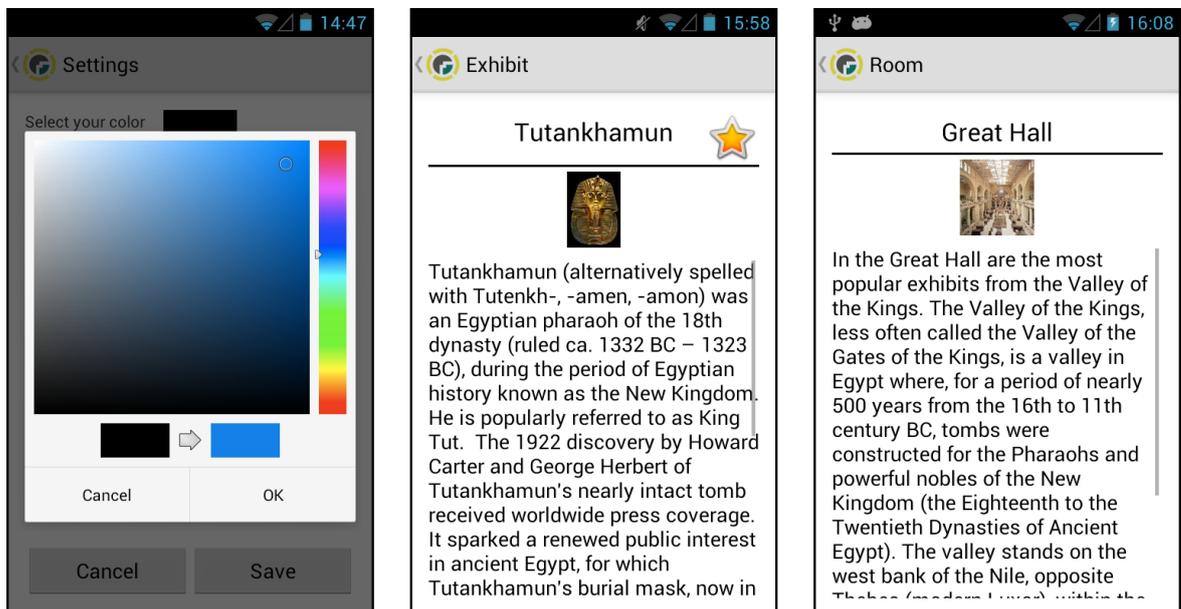


Abbildung A.3.: Links: Farbauswahl, Mitte: Ausstellungsstück, Rechts: Raumsansicht.

Literaturverzeichnis

- [ABC⁺03] G. Anastasi, R. Bandelloni, M. Conti, F. Delmastro, E. Gregori, G. Mainetto. Experimenting an indoor bluetooth-based positioning service. *Distributed Computing Systems Workshops, 2003. Proceedings. 23rd International Conference on*, S. 480 – 483, 2003. doi:10.1109/ICDCSW.2003.1203598. (Zitiert auf Seite 29)
- [Ahl11] A. Ahlfeldt. eGuides in kulturellen Einrichtungen: Deutschsprachige Museums-Apps. 2011. (Zitiert auf Seite 14)
- [ANP⁺05] I. Alfaro, M. Nardon, F. Pianesi, O. Stock, M. Zancanaro. Using Cinematic Techniques on Mobile Devices for Cultural Tourism. *Information Technology Tourism*, 7(2):61–71, 2005. doi:10.3727/1098305054517309. (Zitiert auf Seite 21)
- [BCR⁺10] S. Büttner, H. Cramer, M. Rost, N. Belloni, L. E. Holmquist. Phi Square : Exploring physical Check-Ins for Location-Based Services. S. 1–2, 2010. (Zitiert auf Seite 21)
- [BDF⁺09] M. Blöckner, S. Danti, J. Forrai, G. Broll, A. D. Luca. Please Touch the Exhibits ! Using NFC-based Interaction for Exploring a Museum. S. 8–9, 2009. (Zitiert auf Seite 18)
- [Bie05] T. Bielawa. Position location of remote bluetooth devices. 2005. URL <http://scholar.lib.vt.edu/theses/available/etd-07112005-222918/>. (Zitiert auf Seite 28)
- [BKM09] A. Bangor, P. Kortum, J. Miller. Determining what individual SUS scores mean: Adding an adjective rating scale. *Journal of usability studies*, (May):114–123, 2009. URL http://66.39.39.113/upa_publications/jus/2009may/JUS_Bangor_May2009.pdf. (Zitiert auf Seite 62)
- [BPoo] P. Bahl, V. N. Padmanabhan. RADAR: an in-building RF-based user location and tracking system. In *INFOCOM 2000. Nineteenth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. Proceedings. IEEE*, Band 2, S. 775–784 vol.2. 2000. doi:10.1109/INFCOM.2000.832252. (Zitiert auf Seite 27)
- [BPBoo] P. Bahl, V. Padmanabhan, A. Balachandran. Enhancements to the RADAR user location and tracking system. *Microsoft Research*, 2(MSR-TR-2000-12):775–784, 2000. (Zitiert auf Seite 27)
- [Bro96] J. Brooke. SUS-A quick and dirty usability scale. *Usability evaluation in industry*, 1996. (Zitiert auf den Seiten 56 und 57)

- [BRW] J. Barnes, C. Rizos, J. Wang. Locata : the positioning technology of the future ? 49:1–14. (Zitiert auf Seite 26)
- [BS12] B. S. B. Bittins, P. J. Sieck. Multimodal and Collaborative Localisation Service for Diverse Environments. *Wireless Systems (IDAACS-SWS), 2012 IEEE 1st International Symposium on*, (September):28–33, 2012. doi:10.1109/IDAACS-SWS.2012.6377625. (Zitiert auf den Seiten 19 und 21)
- [CNH⁺07] G. Chavira, S. W. Nava, R. Hervas, J. Bravo, C. Sanchez, J. Bravojose. Combining RFID and NFC Technologies in an AmI Conference Scenario. *Eighth Mexican International Conference on Current Trends in Computer Science (ENC 2007)*, S. 165–172, 2007. doi:10.1109/ENC.2007.30. URL <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=4351439>. (Zitiert auf den Seiten 22, 23, 29 und 30)
- [CWH⁺04] L.-d. Chou, C.-h. Wu, S.-p. Ho, C.-c. Lee, J.-m. Chen. Requirement analysis and implementation of palm-based multimedia museum guide systems. *18th International Conference on Advanced Information Networking and Applications, 2004. AINA 2004.*, 1:352–357, 2004. doi:10.1109/AINA.2004.1283936. URL <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=1283936>. (Zitiert auf den Seiten 14 und 21)
- [Fin12] K. Finkenzeller. *RFID-Handbuch: Grundlagen und praktische Anwendungen von Transpondern, kontaktlosen Chipkarten und NFC*. Hanser Fachbuchverlag, 2012. URL <http://books.google.de/books?id=QI1WtQAACAAJ>. (Zitiert auf Seite 29)
- [HBW00] J. Hightower, G. Borriello, R. Want. SpotON: An indoor 3D location sensing technology based on RF signal strength. *UW CSE 00-02-02, University of . . .*, 2000. URL <ftp://128.95.1.178/tr/2000/02/UW-CSE-00-02-02.pdf>. (Zitiert auf Seite 29)
- [HFT05] S. Hsi, H. Fait, A. T. The. RFID ENHANCES VISITORS ' MUSEUM E XPERIENCE AT THE EXPLORATORIUM. *Commun. ACM*, 48(September 2005):60–65, 2005. doi:10.1145/1081992.1082021. URL <http://doi.acm.org/10.1145/1081992.1082021>. (Zitiert auf den Seiten 17 und 22)
- [HN12] E. Hornecker, E. Nicol. What do lab-based user studies tell us about in-the-wild behavior?: insights from a study of museum interactives. *Proceedings of the Designing Interactive Systems . . .*, 2012. URL <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2318010>. (Zitiert auf Seite 62)
- [HR05] A. Huang, L. Rudolph. A privacy conscious bluetooth infrastructure for location aware computing. 2005. URL <http://dspace.mit.edu/handle/1721.1/7431>. (Zitiert auf Seite 29)
- [HRHW10] R. Hardy, E. Rukzio, P. Holleis, M. Wagner. Mobile interaction with static and dynamic NFC-based displays. *Proceedings of the 12th international conference on Human computer interaction with mobile devices and services - MobileHCI '10*, S. 123,

2010. doi:10.1145/1851600.1851623. URL <http://portal.acm.org/citation.cfm?doid=1851600.1851623>. (Zitiert auf den Seiten 17, 18 und 23)
- [HS04] S. Hsi, R. Semper. eXspot : A Wireless RFID Transceiver for Recording and Extending Museum Visits. *Proceedings of Ubi-Comp*, S. 2–3, 2004. (Zitiert auf Seite 22)
- [HS06] E. Hornecker, M. Stifter. Learning from interactive museum installations about interaction design for public settings. *Proceedings of the 20th conference of the computerhuman interaction special interest group CHISIG of Australia on Computerhuman interaction design activities artefacts and environments OZCHI 06*, S. 135, 2006. URL <http://portal.acm.org/citation.cfm?doid=1228175.1228201>. (Zitiert auf Seite 16)
- [HSFB08] M. Herzog, J. Sieck, I. Forschungsgruppe, H. Berlin. RFID im Museum: Das POSEIDON-Projekt. *inka.htw-berlin.de*, 2008. URL http://inka.htw-berlin.de/poseidon/material/2009_WCI2008_Band_POSEIDON_Herzog.pdf. (Zitiert auf Seite 30)
- [HWS11] Y. Huang, S. Wang, F. Sandnes. Rfid-based guide gives museum visitors more freedom. *IT Professional*, S. 25–29, 2011. URL http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=5735592. (Zitiert auf Seite 22)
- [IU97] H. Ishii, B. Ullmer. Tangible Bits : Towards Seamless Interfaces between People , Bits and Atoms. (March):234–241, 1997. (Zitiert auf Seite 18)
- [JPS12] T. A. Johnson, M. Pleasant, P. Seeling. Localization Using Bluetooth Device Names Categories and Subject Descriptors. *Proceedings of the thirteenth ACM international symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing*, S. 247–248, 2012. doi:10.1145/2248371.2248408. URL <http://doi.acm.org/10.1145/2248371.2248408>. (Zitiert auf Seite 29)
- [KBZ83] T. Kuflik, Z. Boger, M. Zancanaro. Analysis and Prediction of Museum Visitors ' Behavioral Pattern Types. S. 1–16, 1983. (Zitiert auf Seite 13)
- [KRW09] A. Kuusik, S. Roche, F. Weis. SMARTMUSEUM: Cultural Content Recommendation System for Mobile Users. *2009 Fourth International Conference on Computer Sciences and Convergence Information Technology*, (1):477–482, 2009. doi:10.1109/ICCIT.2009.257. URL <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=5367887>. (Zitiert auf Seite 23)
- [LD07] H. Liu, H. Darabi. Survey of wireless indoor positioning techniques and systems. *Systems, Man, and ...*, 37(6):1067–1080, 2007. URL http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=4343996. (Zitiert auf den Seiten 23, 24, 26 und 27)
- [Men05] M. Menz. RFID-basierte Positionsbestimmung. *Informatik, Humboldt Universität*, S. 1–32, 2005. URL http://www.informatik.hu-berlin.de/rok/SuD/Studienarbeit_Menz.pdf. (Zitiert auf den Seiten 25 und 27)

- [NLLP04] L. Ni, Y. Liu, Y. Lau, A. Patil. LANDMARC: indoor location sensing using active RFID. *Wireless networks*, S. 701–710, 2004. URL <http://link.springer.com/article/10.1023/B:WINE.0000044029.06344.dd>. (Zitiert auf den Seiten 22, 25 und 30)
- [Nor02] D. A. Norman. *The design of everyday things*. Basic books, 2002. (Zitiert auf Seite 16)
- [NST05] L. Naismith, M. Sharples, J. Ting. Evaluation of CAERUS: a context aware mobile guide. *Proceedings of mLearn 2005-Mobile technology: The future of learning in your hands*, (Figure 1), 2005. URL <http://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00190142/>. (Zitiert auf den Seiten 25 und 26)
- [RTP⁺08] W. Rudametkin, L. Touseau, M. Perisanidi, A. Gómez, D. Donsez. NFCMuseum : an Open-Source Middleware for Augmenting Museum Exhibits. *International Conference on Pervasive Services (ICPS'08)*, S. 1–2, 2008. (Zitiert auf Seite 23)
- [SB77] R. E. Shaw, J. Bransford. *Perceiving, acting, and knowing*. Lawrence Erlbaum Associates, 1977. (Zitiert auf Seite 15)
- [TCL08] C.-Y. Tsai, S.-y. Chou, S.-w. Lin. Location-aware tour guide systems in museums. In *Collaborative Product and Service Life Cycle Management for a Sustainable World*, Band 5, S. 349–356. Springer, 2008. (Zitiert auf den Seiten 27 und 28)
- [TGLP08] R. Tesoriero, J. a. Gallud, M. Lozano, V. M. R. Penichet. A Location-Aware System Using RFID and Mobile Devices for Art Museums. *Fourth International Conference on Autonomic and Autonomous Systems (ICAS'08)*, S. 76–81, 2008. doi:10.1109/ICAS.2008.38. URL <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=4488325>. (Zitiert auf den Seiten 21, 22 und 30)
- [VL89] E. Verón, M. Lévassieur. *Ethnographie de l'exposition: l'espace, le corps et le sens*. Centre Georges Pompidou, Bibliothèque publique d'information, 1989. (Zitiert auf Seite 13)
- [VSH⁺12] N. Villar, J. Scott, S. Hodges, K. Hammil, C. Miller. . NET gadgeteer: a platform for custom devices. *Pervasive Computing*, S. 216–233, 2012. URL http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-31205-2_14. (Zitiert auf den Seiten 49 und 50)
- [WCRH10] F. Weis, P. Couderc, S. Roche, M. T. Ho. Design of a Smart Information Diffusion Service for Museums Using RFID-Based Location System. *2010 International Conference on Computational Intelligence and Software Engineering*, S. 1–4, 2010. doi:10.1109/WICOM.2010.5601055. URL <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=5601055>. (Zitiert auf Seite 23)
- [WHFaG92] R. O. Y. Want, A. Hopper, V. Falcão, J. Gibbons. The active badge location system. *ACM Transactions on Information Systems*, 10(1):91–102, 1992. URL <http://portal.acm.org/citation.cfm?doid=128756.128759>. (Zitiert auf Seite 21)

- [WHM⁺09] R. Wakkary, M. Hatala, K. Muise, K. Tanenbaum, G. Corness, B. Mohabbati, J. Budd, E. Carr. Kurio : A Museum Guide for Families. *Proceedings of the 3rd International Conference on Tangible and Embedded Interaction*, S. 215–222, 2009. doi:10.1145/1517664.1517712. URL <http://doi.acm.org/10.1145/1517664.1517712>. (Zitiert auf den Seiten 19 und 31)
- [WYLo7] Y. Wang, C. Yang, S. Liu. A RFID & handheld device-based museum guide system. *...and Applications, 2007. ...*, 2007. URL http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=4365459. (Zitiert auf Seite 22)
- [YA03] M. A. Youssef, A. Agrawala. On the Optimality of WLAN Location Determination Systems University of Maryland. 2003. (Zitiert auf Seite 27)
- [YA05] M. Youssef, A. Agrawala. The Horus WLAN location determination system. In *Proceedings of the 3rd international conference on Mobile systems, applications, and services, MobiSys '05*, S. 205–218. ACM, New York, NY, USA, 2005. doi:10.1145/1067170.1067193. URL <http://doi.acm.org/10.1145/1067170.1067193>. (Zitiert auf Seite 27)

Alle URLs wurden zuletzt am 19. 11. 2013 geprüft.

Erklärung

Ich versichere, diese Arbeit selbstständig verfasst zu haben. Ich habe keine anderen als die angegebenen Quellen benutzt und alle wörtlich oder sinngemäß aus anderen Werken übernommene Aussagen als solche gekennzeichnet. Weder diese Arbeit noch wesentliche Teile daraus waren bisher Gegenstand eines anderen Prüfungsverfahrens. Ich habe diese Arbeit bisher weder teilweise noch vollständig veröffentlicht. Das elektronische Exemplar stimmt mit allen eingereichten Exemplaren überein.

Ort, Datum, Unterschrift