

Indoor Navigation and Proximity Interaction for Museums

Ein Ansatz mit Beacons zur mobilen Innenraumlokalisierung und
Interaktion mit Exponaten

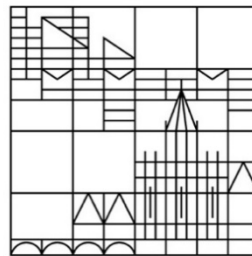
Bachelorarbeit

vorgelegt von

Erik Traise

an der

Universität
Konstanz



Fachbereich: Informatik und Informationswissenschaft
AG Mensch-Computer-Interaktion

Studiengang: Information Engineering

Erstgutachter: Prof. Dr. Harald Reiterer

Zweitgutachter: Prof. Dr. Oliver Deussen

Konstanz, 2019

Copyright © 2019 Erik Traise

AG Mensch-Computer-Interaktion, Universität Konstanz

hci.uni-konstanz.de

Gedruckt im März 2019

Inhaltsverzeichnis

<u>ABBILDUNGSVERZEICHNIS</u>	<u>VI</u>
------------------------------	-----------

<u>ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS</u>	<u>VIII</u>
------------------------------	-------------

<u>QUELLCODEVERZEICHNIS</u>	<u>IX</u>
-----------------------------	-----------

<u>1</u>	<u>EINLEITUNG</u>	<u>1</u>
----------	-------------------	----------

1.1	MOTIVATION	1
-----	------------	---

1.2	FOKUS DER ARBEIT	2
-----	------------------	---

1.3	AUFBAU DER ARBEIT	3
-----	-------------------	---

<u>2</u>	<u>VERWANDTE ARBEITEN</u>	<u>4</u>
----------	---------------------------	----------

2.1	DIE BAYERISCHE STAATSBIBLIOTHEK	4
-----	---------------------------------	---

2.2	DAS RUBENSHAUS IN ANTWERPEN	6
-----	-----------------------------	---

2.3	FAZIT	7
-----	-------	---

<u>3</u>	<u>TECHNISCHE UMSETZUNG</u>	<u>8</u>
----------	-----------------------------	----------

3.1	STATE-OF-THE-ART-ANALYSE	8
-----	--------------------------	---

3.2	LOKALISIERUNGSMETHODEN	10
-----	------------------------	----

3.2.1	TRILATERATION UND TRIANGULATION	10
-------	---------------------------------	----

3.2.2	FINGERPRINT	10
-------	-------------	----

3.3	FAZIT UND AUSWAHL	11
-----	-------------------	----

3.4	IMPLEMENTIERUNG	13
-----	-----------------	----

3.4.1	ALGORITHMEN	14
-------	-------------	----

3.4.2	FINGERPRINT	17
-------	-------------	----

3.4.3	MACHINE-LEARNING	19
-------	------------------	----

3.4.4	ERFAHRUNG	20
4	<u>INTERAKTIONSKONZEPTE</u>	22
4.1	INTRO: PROXEMIK UND UBIQUITÄRES-COMPUTING	22
4.2	EIGENENTWICKELTE KONZEPTE	23
4.2.1	PROXIMITY-CIRCLE	23
4.2.2	PROXIMITY-WALL	24
4.2.3	PROXIMITY-COMBINATION	25
4.2.4	PROXIMITY-LOCATION	26
5	<u>PROTOTYP-IMUSEUM</u>	27
5.1	EINFÜHRUNG	28
5.2	TAB-ANSICHTEN	29
5.3	EXPONAT-ANSICHT	30
5.4	QUIZ-ANSICHT	31
5.5	CONTENT MANAGEMENT SYSTEM	32
5.6	IMPLEMENTIERUNG	34
6	<u>MACHBARKEITSSTUDIE</u>	37
6.1	VORBEREITUNG UND AUFBAU	37
6.2	DURCHFÜHRUNG	39
6.2.1	INDIVIDUELLE EXPERTEN-EVALUATION	39
6.2.2	FOKUSGRUPPE	41
6.3	FORSCHUNGSERGEBNISSE	42
6.3.1	BEOBACHTUNG	42
6.3.2	FRAGEBÖGEN	47
6.3.3	FOKUSGRUPPE	50

6.4	DISKUSSION UND EINSCHRÄNKUNGEN	53
7	ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK	56
	LITERATURVERZEICHNIS	58
	INHALTSVERZEICHNIS DER ANHÄNGE	61

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Aufbau der Bachelorarbeit	3
Abb. 2: BSB-Navigationsansicht	5
Abb. 3: BSB-Startansicht.....	5
Abb. 4: Rubenshaus-App mit X-Ray-Darstellung der Exponate.....	6
Abb. 5: Trilateration	10
Abb. 6: Fingerprint	10
Abb. 7: Proximity Beacons (links), UWB Beacons (rechts).....	12
Abb. 8: Darstellung von iBeacon-Paketen im Xcode Terminal	14
Abb. 9: Unterteilung der Blickrichtungen mit dem Kompass.....	16
Abb. 10: ML-Fingerprint Anwendung.....	17
Abb. 11: Überblick aller Konzepte	23
Abb. 12: Proximity-Circle mit drei Distanzzonen	23
Abb. 13: Proximity-Wall mit eigenen Distanzzonen.....	24
Abb. 14: Proximity-Combination mit zwei Exponaten.....	25
Abb. 15: Proximity-Location für große Exponate.....	26
Abb. 16: iMuseum-Startansicht.....	27
Abb. 17: iMuseum – Einführung in die Interaktionskonzepte	28
Abb. 18: Haupt Tab-Ansichten	29
Abb. 19: Exponat-Ansicht mit Distanzzonen-abhängigem Einschub von Content....	30
Abb. 20: Quiz-Ansicht mit Rückmeldung.....	31
Abb. 21: CMS-Ansicht mit Contentblocks	32
Abb. 22: Aufstellung des Quiz im CMS.....	33
Abb. 23: Darstellung der Distanzstufen.....	36
Abb. 24: C-D-Brücke mit den Positionen der Exponate und der Beacons	37
Abb. 25: Exponat Ausstellung (Richtung C-Gebäude).....	39
Abb. 26: Fokusgruppe der Experten.....	41

Abb. 27: SUS-Score-Bewertungsskala von Bangor et al. 2009..... 49

Abkürzungsverzeichnis

AR.....	<i>Augmented-Reality</i>
BLE.....	<i>Bluetooth Low Energy</i>
BSB.....	<i>Bayerische Staatsbibliothek</i>
CMS.....	<i>Content Management System</i>
CSV.....	<i>Comma-Separated Value</i>
GPS.....	<i>Global Positioning System</i>
IoT.....	<i>Internet of Things</i>
NFC.....	<i>Near Field Communication</i>
OLED.....	<i>Organic Light Emitting Diode</i>
RFID.....	<i>Frequency Identification</i>
RSSI.....	<i>Received Signal Strength Indication</i>
SDK.....	<i>Software Development Kit</i>
SIG.....	<i>Special Interest Group</i>
SUS.....	<i>System Usability Scale</i>
UWB.....	<i>Ultra Wideband</i>
W-LAN.....	<i>Wireless LAN</i>
WYSIWYG.....	<i>What You See Is What You Get</i>

Quellcodeverzeichnis

Codeauszug 1: Three-Strongest-Beacons	15
Codeauszug 2: Erstellung eines Machine-Learning-Modells.....	19
Codeauszug 3: Lokalisierung vom Machine-Learning	20
Codeauszug 4: Interaktion mit der Mona-Lisa	34
Codeauszug 5: Abstandsmessung zum Beacon	35

1 Einleitung

1.1 Motivation

Bei dem Besuch eines Museums stehen verschiedene Informationsmaterialien zur Verfügung. Zum einen können die Besucher die Informationen über Broschüren erhalten. Bei komplexeren Gebäuden liegt des Öfteren ein Gebäudeplan vor, der ebenfalls zeigt, wie das Kulturgut im Museum optimal besichtigt werden kann. Neben den Broschüren, gibt es den Audioguide als Museumsbegleiter, der den auditiven Sinn des Besuchers stimulieren soll. Diese Geräte werden über ein Bedienfeld benutzt, in das die Kennziffer eingegeben wird, die am Exponat platziert wurde. Nach Drücken der Tasten, ertönt eine Stimme aus dem Hörer, die dem Besucher das Signal gibt, den Audioguide ans Ohr zu halten.

Führt ein Museum ein Sortiment an solchen Geräten, so ist dies mit weiteren administrativen Arbeiten verbunden. Dazu gehören die Reinigung, Sicherstellung der Verfügbarkeit und Leihvergabe der Geräte an die Besucher. Eine nachhaltige Nutzung ist als aufwendig anzusehen, wenn neue Exponate oder gar eine ganze Ausstellung im System langfristig oder nur temporär von einem Spezialisten eingepflegt werden soll.

Durch den stetigen technischen Fortschritt werden auch mobile Endgeräte zu leistungsstärkeren und kompakteren Computern, die mit immer besser funktionierender Sensorik ausgestattet werden. Damit könnte sich das Smartphone idealerweise als moderner Museumsbegleiter zur Bereitstellung von Informationen im Taschenformat eignen. Die mitgeführte Technik der Highend-Geräte für die Zwecke eines Museumsbesuchs auszunutzen, ist dahingehend als wichtig anzusehen, weil mit diesen nicht nur das Wissen in verschiedenen medialen Formaten vermittelt werden

kann, sondern auch dem Wunsch nach Orientierung. Eine Navigation in einem umfangreich ausgestatteten Museum kann durchaus von Vorteil sein und zudem die Besichtigung der Kulturgüter optimieren.

1.2 Fokus der Arbeit

Im Rahmen dieser Arbeit werden, basierend auf den aktuellen technischen Möglichkeiten, neue Konzepte entwickelt, die dann in einer Prototyp-App umgesetzt und evaluiert werden. Das grundlegende Ziel hierbei ist es, über einen neuen Weg, das heißt über die bloße Annäherung an einem Exponat, Informationen über Kulturgüter zubekommen. Der Fokus liegt dabei auf den mobilen Endgeräten, die über eine Bluetooth Low Energy (BLE)-Schnittstelle verfügen, über die dann mit Beacons kommuniziert werden kann. Die neuen Interaktionskonzepte werden mittels einer Prototyp-Applikation realisiert. Hierfür kann der Fokus nochmals auf iOS-basierte Endgeräte wie das iPhone oder iPad von Apple gelegt werden. Eine Lösung für die Android-Welt ist im selben Umfang möglich. Für eine nachhaltige Nutzung und Verwaltung wird ein Content-Management-System (CMS) in Betrieb genommen, worüber es möglich ist das Kulturgut einzupflegen und zu verwalten, um es anschließend dem Nutzer so über den Prototyp darzustellen. Die Umsetzung der Konzepte erfolgt in der Programmiersprache Swift. Die Realisierung der Interaktionen wird mit der Abstandsabmessung bewerkstelligt, während die Indoor-Navigation über das Machine-Learning erfolgt. Hierbei wurden die Räumlichkeiten zuvor mit Hilfe eines Fingerprint-Verfahrens erfasst. Ebenfalls werden die in der Machbarkeitsstudie erlangten Erkenntnisse und der Ablauf wiedergegeben. Abschließend wird die Arbeit zusammengefasst und das Gesamtergebnis im letzten Kapitel noch einmal resümiert.

1.3 Aufbau der Arbeit

Im 2. Kapitel werden **verwandte Arbeiten** vorgestellt, die bereits eingesetzt werden und sich mit der Thematik der Innenraum-Lokalisierung und Interaktion mit Exponaten auseinandersetzen.

Im 3. Kapitel werden die **Technische Umsetzungen** zusammengefasst und die Anforderungen sowie Lösungsansätze beschrieben, die für eine Indoor-Navigation und Interaktion durch Annäherung mit Exponaten vonnöten sind.

Im 4. Kapitel werden die selbst entwickelten **Interaktionskonzepte** vorgestellt und der Ablauf der einzelnen Wechselbeziehungen beschrieben.

Im 5. Kapitel wird der **Prototyp-iMuseum** vorgestellt und ein Blick in die Implementierung der verwendeten Komponenten gewährt.

Im 6. Kapitel folgt die **Machbarkeitsstudie** mithilfe der Methode der heuristischen Evaluation von Jakob Nielsen. Neben der Vorbereitung und der Durchführung der Studie werden dort die Forschungsergebnisse, die aus der Evaluation und der Fokusgruppe hervorgegangen sind, vorgestellt. Abschließend wird über die Ergebnisse diskutiert. Das letzte Kapitel beinhaltet eine **Zusammenfassung** über die Erkenntnisse der Untersuchung sowie einen **Ausblick** auf zukünftige Forschungsvorhaben.

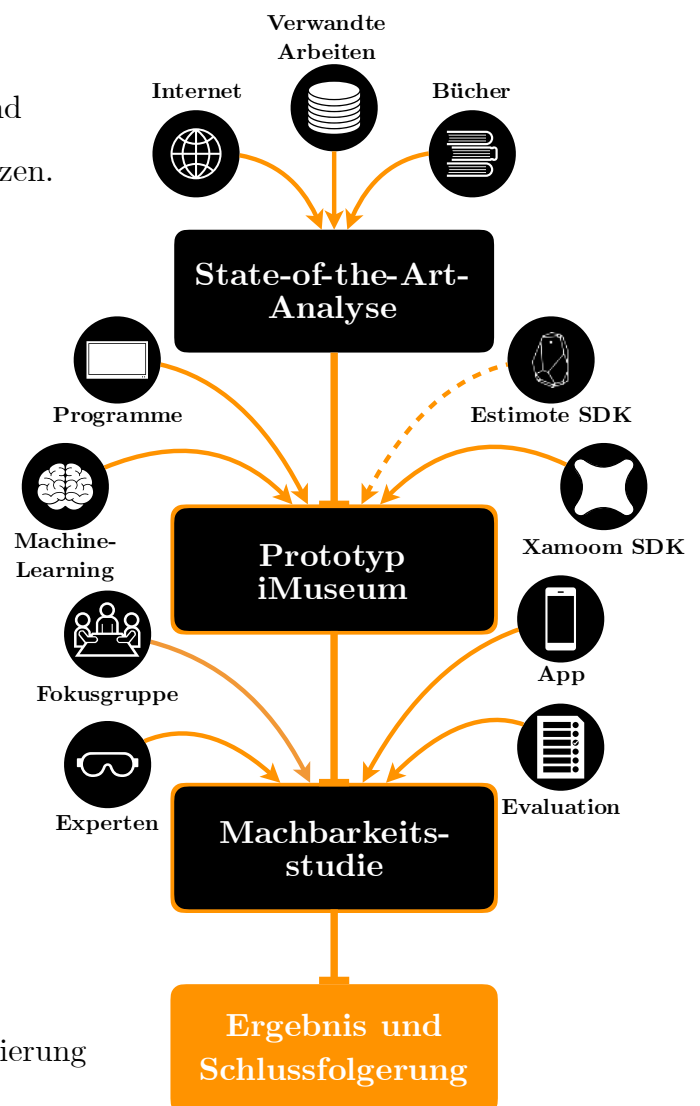


Abb. 1: Aufbau der Bachelorarbeit

2 Verwandte Arbeiten

Der Fokus des zweiten Kapitels liegt auf Arbeiten, die bereits Interaktionen und Indoor-Navigation mittels Beacons für den Endnutzer realisiert haben.

2.1 Die Bayerische Staatsbibliothek

Als eine der größten Universalbibliotheken Europas beherbergt die Bayerische Staatsbibliothek (BSB) mehr als 10 Millionen Bücher und wird jährlich von 1,5 Millionen Menschen mit ganz unterschiedlichen Bedürfnissen und Zielen besucht [1]. In einem Gastbeitrag von Dr. Klaus Ceynowa und Markus Bokowsky für die Fachzeitschrift „*Mobile Technology*“ [2] werden die Gründe für eine Indoor-Navigation für die Besucher dargelegt und welche Hürden während der Entwicklung zu bewältigen waren. Die Gründe für die Entscheidung für ein solch komplexes Projekt liegen zum einen in der hohen Besucherzahl und zum anderen im „Verlangen nach schneller Orientierung“ [3].

Mit Einführung der Beacons etablierte sich erstmals eine bezahlbare Standardlösung zu einem Bruchteil der Kosten. Die Kriterien für die Wahl eines geeigneten Herstellers waren aufgrund der Eigenschaften der Montagefähigkeiten, der äußerlichen Erscheinung, wegen der Form und Farben neben der technischen Spezifikation, wie die Möglichkeit des Austausches der Batterie, sehr wichtig. So kam es zu dem Entschluss, die Hardware von kontakt.io¹ und das Software-Development-Kit (SDK) von indoo.rs² zu verwenden. Das SDK liefert die dafür nötigen Werkzeuge und nutzt die eingebaute Sensorik des mobilen Endgeräts, um eine bessere Ortung mit dem Fingerprint-Verfahren zu bewerkstelligen. Mit der BSB-Navigator-App³ ist

¹ <https://kontakt.io/> (besucht am 02.12.18)

² <https://indoo.rs/> (besucht am 02.12.18)

³ <https://itunes.apple.com/de/app/bsb-navigator/id1082724226?mt=8> (besucht am 02.12.18)

es dem Besucher in der Bibliothek anschließend möglich, über die interaktive Kartenansicht (vgl. Abb. 2) zu seinem Ziel über mehrere Stockwerke hinweg

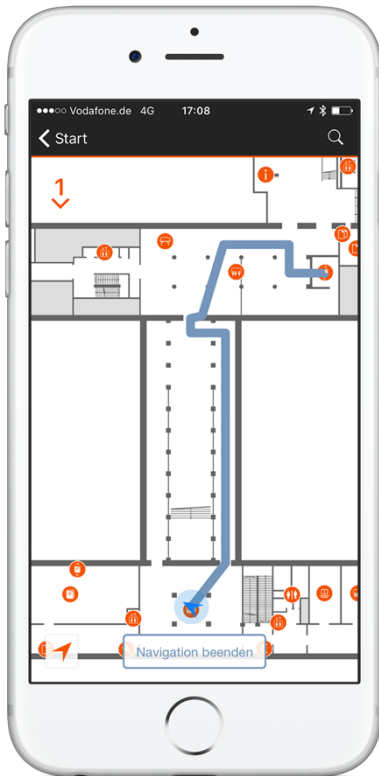


Abb. 2: BSB-Navigationsansicht

navigieren zu lassen (vgl. Abb. 3). Neben der Funktion, mittels einer Tour durch das BSB geführt zu werden, wurde ein „Discovery Modé“ implementiert, der den Nutzer während des Vorbeigehens an interessanten Objekten auf diese aufmerksam macht. Zur Verwaltung des digitalen Guts wurde das bereits bestehende CMS erweitert. Insgesamt kamen 245 Beacons im BSB zum Einsatz, die eine sorgfältige Dokumentation erforderten. Dies ist besonders nützlich, falls ein Beacon abhandenkommen sollte oder defekt wird und dieses mit den vorherigen Informationen abgeglichen werden muss. Zu den Nachteilen des verwendeten Fingerprint-Verfahrens zählt, dass dies nur dann gut funktioniert, wenn alle Signale, die zu einem Punkt im Raum aufgezeichnet wurden, auch wieder vollständig für die Auswertung empfangbar sind und das am besten mit den exakten vorherigen Positionen der Beacons. Eine genaue Aussage darüber, welche Genauigkeit erreicht wurde, konnte nicht gemacht werden. Da an Tagen derart verschiedene und kuriose Werte gemessen wurden, stand zunächst die Mondphase unter Verdacht, für diese Diskrepanz verantwortlich zu sein. Es stellte sich jedoch raus, dass die Räumlichkeiten die schlechten Messergebnisse verschuldeten.

navigieren zu lassen (vgl. Abb. 3). Neben der Funktion, mittels einer Tour durch das BSB geführt zu werden, wurde ein „Discovery Modé“ implementiert, der den Nutzer während des Vorbeigehens an interessanten Objekten auf diese aufmerksam macht. Zur Verwaltung des digitalen Guts wurde das bereits bestehende CMS erweitert. Insgesamt kamen 245 Beacons im BSB zum Einsatz, die eine sorgfältige Dokumentation erforderten. Dies ist besonders nützlich, falls ein Beacon abhandenkommen sollte oder defekt wird und dieses mit den vorherigen Informationen abgeglichen werden muss. Zu den Nachteilen des verwendeten Fingerprint-Verfahrens zählt, dass dies nur dann gut funktioniert,

wenn alle Signale, die

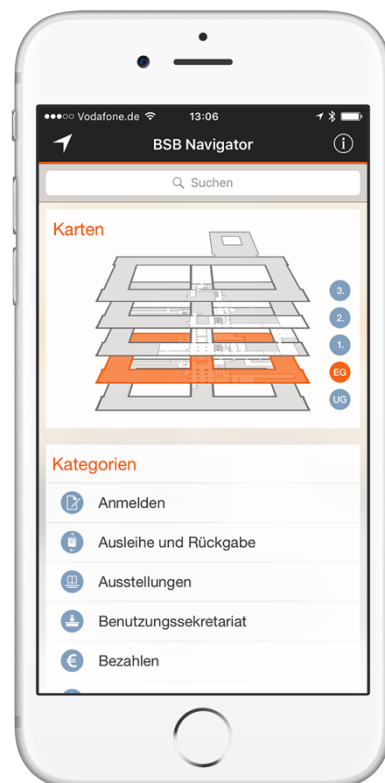


Abb. 3: BSB-Startansicht

2.2 Das Rubenshaus in Antwerpen

Das belgische Museum in der Hafenstadt Antwerpen bot als eines der ersten Museen in Europa einen Prototypen an, der Interaktionen mit Exponaten mittels Beacons erlaubt. Dem Besucher werden im Laufe des Besuchs beim Betreten von Räumlichkeiten oder beim Vorbeigehen an Exponaten Interaktionsmöglichkeiten zugespielt, die es erlauben, spielerisch mit den Informationen in der unmittelbaren

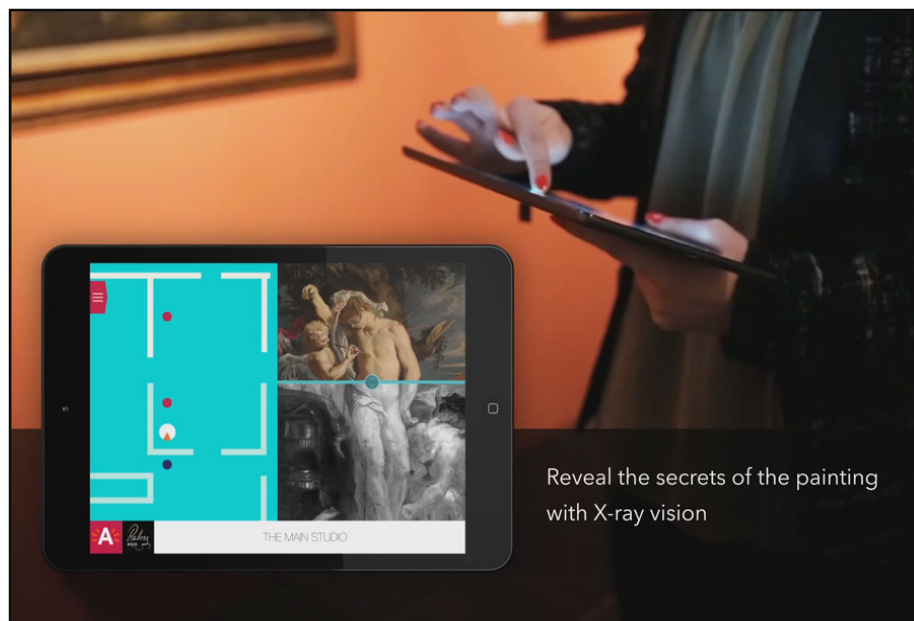


Abb. 4: Rubenshaus-App mit X-Ray-Darstellung der Exponate

Umgebung umzugehen, beispielsweise durch das Lösen von Rätseln bzw. Aufgaben. Dem Besucher wird durch einfache Wischgesten ein Einblick hinter die Kulissen der Malerei, die sonst nur mit Röntgenstrahlungen (X-Ray) sichtbar sind, gewährt (vgl. Abb. 4). Zusätzlich bietet die App des Museums mit Augmented-Reality (AR) die Möglichkeit, Gebäude aus der Sicht vor vielen vergangenen Jahrzehnte zu sehen. Dies kann durch den Einsatz von alten Bildern ermöglicht werden. Dieser Prototyp wurde jedoch nur temporär von einer IT-Firma⁴ im Rubenshaus Museum während eines Projekts implementiert. Die offizielle App des Museums beinhaltet keinerlei dieser eben beschriebenen Funktionen.

⁴ <https://prophets.be> (besucht am 13.12.2018)

2.3 Fazit

Wie in den beiden vorherigen Unterkapiteln gezeigt, gibt es schon erste Ansätze zur Realisierung von Interaktionen und Indoor-Navigation mit einem mobilen Endgerät. Die Beacons, die zur Realisierung verwendet werden, bedarf jedoch an weiterer Entwicklung und Forschung. Damit ist das Beseitigen und Umgehen von Störquellen und die Entwicklung weiterer Algorithmen gemeint. Die zuvor gezeigten Umsetzungen sind somit nur als rudimentär anzusehen.

3 Technische Umsetzung

In diesem Kapitel werden mögliche Technologien für eine Indoor-Navigation sowie für eine mögliche Interaktion vorgestellt. Nachfolgend wird die Auswahl, die im Rahmen dieser Arbeit getroffen wurde, begründet. In den darauffolgenden Abschnitten wird die Implementierung erläutert.

3.1 State-of-the-Art-Analyse

Near Field Communication

Das Near Field Communication (NFC) basiert auf der Radio Frequency Identification (RFID)-Technik, über die sich mittels elektromagnetischer Induktion, kontaktlos Daten austauschen lassen. NFC wird heute als Schnittstelle zur kontaktlosen Zahlung verwendet, bei welcher das Smartphone als Bezahlmedium an das Lesegerät hingehalten werden muss. Jedoch ist die Reichweite dieser Technologie, deren Genauigkeit im Zentimeterbereich liegt, mit unter einem Meter zu gering für eine Lokalisierung und eignet sich deshalb nicht für die Indoor-Navigation.

Ultra-Wideband

Das Ultra-Wideband (UWB) wird bereits in der Industrie zu Indoor-Navigationszwecken eingesetzt und benutzt für die Übertragung der Daten extrem große Frequenzbereiche. Außerdem kann es neben bestehenden Funktechniken störungsfrei arbeiten. Mit einer Reichweite von 150 Meter und einer Genauigkeit von unter 30 Zentimeter, eignet sich diese Technologie zwar hervorragend für die Lösung eines Indoor-Navigationssystems, zu dem auch Interaktionen gehören, jedoch ist die Installation von UWB auf der selben Fläche gegenüber Wireless-LAN (W-LAN) und

Bluetooth Low Energy (BLE) verhältnismäßig teurer und hat einen höheren Stromverbrauch. Hinzu kommt, dass UWB nicht in Consumer-Geräten verbaut ist und nur mit zusätzlicher Hardware realisiert werden kann. Damit fällt UWB als Lösung für dieses Problem weg.

Wireless-LAN

Das weitverbreitete W-LAN wird bereits flächendeckend zur Bereitstellung von drahtloser Kommunikation zwischen Geräten, auch über das Internet, verwendet und findet in jedem Smartphone Einsatz. Hinsichtlich der flächendeckenden Ausbreitung und Reichweite scheint W-LAN, mit einer Reichweite von 150 Metern, eine geeignete Lösung für die Indoor-Navigation darzustellen. Jedoch kann mit einer Genauigkeit von nur 15 Metern keine genaue Positionsbestimmung im Raum stattfinden weshalb keine Interaktionen möglich sind. Hinzu kommt, dass iOS-betriebene Systeme die W-LAN Ortung softwareseitig unterbinden.

Bluetooth Low Energy

Bluetooth wird bereits als Schnittstelle für unzählige Peripherie-Geräte eingesetzt. Mit der in Bluetooth 4.2 eingeführten Spezifikation (Low-Energy) ist es nun möglich, kostengünstig Hardware mit nur einer geringen Energiekapazität zu fertigen, sogenannte Internet-of-Things (IoT), womit über das BLE-Protokoll dann Daten gesendet werden können. BLE hat eine Reichweite von bis zu 75 Meter und nur eine Genauigkeit von 8 Metern. Im Gegensatz zu den bisher vorgestellten Technologien punktet diese in der hohen Batterielebensdauer sowie in der flächendeckenden Verfügbarkeit jedes modernen Smartphones. Damit kann BLE als ein echter Kandidat für eine Indoor-Navigation in Verbindung mit Realisierungen von Interaktionskonzepten angesehen werden.

3.2 Lokalisierungsmethoden

In diesem Unterkapitel werden Methoden für eine Innenraumlokalisierung vorgestellt, die mit den in Kapitel 3.1 vorgestellten Technologien realisiert werden können.

3.2.1 Trilateration und Triangulation

Die Trilateration basiert auf dem Konzept der Abstandsmessung. Dabei wird die Signalstärke zu mindestens drei bereits bekannten und feststehenden Punkten gemessen. Die Signalstärke gibt Aufschluss darüber, in welcher Entfernung sich der Punkt befindet. Durch Überlappung dieser drei Abstände ergibt sich die aktuelle Position. Anders als bei der

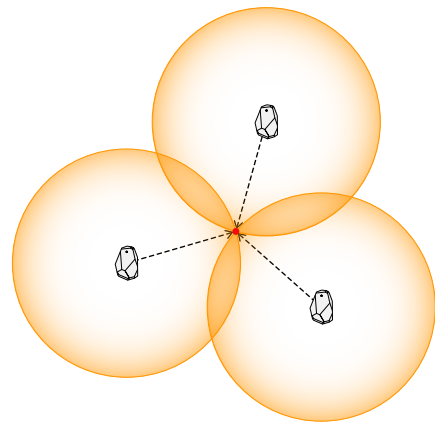


Abb. 5: Trilateration

Trilateration verwendet die Triangulation die Winkel dreier bereits bekannter Punkte zur Abstandsabmessung. Beide Lokalisierungsmethoden teilen außerdem die Eigenschaft schnell in Systemen implementiert werden zu können.

3.2.2 Fingerprint

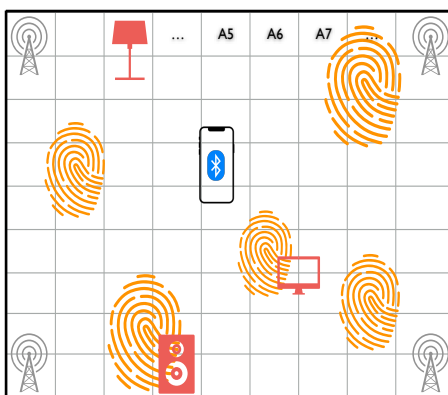


Abb. 6: Fingerprint

Die Methode des Fingerprints findet in zwei Phasen statt. In der Trainingsphase werden die Signale mit den Koordinaten der jeweiligen Position im Raum in einer Datenbank aufgenommen. Danach folgt die Lokalisierungsphase, in der die empfangenen Daten mit denen in der Datenbank verglichen werden und eine Position geschlussfolgert wird. Dabei

können verschiedene Algorithmen für eine höhere Treffsicherheit zum Einsatz kommen. Die Fingerprint Methode benötigt höheren Aufwand in der Vorbereitung, bietet jedoch den großen Vorteil, dass in der Trainingsphase permanente Störgrößen in der Abtastung mit einbezogen werden [4].

3.3 Fazit und Auswahl

Durch die Einführung der iBeacon-Technologie 2014 von Apple [5], mit der, durch Ein- und Austrittsereignisse, ein Standortbewusstsein erschafft werden soll, bot es sich an, diese als Verwendungszweck neben Interaktionen auch für eine Indoor-Navigation zu gebrauchen, da sie BLE als Übertragungsmedium verwendet. Aus der Namensgebung der iBeacon etablierte sich der generelle Name der IoT-Geräte „Beacon“, was auf Deutsch „Leuchtfeuer“ oder auch „Leuchtturm“ bedeutet.

Ein Beacon besteht lediglich aus den Komponenten eines Gehäuses, einer Platine und einer Batterie und übermittelt ständig über einen Broadcast seine Kennung. Die Auswahl der Beacons fiel auf den Hersteller Estimote⁵ mit ihren „UWB-Location Beacon“ (vgl. Abb. 7, rechts), welche das Beste aus der Bluetooth-Technik und der UWB-Technik kombinieren sollen. Zudem werden zusätzliche Modelle wie das „Proximity Beacon“ (vgl. Abb. 7, links) angeboten. Beide Produkte werden mit unterschiedlichen Software Development Kits (SDK) geliefert. Ob die Kombination der beiden Technologien zu einer vielversprechenden Lösung in Bezug auf Realisierung von Indoor-Navigation und verschiedenen Interaktionen mit Exponaten in einem Museum führen kann, gilt es jedoch noch herauszufinden.

Als Lokalisierungsmethode sollte die Fingerprinting-Methode verwendet werden. Bei der Gegenüberstellung von Trilateration und Fingerprinting sollte letzteres bessere

⁵ <https://estimote.com/> (besucht am 02.12.18)

Resultate erzielen [4] [6]. Dies ist der Aufnahmen von permanenten Störgrößen im Raum befindlicher Objekten geschuldet, die bei der Messung in der Trainingsphase miteinbezogen werden [4].



Abb. 7: Proximity Beacons (links), UWB Beacons (rechts)

Damit ist die Auswahl einer rudimentären Lösung für eine Indoor-Navigation und Interaktion mit Exponaten in einem Museum durch die vorgestellten Technologien und Methoden getroffen worden. Im nächsten Unterkapitel wird es darum gehen, wie Beacons und die Fingerprint-Methode, unter Anwendung von Machine-Learning, zur Realisierung von Indoor-Navigation und Interaktionen in einem Museum eingesetzt werden können.

3.4 Implementierung

Die Implementierung wurde hauptsächlich mit der Entwicklungsumgebung Xcode 10.0 und in der Programmiersprache Swift 4.2 umgesetzt. Dabei wurden bisher nicht veröffentlichte Frameworks benutzt, wie das CoreML 2, verwendet, welche zur Zeit der Untersuchung nur im Betastadium für Softwareentwickler, die sich im Apple Developer Programm eingeschrieben hatten, zur Verfügung standen.

Für die Kommunikation mit den Beacons standen zwei Optionen zur Auswahl. Zum einen das SDK von Estimote (Proximity SDK) und zum anderen das Framework von Apple (CoreLocation), das bereits nativ für die Programmierung zur Verfügung stand. Beide wurden getestet und miteinander verglichen. Dazu wurde speziell für diesen Zweck eine eigene App entwickelt, um beide auf einen Blick hinsichtlich der Genauigkeit und Zuverlässigkeit vergleichen zu können. Aus dem Grund, dass sich das vorhandene Framework von Apple als die zuverlässigere Lösung für Annäherungsinteraktionen erwies, wird diese anstelle der Lösung von Estimote für das Projekt verwendet.

Zur Positionsbestimmung im Raum stellt Estimote ebenfalls ein separates SDK bereit (Indoor Location SDK), das, obwohl dieses mit einer Vielzahl von Algorithmen ausgestattet sein soll, welche mit Störquellen umzugehen wissen sollten, alles andere als adäquate Ergebnisse lieferte. Hinzu kommt, dass die integrierte UWB-Technologie in den Beacons nur zu Initialisierungszwecken verwendet wird. Dabei wird in der Initialisierungsphase eine gegenseitige Abstandsvermessung zwischen den UWB-Beacons vorgenommen. Mit den Informationen der Abstandsvermessung kann ein Lageplan des Raumes erstellt werden, in dem dann die grafische Darstellung der eigenen Position im Raum veranschaulicht wird. Wegen der hohen Störanfälligkeit wird vermutet, dass es sich bei der angewandten Lokalisierungsmethode um Trilateration handelt.

Aufgrund der unzureichenden Positionserkennung wurde dieses Equipment, sowie das Proximity-SDK, aus dem Projekt entfernt. Da es sich dabei um das letzte von Estimote zur Verfügung stehende SDK handelte, hatte es mich dazu veranlasst, eine eigene Lösung zur Innenraumlokalisierung zu entwickeln, die nachfolgend näher beschrieben wird.

3.4.1 Algorithmen

Generell erfolgt eine Interaktion oder eine Positionsbestimmung mit den Beacons über eine Messung der Distanz zwischen Sender und Empfänger, die durch das Auswerten der Signalstärke ermöglicht wird. Die Beacon-Informationen, die am Smartphone ankommen, werden bereits der Entfernung nach aufsteigend sortiert. Wie iBeacon-Pakete aussehen, wenn sie von einem Smartphone empfangen werden, kann in Abb. 8 eingesehen werden.

```
-----  
CLBeacon (uuid:B9407F30-F5F8-466E-AFF9-25556B57FE6D, major:4000, minor:10005, proximity:3 +/- 7.39m, rssi:-64)  
CLBeacon (uuid:B9407F30-F5F8-466E-AFF9-25556B57FE6D, major:4000, minor:10007, proximity:3 +/- 7.50m, rssi:-66)  
CLBeacon (uuid:B9407F30-F5F8-466E-AFF9-25556B57FE6D, major:4000, minor:10006, proximity:3 +/- 7.90m, rssi:-67)  
CLBeacon (uuid:B9407F30-F5F8-466E-AFF9-25556B57FE6D, major:4000, minor:10009, proximity:3 +/- 9.39m, rssi:-70)  
CLBeacon (uuid:B9407F30-F5F8-466E-AFF9-25556B57FE6D, major:4000, minor:10010, proximity:3 +/- 11.52m, rssi:-69)  
CLBeacon (uuid:B9407F30-F5F8-466E-AFF9-25556B57FE6D, major:4000, minor:10008, proximity:3 +/- 13.69m, rssi:-72)  
-----
```

Abb. 8: Darstellung von iBeacon-Paketen im Xcode Terminal

Bestehend aus:

- **UUID:** Universal Unique Identifier
- **Major/Minor:** Zur Gruppierung
- **RSSI:** Signalstärke die für ein Meter gilt

RSSI-Smoothing

Zur Minimierung von Ausreißern wurde eine Glättungsfunktion implementiert, die mit den zuletzt empfangenen Received Signal Strength Indication (RSSI)-Werten und dem der aktuell empfangenen RSSI-Wert berechnet wird.

Damit haben Ausreißer weniger Gewicht in der späteren Auswertung. Die genannte Glättungsfunktion ist folgendermaßen definiert:

$$RSSI_{new} = \alpha \times RSSI_n + (1 - \alpha) \times RSSI_{n-1}$$

Das α repräsentiert hier einen konstanten Filterfaktor, der hierfür mit 0,9 gewählt wurde. Der neue RSSI-Wert errechnet sich aus dem Filterfaktor und den letzten beiden empfangenen Werten.

Three-Strongest-Beacons

Damit Beacon-Daten, das heißt die Informationen der Beacons, wie in Abb. 8 zu sehen, empfangen werden können wird das Core-Location-Framework importiert und im Anschluss die Methode *locationManager()* aufgerufen.

```
1. import CoreLocation
2.
3. func locationManager(_ manager: CLLocationManager, didRangeBeacons beacons:
[CLBeacon], in region: CLBeaconRegion) {
4.
5. var threeStrongestBeacons = beacons
6.
7. // Filtern von nicht eindeutig bestimmbaren Beacons
8. for element in threeStrongestBeacons {
9.     var index = 0
10.
11.     if element.rssi == 0 {
12.         threeStrongestBeacons.remove(at: index)
13.     }
14.     index += 1
15. }
16. // Entferne alle Beacons bis auf drei Stück
17. if threeStrongestBeacons.count >= 4 {
18.     threeStrongestBeacons.removeLast(threeStrongestBeacons.count - 3)
19.
20. }
21. }
```

Codeauszug 1: Three-Strongest-Beacons

Beim vorherigen Projektbericht [7] wurde nur mit vollständig empfangenen Datensätzen aller 10 Beacons eine Position im Raum bestimmt.

Zur weiteren Minimierung von Abnormalitäten wurden, basierend auf einer vorherigen Forschungsarbeit [8] für die Innenraumlokalisierung, nur die drei stärksten

empfangenen Beacons verwendet, wodurch ein gutes Ergebnis erzielt wurde. Als Begründung für diese Wahl könnte argumentiert werden, dass der Rahmen mit den drei Beacons für unregelmäßige Ausreißer, die von jedem Beacon verursacht werden könnte, in Grenzen gehalten wird. Die dafür zuständige Variable *threeStrongestBeacons* (vgl. Codeauszug 1) beinhaltet die drei am stärksten empfangenen Beacons als Array, von dem im Folgenden immer ausgegangen wird, wenn Beacon-Informationen benötigt werden. Zusätzlich erhält die erwähnte Variable nur erreichbare Beacons, das heißt Beacons deren RSSI-Wert nicht „0“ beträgt.

Kompassunterteilung

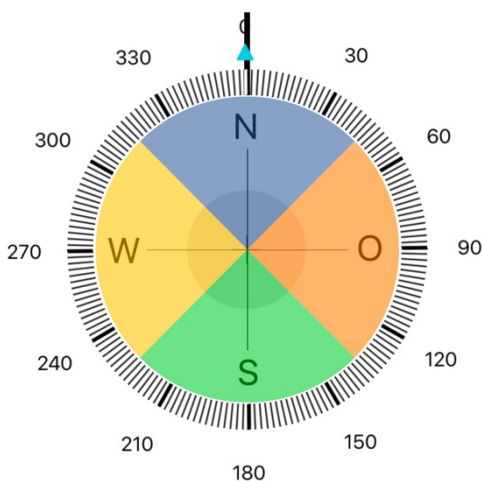


Abb. 9: Unterteilung der Blickrichtungen mit dem Kompass

Neben der rotativen Darstellung der eigenen Person auf der Indoor-Karte wird der Kompass ebenfalls dazu verwendet um mögliche Exponate, die sich nicht in derselben Blickrichtung befinden, auszuschließen. Damit können Exponate, die beispielweise nördlich, östlich oder westlich positioniert worden sind, bei Blickrichtung auf ein Exponat nach Süden nicht fälschlicherweise interagiert werden. Dafür wurden die Kompasswerte für die Blickrichtung

in 90°-Abschnitte eingeteilt, wie in Abb. 9 gezeigt, um per Ausschlussverfahren zu genaueren Ergebnissen zu gelangen. Wie dies in programmierter Form bewerkstelligt worden ist, wurde in Anhang M beigefügt.

3.4.2 Fingerprint

Für eine eigene Lösung bezüglich der Innenraumlokalisierung wird das Fingerprinting-Verfahren verwendet, da dieses aufgrund der Einbeziehung von permanenten Störquellen im Raum in der Trainingsphase zu besseren Ergebnissen in der Lokalisierungsphase führen soll. Zur Erhebung der Daten, die für die Lokalisierungsphase vonnöten sind, wurde separat eine eigenständige App mit dem Namen MLFingerprint entwickelt (vgl. Abb. 10), womit der Raum, in dem später eine Navigation oder Interaktion stattfinden soll, abgetastet wird. Diese App speichert die empfangenen Signalstärken der Beacons in einem Comma-Separated Value (CSV)-Format auf dem Smartphone. Aus diesem Datenset soll im Nachhinein ein Machine-Learning-Model erstellt und mithilfe der Vorhersagen die abgetasteten Positionen bestimmt werden, was in der Lokalisierungsphase stattfindet.

Trainingsphase

Zur Abtastung des Raumes und auch nur einzelner Positionen wird in der MLFingerprint-Anwendung der Schieberegler, für die gewünschte Anzahl zu sammelnder Daten von den *threeStrongestBeacons* ausgehend, eingestellt, die Position im Textfeld benannt und durch Drücken des digitalen Fingerabdrucks gestartet (vgl. Abb. 10). Das CSV-Format kann anschließend aus dem Smartphone auf ein Mac-System zur weiteren Verarbeitung, wie etwa zur Erstellung eines Machine-Learning-Models, exportiert werden. Zur schnelleren Evaluierung des Fingerprints kann dies ebenfalls in derselben Anwendung im zweiten Tab-Bereich (Place) erfolgen (vgl. [Anhang H](#)).



Abb. 10: ML-Fingerprint Anwendung

Das Machine-Learning-Model müsste hier dennoch, wie bereits beschrieben, zuerst extern erstellt werden. Dies wurde aus Gründen der Zeitersparnis implementiert, um die Evaluierung der Positionen nicht mit der eigentlichen Prototypen-Anwendung zu vollziehen, welche bei der Kompilierung längere Zeit in Anspruch nimmt.

Die Anzahl an Daten, die beim Abtasten erhoben werden, kann durch folgende Formel berechnet werden:

$$I = r \times b \times d \times p$$

Legende:

r = Anzahl Richtungen

b = Anzahl Beacons

d = Dauer der Aufnahme in Sekunden

p = Anzahl Positionen

I = Anzahl gespeicherter Informationen

Bei der Abtastung eines Raumes mit $b = 3$ Beacons und mit $p = 5$ Positionen mit jeweils $r = 1$ Richtungen, bei der jedes Mal $d = 20$ iBeacon-Pakete aufgenommen werden, entsteht ein Datensatz von: $1 \times 3 \times 20 \times 5 = 300$ Einträgen. Dadurch, dass die Blickrichtung nun unterteilt wird und dementsprechend zu einer Konstante wird, ist das Fingerprinting der einzelnen Richtungen, wie es in der anfänglichen Projektphase gemacht wurde, nicht mehr nötig. Dies gilt ebenfalls für die Anzahl der benötigten Beacons, die von 10 auf 3 reduziert wurde. Das Resultat der neuen Implementierung brachte ein verbessertes Ergebnis zutage und benötigte dazu 13-mal weniger Daten als die bisherige Implementierung.

3.4.3 Machine-Learning

Zur Erstellung des Machine-Learning-Modells wird die exportierte CSV-Datei in das CoreML-Framework geladen und auf die beiden Variablen *trainingCSVData* und *testCSVData* verteilt (vgl. Codeauszug 2: Zeile 6).

```
1. import Foundation
2. import CreateML
3.
4. // Aufteilung der Daten
5. let positionTable = try MLDataTable(contentsOf: URL(fileURLWithPath:
"/Users/erik/Desktop/Fingerprint/Data/Fingerprint.csv"))
6. let (trainingCSVData, testCSVData) = positionTable.randomSplit(by: 0.8, seed: 5)
7.
8. // Erstellung des Modells
9. let model = try MLClassifier(trainingData: trainingCSVData, targetColumn: "Place")
10.
11. // Evaluierung des Modells
12. let evaluation = model.evaluation(on: testCSVData)
13.
14. // Sicherung des Modells
15. var csvMetadata = MLModelMetadata(author: "Erik Traise", shortDescription:
"Innenraumlokalisierung", license: "Student", version: "1.0")
16. try model.write(to: URL(fileURLWithPath:
"/Users/erik/Desktop/Fingerprint/Result/Fingerprint.mlmodel"), metadata: csvMetadata)
```

Codeauszug 2: Erstellung eines Machine-Learning-Modells

Die *trainingCSVData* beinhaltet 80 % der Daten und wird zum Erstellen des Modells verwendet. Die restlichen 20 % sind in der Variable *testCSVData* gespeichert und werden zur Evaluierung benötigt.

Das CoreML-Framework durchläuft dabei eine Ansammlung von verschiedenen Machine-Learning-Algorithmen und erstellt, nach Ermittlung des besten und geeignetsten Algorithmus, das *Fingerprint.mlmodel*. Hierfür wählte das CoreML-Framework den Boosting-Tree-Algorithmus.

Lokalisierungsphase

Mit dem vorliegenden *Fingerprint.mlmodel* können nun Vorhersagen für die Positionen im Raum getroffen werden. Als Input erhält dieser die zuvor beschriebene Variable *threeStrongestBeacons* (vgl. Codeauszug 3: Zeile 2), davon ausgehend werden nur Vorhersagen mit mehr als 75 % Wahrscheinlichkeit akzeptiert.

Sofern die Blickrichtung mit den hinterlegten Positionen, wie es im Teil der Kompassunterteilung näher beschrieben wurde, übereinstimmt.

Diese Aufgabe übernimmt die Funktion *predictionator*, die vom Machine-Learning erhaltene Auswertungen mit der des Kompasses vergleicht. Es kommt des Öfteren vor, dass Positionen mit mehr als 75 % vorhergesagt werden, die jedoch einer anderen Kompassrichtung zugewiesen und damit falsch sind. Die Funktion gibt also nur die höchste Wahrscheinlichkeit einer Position zurück, die der momentanen Blickrichtung entspricht. Anschließend erfolgt die Interaktion mit dem Exponat in der Exponat-Ansicht, welche in [Kapitel 5](#), im Teil der Implementierung genauer erläutert wird.

```
1. // Beacon-Daten Input
2. let fpInput = FingerprintInput(Lemon: lemonRSSI, Coconut: coconutRSSI, Candy:
candyRSSI, Beetroot: beetrootRSSI, Ice: iceRSSI, Mint: mintRSSI, Blueberry:
blueberryRSSI, Ice2: ice2RSSI, Mint2: mint2RSSI,
Blueberry2: blueberry2RSSI)
3.
4. let model = Fingerprint()
5. guard let fingerprintOutput = try? model.prediction(input: fpInput) else {
fatalError("Unexpected runtime error.")
6. }
7.
8. let predictionatorAccurancy = predictionator(placeProbability:
fingerprintOutput.PlaceProbability, direction: getDirection(from:
angel))?.first?.value
9. let predictionatorPlace = predictionator(placeProbability:
fingerprintOutput.PlaceProbability, direction: getDirection(from: angel))?.first?.key
```

Codeauszug 3: Lokalisierung vom Machine-Learning

3.4.4 Erfahrung

Durch Verwendung der eigenen Lösung, mittels iBeacon, ergab sich der Vorteil, dass Interaktionen und Innenraumlokalisierungen ohne SDK's von Dritten realisiert werden können und damit herstellerübergreifend funktionieren. Somit verbrauchen Anwendungen, iMuseum eingeschlossen, weniger Speicher und agieren performanter.

Da selbst das Machine-Learning falsch liegen kann, werden nur Vorhersagen berücksichtigt, die mit einer Wahrscheinlichkeit von mehr als 75 % zutreffen.

Dadurch kann es vorkommen, dass einige Interaktionen und Positions-Aktualisierungen verzögert vonstatten gehen.

Hinzuzufügen ist, dass Bluetooth sehr sensibel auf die Umwelt reagiert und nicht immer korrekte Abstandswerte liefert. Störquellen wie Beton, Stahl und Geräte die dasselbe Frequenzband nutzen, aber auch der Mensch selbst, weil er zu einem großen Anteil aus Wasser besteht, können Bluetooth Verbindungen beeinträchtigen und damit Ergebnisse verfälschen [9]. So kann ein am Morgen erstellter Fingerprint, am Abend desselben Tages schlechtere Resultate als ein direkt darauffolgender liefern. Es ist außerdem nicht auszuschließen das die Beacons selbst Ursache für Signaldämpfungen sind, da sie auch zur Selbstsabotage neigen können [10].

Schlussfolgernd lässt sich festhalten, dass eine Realisierung von Interaktionen und Indoor-Navigation mittels BLE tatsächlich sehr stark von der Umgebung abhängig ist und die Sensoren des Smartphones dabei sehr hilfreich sein können, um bessere Ergebnisse zu erzielen. Ein Modell wie das weitverbreitete Global Positioning System (GPS) für Innengebäuden ist hierfür als äußerst schwierig und aufwendig anzusehen – jedoch nicht als unmöglich.

4 Interaktionskonzepte

Dieses Kapitel widmet sich den erarbeiteten Interaktionskonzepten und beginnt zuerst mit der Einführung der Proxemik und der Rechnerallgegenwart (Ubiquitäres-Computing).

4.1 Intro: Proxemik und Ubiquitäres-Computing

Unter dem Begriff Proxemik, das 1966 von Edward T. Hall bekannt wurde [11], wird die Untersuchung von Menschen in kultureller- und räumlicher Abhängigkeit beschrieben, die in der nonverbalen Kommunikation durch unterschiedliche Distanzzonen wie der intimen, persönlichen, sozialen und öffentlichen, definiert wird.

Ubiquitäres-Computing ist durch Mark Weiser bekannt geworden [12]. Es beschreibt die nahtlose und unauffällige Integration von Technologien in unserem alltäglichen Leben, durch das sogenannte „*Internet der Dinge*“.

Mit der Proxemik ist damit ein guter Ansatz vorhanden, Interaktionen mit Exponaten in einem Museum zu konzipieren und mittels der Technik von Beacons ein Stückweit in die Vision des von Mark Weiser, das Ersetzen des bekannten Computers durch „*intelligentere Gegenstände*“, nähergekommen.

4.2 Eigenentwickelte Konzepte

Abb. 11 veranschaulicht alle entwickelten Konzepte in einem fiktiven Museumsbild, die im folgenden Abschnitt einzeln näher erläutert werden.

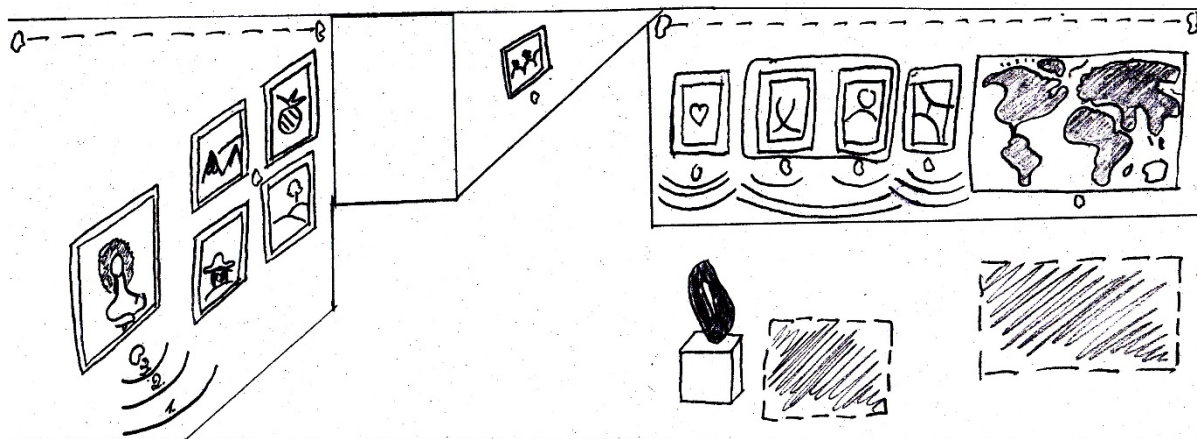


Abb. 11: Überblick aller Konzepte

4.2.1 Proximity-Circle

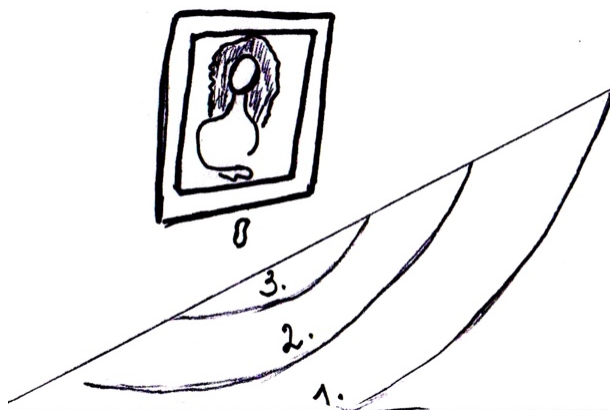


Abb. 12: Proximity-Circle mit drei Distanzzonen

Abb. 12 demonstriert das Hauptkonzept, das in drei verschiedene Distanzzonen unterteilt ist. Je nach Nähe des Nutzers zu einem Exponat klinkt sich dieser in die jeweilige Distanzzone ein. In der 1. Zone erhält der Nutzer eine Bildvorschau des in unmittelbarer Nähe befindlichen Exponats. Bei weiterer

Annäherung an das Exponat werden weitere Inhalte wie Texte und Bilder freigeschaltet (Zone 2). In der letzten Distanzzone (Zone 3) wird dem Nutzer der volle Inhalt des Exponats gewährt, zusätzlich erhält er weiteren Zugriff auf neue Medienformate, die Audio- und Videodateien beinhalten.

4.2.2 Proximity-Wall

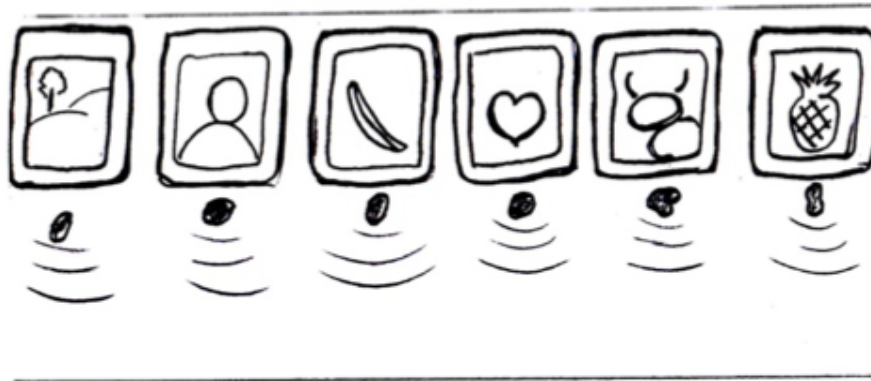


Abb. 13: Proximity-Wall mit eigenen Distanzzonen

Typisch für Ausstellungen und Museen ist das Nebeneinanderstellen von Exponaten, bei dem das Konzept Proximity-Circle, aufgrund der Nähe der Exponate, Überlappungen der Distanzzonen verursachen würde. Hierdurch würde die korrekte Zuspielung der Informationen verfälscht werden. Durch das Weglassen der ersten beiden Distanzzonen sollen Interaktionen nur in der 3. Distanzzone stattfinden und es soll nur dort der gesamte Medieninhalt zugänglich gemacht werden. Bei ausreichend weit auseinanderstehenden Exponaten kann dieses Konzept auch als ein In-Reihe-Schalten von Proximity-Circle-Konzepten aufgefasst werden (vgl. Abb. 13).

4.2.3 Proximity-Combination

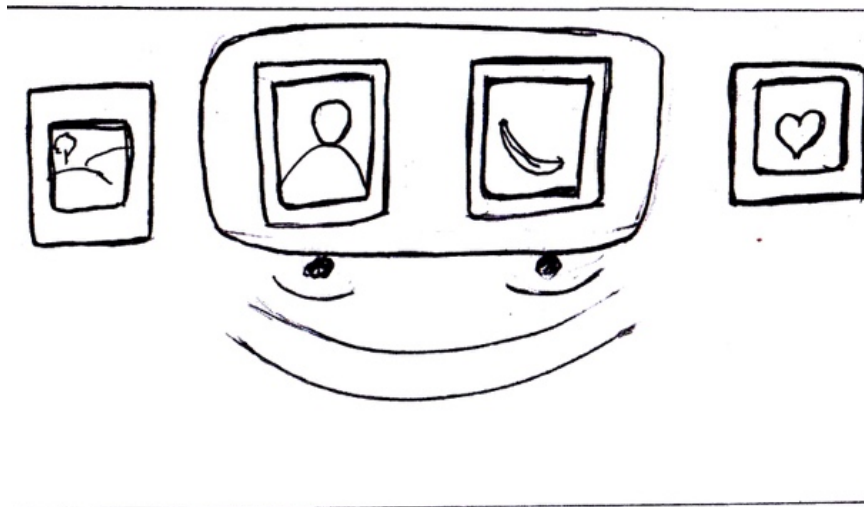


Abb. 14: Proximity-Combination mit zwei Exponaten

Wenn Exponate dasselbe Thema teilen, aus mehreren Stücken bestehen oder aufgrund ihrer Größe in kleinere Abschnitte zerlegt werden können, kann dieses Konzept dazu verwendet werden, dass die jeweiligen Exponate oder Abschnitte zunächst die 1. Zone miteinander teilen und in den tieferen Schichten ihre eigene Distanzzone besitzen, mit denen der Nutzer interagieren kann. Von diesem Konzept, welches in Abb. 14 dargestellt wird, profitieren insbesondere sehr breite Exponate.

4.2.4 Proximity-Location

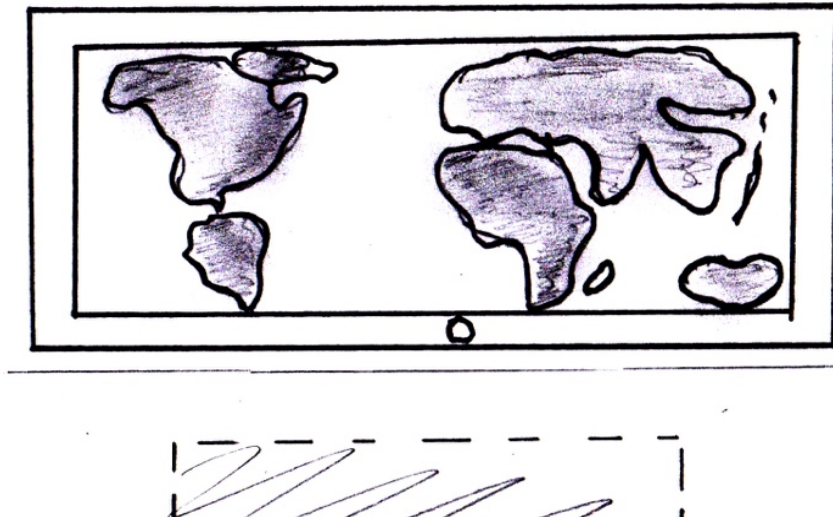


Abb. 15: Proximity-Location für große Exponate

In Situationen, in denen das Anbringen von weiteren Beacons nicht ohne weiteres möglich ist, können die bereits vorhandenen Beacon-Signale im Raum zur Positionsbestimmung genutzt werden, um Bereiche in den Räumlichkeiten zu definieren, die Interaktionen stattfinden lassen können (vgl. Abb. 15). Dabei können auch Exponate angesprochen werden, die für den Nutzer physisch schwer zugänglich sind, weil diese von der Decke hängen oder ein zu Nahekommen zum Exponat nicht erwünscht ist.

5 Prototyp-iMuseum

In diesem Kapitel wird der Prototyp-iMuseum vorgestellt, in denen alle bisher vorgestellten Funktionen und Interaktionskonzepte münden. Die einzelnen Ansichten werden zudem hier in bebildeter Form näher beschrieben.



Abb. 16: iMuseum-Startansicht

Wird die iMuseum-App aufgerufen erscheint ein Begrüßungsbildschirm (vgl. Abb. 16). Dieser beinhaltet einen Parallax-Effekt, wodurch Räumlichkeit durch Bewegung der Objekte, hier der Start-Button, Begrüßungstext sowie die Bildkulisse, erzeugt wird, sollte das Smartphone geneigt werden.

5.1 Einführung

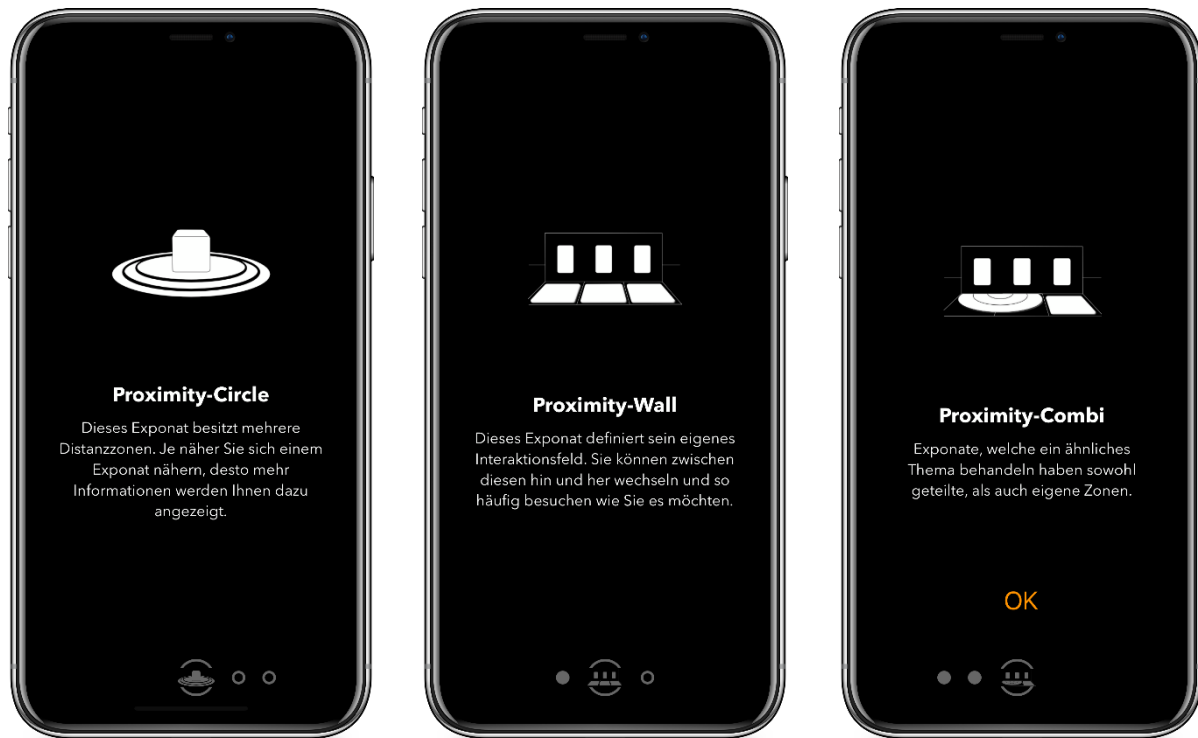


Abb. 17: iMuseum – Einführung in die Interaktionskonzepte

Erfolgt eine Erstausführung der Anwendung durch Drücken des Start-Buttons, so werden die Interaktionskonzepte aus dem vorherigen Kapitel in illustrierter Form nacheinander aufgeführt. Ein Wechsel zur Beschreibung des nächsten Interaktionskonzeptes geschieht durch eine Wischgeste nach links. Im Anschluss gelangt man durch Drücken des „OK“-Buttons auf die Willkommens-Ansicht, welche eine der drei Haupt-Tab-Ansichten ist und im folgenden Kapitel beschrieben wird.

Das einheitliche Design des Prototypen wurde dunkel gewählt, weil ein aktueller Trend dazu in vielen Apps zu erkennen ist, da es einen längeren Lesefluss fördern soll und auf OLED-Bildschirmen in Bezug auf Farbkraft und Energieeffizienz sehr gut zur Geltung kommt. Das erstrebte Design soll in einem musealen Kontext, welcher ohnehin sehr textbehaftet ist, nicht zusätzlich überladen wirken und dem Besucher eines Museums eine visuell durchdachte Benutzeroberfläche anbieten, die es erlaubt, auf einfachstem Weg mediale Inhalte in einem geeigneten Look-and-Feel bereitzustellen.

5.2 Tab-Ansichten



Abb. 18: Haupt Tab-Ansichten

Im linken Tab „Museum“ (vgl. Abb. 18, links) können relevante Informationen über anstehende Ausstellungen sowie Begrüßungen und Öffnungszeiten dargestellt werden.

Im mittleren Tab ist die „Navigationsansicht“ zu erreichen. Dort werden neben der aktuellen Position auch die Exponate auf der Karte angezeigt (vgl. Abb. 18, mittig). Hierbei werden bereits besuchte Exponate orange und noch ausstehende grau dargestellt. Nur mithilfe dieser Ansicht können Interaktionen mit Exponaten stattfinden.

Im rechten Tab findet sich die „Schatzjagd“ mit der Schatzkarte (vgl. Abb. 18, rechts). Dort können die Quizfragen zu den auf der Erkundungstour besuchten Exponaten beantwortet werden. Bei erfolgreicher Beantwortung aller Fragen wird der Schatz am Ende des Pfades freigegeben. Erfolgreich gelöste Quizfragen werden zusätzlich auf der Navigationsansicht und auf der Schatzjagdansicht mit einem grünen Haken versehen.

5.3 Exponat-Ansicht

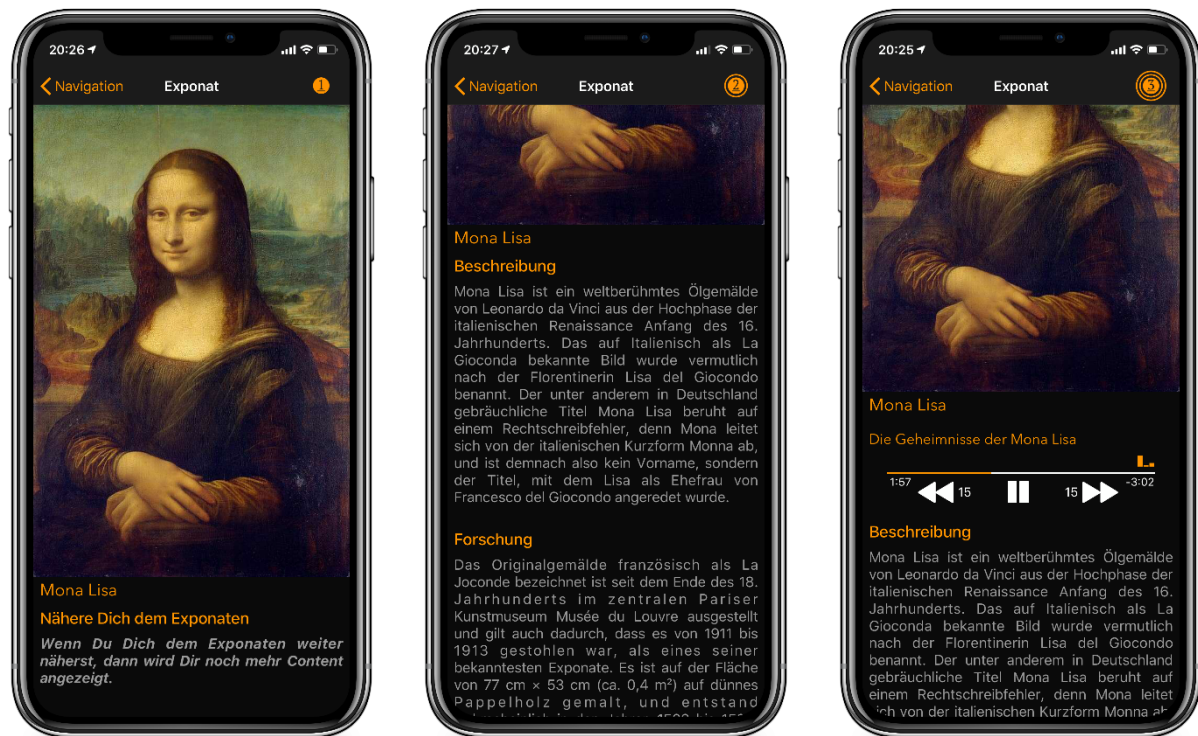


Abb. 19: Exponat-Ansicht mit Distanzzonen-abhängigem Einschub von Content

Kommt der Nutzer bei aktiver Navigationsansicht nahe genug an ein Exponat heran, so wechselt die Anzeige automatisch zur Exponat-Ansicht (vgl. Abb. 19). Diese besteht, abhängig davon in welcher Distanzzone sich der Nutzer gerade befindet, aus verschiedenen Arten von Informationen, bestehend aus Audio, Video, Text und Bildern, die sich zwischen den Content-Bausteinen einschieben lassen. Hat der Nutzer alle Zonen eines Exponats durch das Annähern besucht, wird der Zugriff auf das entsprechende Quiz der Schatzkarte freigeschalten und mit einem Badge Counter im Tab-Bereich „Schatzjagd“ gekennzeichnet (vgl. Abb. 18, mittig). Die aktuelle Distanzzone, in der sich der Nutzer gerade befindet, wird oben rechts in Form von Ringen und Zahlen dargestellt. Es kommt ein zusätzlicher Ring hinzu, wenn sich der Nutzer dem Exponat weiter nähert, maximal jedoch zwei Mal. Freigeschaltete Quizze werden anschließend schwarz hinterlegt, richtig beantwortete werden grau mit einem grünen Haken darauf markiert (vgl. Abb. 18, rechts).

5.4 Quiz-Ansicht

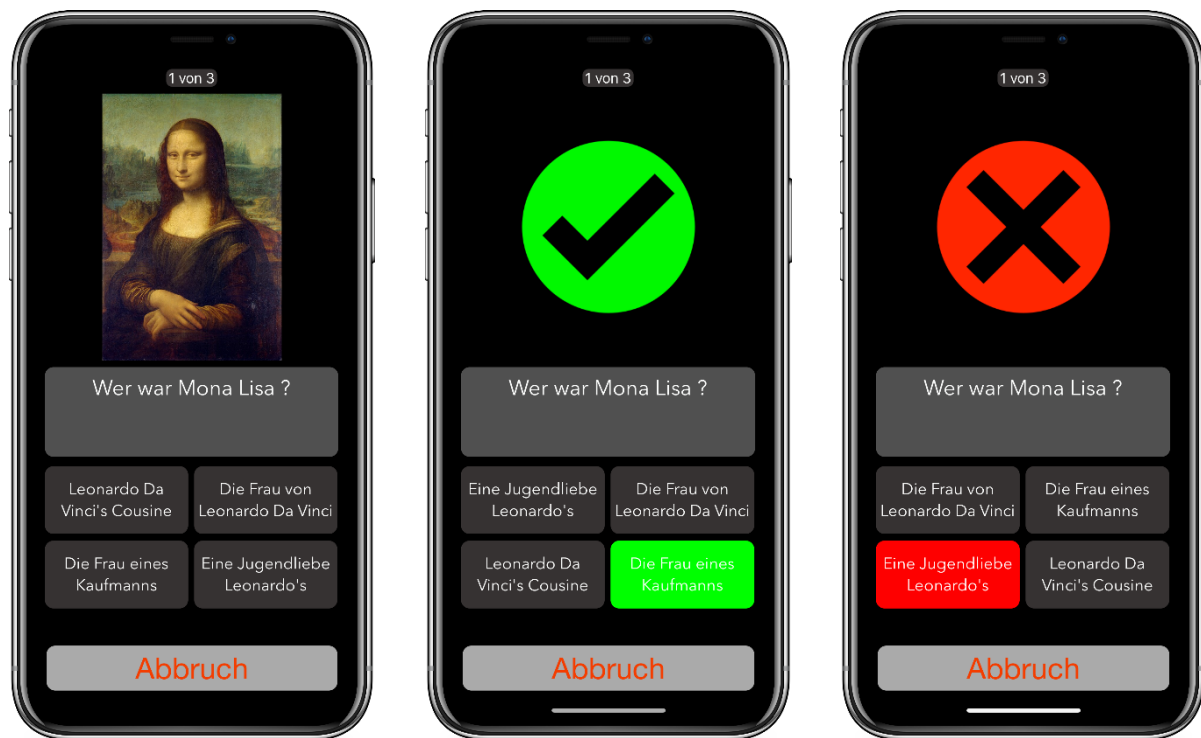


Abb. 20: Quiz-Ansicht mit Rückmeldung

Wird ein Quiz auf der Schatzkarte angegangen, so stehen für jede Frage vier Antwortmöglichkeiten zur Auswahl, von denen nur eine richtig ist, wie links in Abb. 20 dargestellt. Wird sie korrekt beantwortet, erhält der Nutzer ein kurzes haptisches Feedback gefolgt von einer Animation über die korrekte Auswahl (vgl. Abb. 20, mittig), dann erscheint die nächste Frage. Bei falscher Beantwortung wird ein stärkeres haptisches Feedback zurückgegeben und es erscheint ebenfalls eine Animation über die Inkorrektheit der Auswahl (vgl. Abb. 20, rechts). Anschließend wird das Quiz beendet und auf die Schatzjagd-Ansicht zurückgekehrt. Außerdem muss das Exponat erneut besucht werden. Damit soll das „Herumprobieren“ unterbunden und aufmerksames Lesen angeregt werden. Eine Auflösung der Fragen erhält der Nutzer nicht.

5.5 Content Management System

Zur Verwaltung und Organisation von medialen Inhalten wurde das CMS von Xamoom⁶ eingesetzt. Dieses erweiterte den Prototypen iMuseum zu einem nachhaltig nutzbaren System. Ein SDK für die Darstellung der Inhalte wurde ebenfalls bereitgestellt und fand in der Implementierung des iMuseum-Prototyps Verwendung.

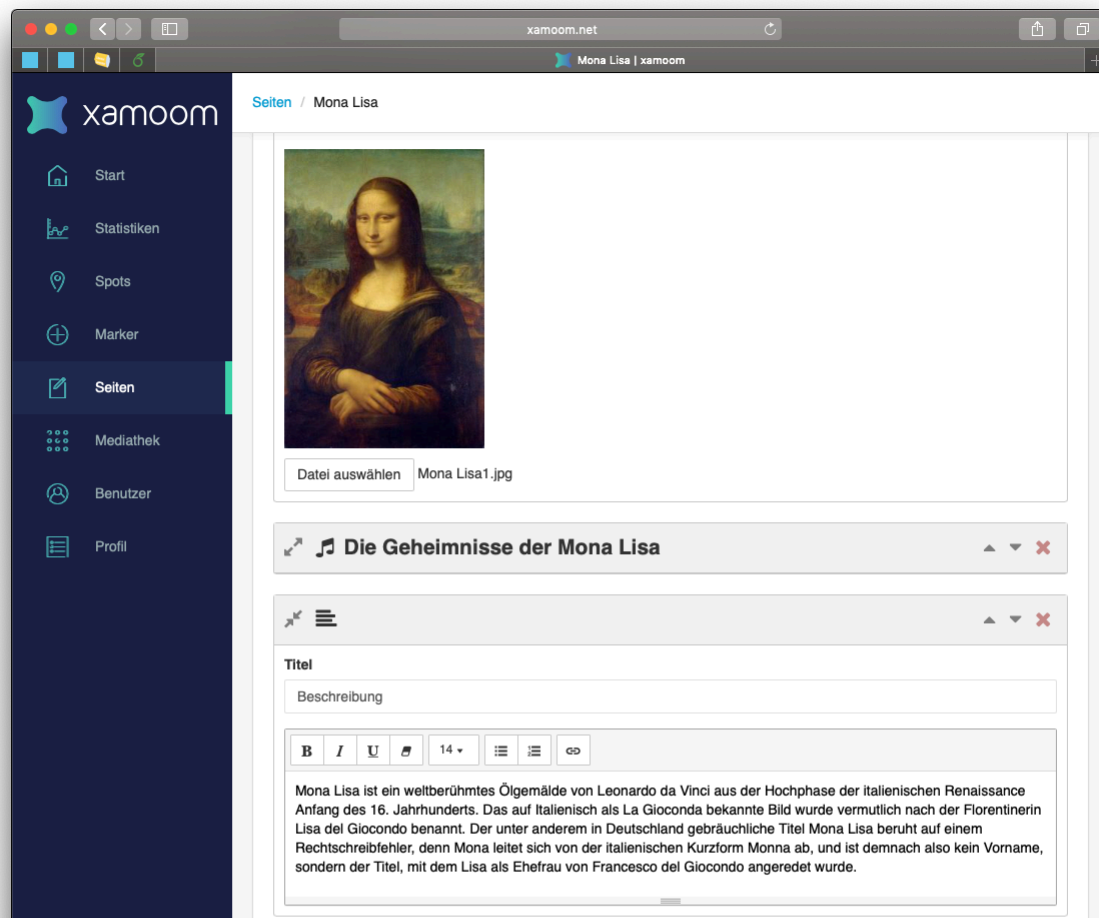


Abb. 21: CMS-Ansicht mit Contentblocks

Jedes Exponat ist mit einer Content-ID versehen, welche Xamoom automatisch vergibt und darüber Zugang auf den kompletten Inhalt gewährt. Der Inhalt eines Exponats kann mit so genannten Contentblocks-Bausteinen online, wie in Abb. 21 zu sehen, aufgestellt werden und folgt dem Prinzip „What You See Is What You Get“ (WYSIWYG).

⁶ <https://xamoom.com/de/> (besucht am 02.12.2018)

Einbindung des Quiz ins CMS

Damit das Quiz ebenfalls nachhaltig verwendet werden kann, musste das CMS an dieser Stelle, anders als ursprünglich von Xamoom dafür vorgesehen, genutzt werden. Dabei wurden Textblöcke dazu verwendet, um die Quizfragen und -antworten darzustellen.

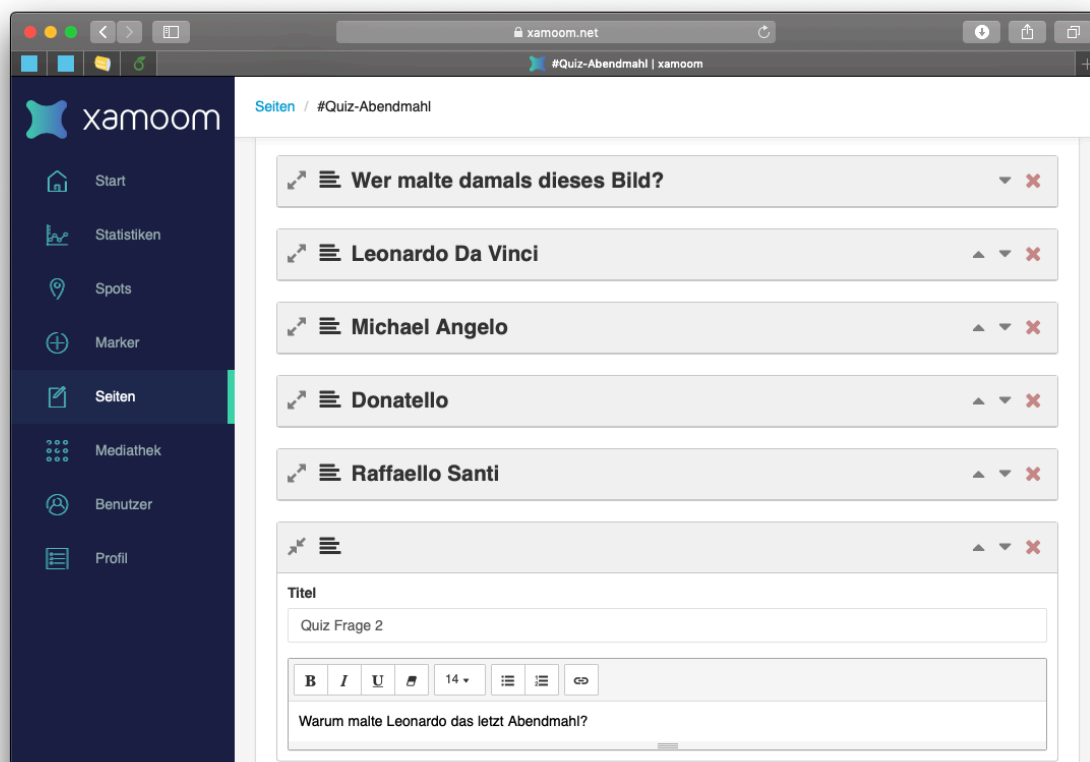


Abb. 22: Aufstellung des Quiz im CMS

Jede Quizfrage besteht aus fünf Textblöcken, die aus der Fragestellung und vier Antwortmöglichkeiten besteht. Abb. 22 veranschaulicht dies anhand des Quizzes über das letzte Abendmahl. Die Antwortmöglichkeiten werden in programmierter Form beim Beantworten eines Quiz jedes Mal neu angeordnet.

Mit der Idee eines Quiz soll gezeigt werden, dass vorhandene Interaktionsmöglichkeiten erweitert werden können und im Wandel der Veränderung, die in einem Museum stattfinden kann, die Exponate über ein CMS angepasst werden können.

5.6 Implementierung

Zur Zeit der Projektarbeit waren die beiden Prototypen MLFingerprint und iMuseum für das iPhone 6S konzipiert worden. Durch die Anschaffung eines neueren Gerätes (iPhone X, vorher iPhone 6S) musste die Benutzeroberfläche angepasst werden. Einbußen in der Funktionalität und Leistung entstanden durch den Tausch der Geräte nicht. Eine komplette Ansicht der Applikationen ist im [Anhang I bis L](#) beigefügt.

Neben den Anpassungen der Benutzeroberflächen wurden weitere Veränderungen an der Implementierung vorgenommen, um ein noch besseres Ergebnis für die Studie zu erhalten. Diese sind bereits im [Kapitel 3](#) der technischen Umsetzung erläutert worden.

```
// MARK: - Interaktionen
1. let fPrinter = predictionatorAccuracy! >= 75
2. var predPlace: String?
3. if fPrinter { predPlace = predictionatorPlace }
4.
5. switch predPlace {
6.
7. // Exponat: Mona Lisa
8. case "H":
9.     self.xPosition = 265
10.    self.yPosition = 117 + 35

11. UIView.animate(withDuration: 1, animations: { self.myPosition.center =
    CGPoint(x: self.xPosition, y: self.yPosition)}) { (nil) in

12.     if self.expAllowed[0] {
13.         self.resetAllowed(butnotfor: 0)
14.         self.id = "00beed30efe543659a4522aaded22fd6"
15.         self.beaconMinior = 10002
16.         self.contentLVL = 0
17.         self.performSegue(withIdentifier: "exponat", sender: self)
18.     }
19. }
20. break ..... }
```

Codeauszug 4: Interaktion mit der Mona-Lisa

Hinsichtlich der Programmierung, wie iBeacon-Pakete zur Auswertung verwendet werden, sind beide vorgestellten Prototypen als äquivalent anzusehen. In Codeauszug 4 wird anhand eines Beispiels des Mona Lisa Exponats die Fortsetzung von Codeauszug 3 (Lokalisierungsphase) gezeigt. Mit der ersten Codezeile wird überprüft,

ob die Vorhersage vom Machine-Learning die Wahrscheinlichkeit von über 75 % erreicht, die durch die Funktion des *predictionator* (vgl. [Anhang N](#)) zurückgegeben wird. Hat eine Vorhersage die beschriebenen Kriterien erfüllt, so wird die Position des Männchens auf der Indoor-Karte mit einer Animation aktualisiert (Zeile: 9 bis 11). Damit nicht kontinuierlich eine Interaktion gestartet wird, weil im Hintergrund immer noch die Lokalisierung stattfindet, wird dieses Exponat temporär bis zum Besuchen eines anderen deaktiviert (Zeile: 12 und 13). Anschließend erfolgt die Vorbereitung und Übergabe (Zeile: 14 bis 16) für die Darstellung des Contents für die Exponat-Ansicht die sich von rechts auf die Navigations-Ansicht, nach Aufrufen des Befehls (Zeile: 17), überlappt.

```

1. func locationManager(_ manager: CLLocationManager, didRangeBeacons beacons:
   [CLBeacon], in region: CLBeaconRegion) {
2.     // Distanzzone 2
3.     if Double((beacons.first?.accuracy)!) <= 1.3 &&
   Double((beacons.first?.accuracy)!) >= 0.75 && zoneLevel < 2 {
4.         zoneLevel += 1
5.
6.         if actualZone != zone2 && actualZone != zone3 {
7.             actualZone = zone2
8.             self.zoneLabel.image = imageLiteral(resourceName: "Prx2")
9.             downloadContent(id: id)
10.
11.             AnimatableReload.reload(tableView: tableView, animationDirection:
   "down")
12.         }
13.     }
14.
15.     // Distanzzone 3
16.     if Double((beacons.first?.accuracy)!) < 0.75 && zoneLevel < 3 {
17.         zoneLevel += 1
18.         if actualZone != zone3 {
19.             actualZone = zone3
20.
21.             // Freischaltung des Quiz
22.             CoreDataManager.shared.changeAccessExponat(index: contentLVL, value:
   true)
23.             let badgeValue = CoreDataManager.shared.getCounter()
24.             self.zoneLabel.image = imageLiteral(resourceName: "Prx3")
25.             downloadContent(id: id)
26.
27.             AnimatableReload.reload(tableView: tableView, animationDirection:
   "down") }
28.         }
29.     }

```

Codeauszug 5: Abstandsmessung zum Beacon

Mit den übergebenen Informationen erfolgt anschließend die Abstandsmessung für die zweite und dritte Distanzzone in Zeile 3 und Zeile 16 des Codeauszug 5. Befindet sich der Nutzer innerhalb der gemessenen Reichweite von 1,3 bis 0,75 Meter, so wird ihm der Zugriff auf weiteren Content durch Erhöhen seiner aktuellen Distanzstufe (Zeile: 4) gewährt und dies mit der Änderung seiner aktuellen Zone rechts oben (vgl. Abb. 23) in Form von hinzu kommenden Ringen und Zahlen angezeigt (Zeile: 8).

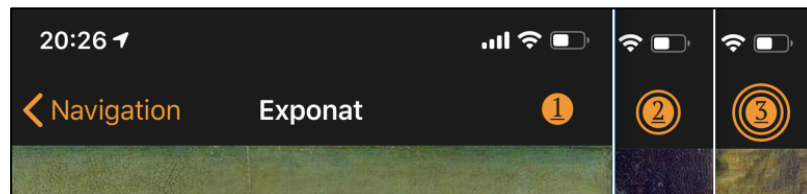


Abb. 23: Darstellung der Distanzstufen

Der Downloadaufruf zur Darstellung des neuen Inhalts für die zweite Zone erfolgt in der 9. Zeile, direkt nach Änderung der aktuellen Distanzstufe, wie in Abb. 23 bereits gezeigt. Die dritte Distanzzone ist ähnlich aufgebaut, schaltet jedoch zusätzlich noch das Quiz zum Exponat frei und speichert den aktuellen Stand der Schatzjagd auf dem Smartphone (Zeile 22), um das Quiz zu einem späteren Zeitpunkt fortführen zu können. Anschließend wird der Nutzer über den Badge Counter darauf aufmerksam gemacht, dass im Tab-Bereich „Schatzjagd“ ein Quiz zum Absolvieren bereitsteht.

Die Angaben über die Entfernung in den Zeilen 3 und 16, in der eine Interaktion stattfinden soll, entspricht nicht der tatsächlichen Entfernung. Diese sind nur Schätzwerte und verhalten sich in anderen Räumlichkeiten anders und müssen für diesen erneut angepasst werden. Um ein Beispiel diesbezüglich zu nennen: die erwähnten 1,3 Meter entsprechen in etwa 4,5 Meter in der Realität in dem Raum, in dem der Prototyp im nächsten Kapitel evaluiert worden ist.

6 Machbarkeitsstudie

Im fünften Kapitel steht die Machbarkeitsstudie im Vordergrund, die nach den Prinzipien der heuristischen Evaluation von Jakob Nielsen in der verfeinerten Version aus dem Jahre 1994 [13] nachgegangen wird. Dies erfolgt mit dem Ziel herauszufinden, ob eine Indoor-Navigation mit den vorgestellten Interaktionsmöglichkeiten mittels Beacons und Machine-Learning realisiert werden kann.

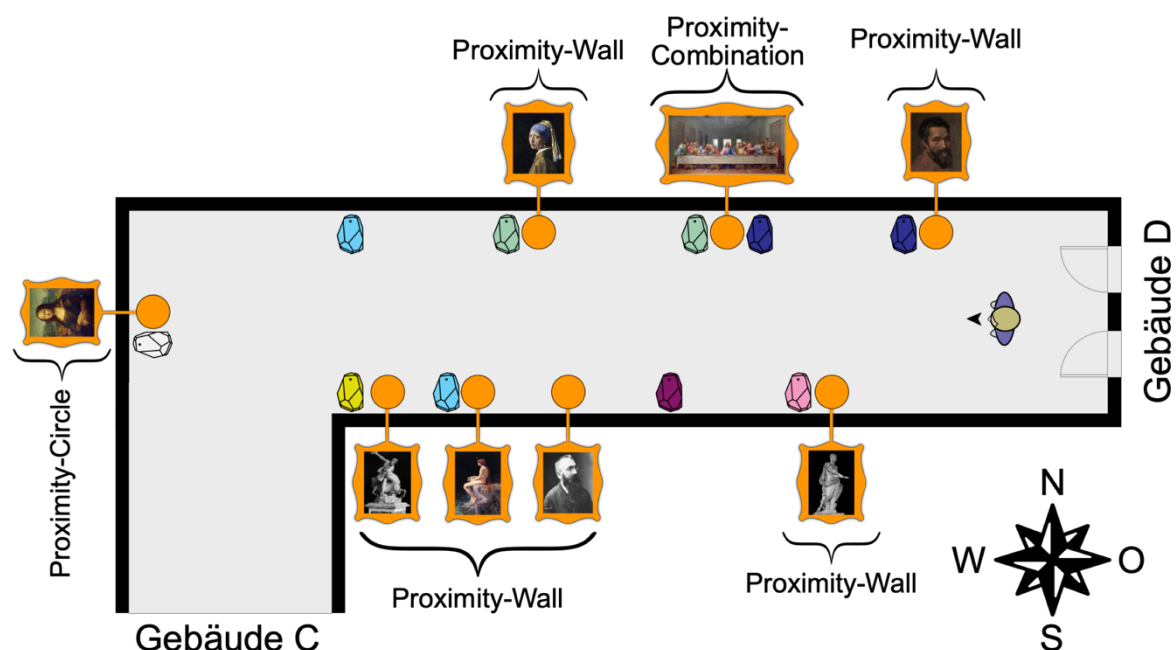


Abb. 24: C-D-Brücke mit den Positionen der Exponate und der Beacons

6.1 Vorbereitung und Aufbau

Für die Durchführung der Machbarkeitsstudie wurden mehrere Räumlichkeiten der Universität Konstanz begutachtet. Dabei wurde auch mittels eines kleinen Fingerprints getestet ob sie für eine solche Studie geeignet sind. Als besonders geeignet stellten sich der Flur im 9. Stockwerk des V-Gebäudes und die Brücke zwischen dem C- und dem D-Gebäude heraus. Es wurde schließlich die C-D-Brücke gewählt, da sich im 9. Stockwerk des V-Gebäudes die Etage des Rektorats befindet und es durch die Evaluation eventuell zu Störungen kommen könnte. Die Brücke, auf

der die Studie stattfinden sollte, erstreckte sich über eine Länge von etwa 25 Metern, über die 10 Beacons verteilt wurden. Gegen Ende der Brücke in Richtung C-Gebäude wurden die Beacons am dichtesten gesetzt. Dort waren die Ansprüche für die beiden Konzepte (P-Circle und P-Wall) am höchsten. Da dort der Fingerprint mehrmals nicht zufriedenstellende Ergebnisse erbrachte, mussten mehr Beacons angebracht werden, um ein noch besseres Ergebnis zu erzielen. Die genauen Standorte der Beacons können aus Abb. 24 entnommen werden, ebenso die aufgestellten Exponate. Als das Umplatzieren der Beacons und weiteren Fingerprints keine Verbesserungen brachte, wurde letzten Endes weiter an dem Prototyp gearbeitet. Die implementierten Neuerungen wurden bereits in Kapitel 3.4 erläutert. Für die C-D-Brücke wurde unter anderem speziell ein Lageplan passend zum App-Design erstellt (vgl. Anhang J). Zusätzlich musste die Blickrichtung zum Lageplan hin angepasst werden, da sich die Brücke nicht im Lot einer Kompassrichtung befand. Außerdem wurden noch die Positionen der Exponate auf der Karte gekennzeichnet.

Als aus technischer Sicht alle Vorbereitungen abgeschlossen waren, wurden die Museumsexperten via E-Mail zur Teilnahme an der Studie eingeladen. Von den neun Experten meldeten sich sechs zurück und teilten ihre möglichen Zeiten in dem beigefügten Doodle-Link⁷ mit. Zur Prävention von Verspätungen und Überschneidungen wurde ein Zeitfenster von 30 Minuten für jeden Experten gewählt. Damit konnte schnell ein Tag gefunden werden, an dem alle sechs Experten zu einem festgesetzten Termin an der Machbarkeitsstudie teilnehmen konnten.

⁷ <https://doodle.com/de/> (besucht am 13.01.19)

6.2 Durchführung

Der Ablauf der Studie kann in zwei Teile gegliedert werden. Im ersten Teil wird der Evaluationsablauf der einzelnen Experten beschrieben und im zweiten Teil die Experten als Gruppe in einer Gruppendiskussion.

6.2.1 Individuelle Experten-Evaluation



Abb. 25: Exponat Ausstellung (Richtung C-Gebäude)

Jeder Prüfer wurde zu Beginn seiner Expertise herzlich begrüßt und über seine Aufgaben unterrichtet. Zu den Aufgaben gehört die Evaluierung in einer dafür vorbereiteten fiktiven Ausstellung (vgl. Abb. 25) mit einem zur Verfügung gestellten Smartphone und dem vorinstallierten iMuseum-Prototyp. Im Anschluss soll die Expertise auf einem vorgefertigten Protokollbogen (vgl. [Anhang C](#)) bestehend aus einer leeren Liste für das Eintragen von Usability-Problemen und deren jeweiligen Schweregrad, auf das die Usability-Problemen Bezug nimmt, notiert werden. Dabei handelt es sich um einen System Usability Scale (SUS)-Fragebogen (vgl. [Anhang D](#)) zur quantitativen Analyse der Gebrauchstauglichkeit sowie die 10 Heuristiken auf

Deutsch (vgl. [Anhang E](#)). Aufgrund dessen, dass die Prüfer Usability-Spezialisten waren, war ihnen die heuristische Evaluation geläufig. Eine Einführung war somit nicht notwendig.

Nachdem die Einverständniserklärung (vgl. [Anhang B](#)) zur späteren Auswertung eingeholt worden war, begann die Evaluierung mit „Think-Aloud“, bei dem das Gedachte laut ausgesprochen wird bei laufendem Bildschirm und laufender Tonaufnahme des Smartphones. Währenddessen wurde der Beobachtungsleitfaden (vgl. [Anhang F](#)) in einem großen Abstand zum Experten ausgefüllt, um nicht selbst die Signale, die von den Beacons ausgehen, zu blockieren und damit womöglich ungewollt eine verfälschte Interaktion herbeizuführen. Besonderheiten die währenddessen auffielen wurden notiert. Mit der Abgabe des Protokollbogens erhielten die Experten eine Portion verschiedener Süßwaren als Dankeschön für die Zeit, die sie sich für die Studie genommen haben.

6.2.2 Fokusgruppe



Abb. 26: Fokusgruppe der Experten

Ebenfalls über den E-Mail-Weg und den Doodle-Link wurde die Zusammenkunft für die Fokusgruppe arrangiert (vgl. Abb. 26). Von den sechs Experten konnten fünf an der Fokusgruppe teilnehmen. Die Räumlichkeit für die Zusammenkunft wurde vorbereitet. Um für eine lockere Stimmung und eine wohlfühlende Atmosphäre zu sorgen, wurden Getränke und Fruchtgummis angeboten. Als die Teilnehmenden vollständig versammelt waren, wurden sie begrüßt und über eine Audioaufnahme über die Gruppendiskussion informiert. Den Experten wurden Bilder des iMuseum-Prototyps in der physischen Originalgröße (vgl. Anhang I bis L) und in kleineren Ausführungen zur Verfügung gestellt. Zweck dieses Beisammenseins war es, mithilfe der qualitativen Marktforschungstechnik der Fokusgruppe eine Rückmeldung bezüglich Meinung, Nutzertauglichkeit und gemachter Erfahrungen mit den Prototypen zu erhalten. Außerdem wurden mit den erarbeiteten Informationen aus den einzelnen Evaluationen Fragen erstellt und in den Leitfaden der Fokusgruppe aufgenommen, welches im Anhang G näher betrachtet werden kann. Die Dauer der Sitzung betrug eine Stunde.

6.3 Forschungsergebnisse

Die aus der Machbarkeitsstudie gewonnenen Erkenntnisse der qualitativen Forschung mit den Museumsexperten, werden in diesem Unterkapitel ausführlich und chronologisch präsentiert und im Anschluss in Kapitel 6.4 diskutiert.

6.3.1 Beobachtung

Das Ergebnis der qualitativen Beobachtung der sechs Experten geht aus dem Beobachtungsfeld, das in Kapitel 6.1 und Unterkapitel 6.2.1 näher erläutert wurde, hervor. Die Evaluation fand zwischen 11 Uhr und 15.30 Uhr statt und wurde mit dem Beobachtungs-Leitfaden (vgl. Anhang F) begleitet. Während dieser Uhrzeit fanden Seminarveranstaltungen im C- und D-Gebäude statt, sodass unbeteiligte Personen die C-D-Brücke während der Evaluation mal vereinzelt und mal als Gruppe überquerten. Dies zwang die Experten gewissermaßen dazu, für den Durchgang im Flur Platz zu schaffen, sodass Interaktionen mit Exponaten nicht möglich wurden oder falsche Zuordnungen entstanden.

Weiter wurde beobachtet, dass zu Beginn der Evaluation die Experten von der Präzision der Blickrichtung beeindruckt waren, was auf der Navigationsansicht zu sehen ist, die durch mehrmaliges Schwenken des Smartphones des Öfteren revidiert wurde.

Darüber äußerten sich die Experten während der Expertise folgendermaßen:

„Was ich angenehm finde ist, dass man immer sieht, in welche Richtung man guckt, weil das funktioniert wirklich durchgehend.“

„Was sehr gut funktioniert, ist die Blickrichtung.“

Hinter der genauen Blickrichtung verbirgt sich der Kompasssensor des Smartphones, der in Richtung des geografischen Nordens eingestellt ist. Damit waren die Experten

in der Lage zu verifizieren, in welche Richtung im Raum sie gerade blickten und konnten so Exponate aufgrund ihrer Position unterscheiden.

Wenn ein Experte vor einem Exponat stand und länger als gewohnt auf eine Interaktion warten musste, weil die Position noch nicht genau erfasst worden war, dann war eine Ungeduld spürbar, was auch seitens des jeweiligen Experten wie folgt geäußert wurde:

„Die zeitliche Verzögerung stört mich ein bisschen, man weiß nicht, ob man nah genug dran ist.“

„Die Navigation ist etwas langsam.“

Es war zu beobachten, dass die Experten durch Hinstrecken des Smartphones in Richtung der Exponate oder Beacons versuchten, die Interaktion zu beschleunigen oder zu verbessern. Tatsächlich aber verschlechtert sich dadurch die Möglichkeit für eine korrekte Interaktion. Dies liegt daran, dass die hier angewendete Technik auf der Methode des Fingerprints basiert, die nur optimale Ergebnisse liefern kann, wenn dieselben Bedingungen gegeben sind wie zuvor beim Erstellen des Fingerprints: Somit war das Vorhalten des Smartphones eher kontraproduktiv.

Die optimale Position zur Interaktion und Lokalisierung befand sich in etwa 1m vor den Exponaten, relativ mittig des Flurs. Dies wurde zu Beginn und während der Expertise den Experten mitgeteilt und dennoch von vier der Experten nicht berücksichtigt, was letztendlich bei diesen vier Personen vermehrt zu verzögerten und nicht korrekten Interaktionen führte.

Während der Evaluierung wurde unter anderem beobachtet, dass die Blicke der Experten länger auf das Smartphone gerichtet waren als auf die Exponate. Auf den Bildschirmaufnahmen war außerdem zu entnehmen, dass überwiegend die Navigationsansicht aktiv war anstelle der Schatzjagd und der informellen Ansicht des Exponats. Darüber äußerten sich Experten unterschiedlich, d.h. sowohl von einem Pro-Standpunkt aus als auch von einem Contra-Standpunkt aus:

„In einem musealen Kontext möchte ich vielleicht, dass die Leute miteinander reden.“

„Ein Nachteil ... dass ich die ganze Zeit auf das Handy schaue, anstatt irgendwie nach oben zu schauen und einfach zu gucken, wo die Exponate sind.“

Andere Experten befürworteten diese Methode mit folgenden Sätzen:

„Was cool am Navigationsmodus ist, dass er einem auch irgendwie total hilft zu wissen, wo die Exponate sind. Also gerade hier sieht durch diesen Flur alles gleich aus, dadurch übersehe ich hier leicht Sachen, was mir hier eigentlich nicht passieren kann.“

„Schon mal besuchte Exponate kann ich wieder anklicken, das ist super.“

„Das Navigationsfeature find ich cool.“

„Ach, hier ist noch eins, das habe ich noch gar nicht gesehen, das habe ich durch die Mini-Map erkannt.“

Mit der Navigationsansicht konnte sichergestellt werden, dass Exponate mit einem Interaktionsangebot nicht übersehen werden konnten. Dies kann bei schlecht sichtbaren oder bereits vergessenen Exponaten genutzt werden. Neben der Darstellung der eigenen Position, bot die Navigationsansicht die Möglichkeit, besuchte Exponate, die orangefarben auf der Karte markiert worden sind, mit einer Touch-Geste erneut aufzurufen.

„Ich finde es gut zu sehen, in welcher Distanzzone ich mich gerade befinde.“

Nach einer Interaktion wurde die aktuelle Distanzstufe in Orange dargestellt. Indem der Experte draufdrückte, erhielt er weitere Informationen darüber. Zusätzlich gab es ein Hinweis am Ende jedes Exponats, dass es weitere Stufen gibt, die jedoch schnell übersehen worden ist, da die Experten relativ schnell über die Texte flogen und diese nicht lesen mussten. Verfügte ein Exponat über mehrere Distanzonen, so haben zwei Probanden interessiert ausprobiert, ob die beiden Konzepte (P-Circle und P-Combi) ebenfalls rückwirkend durch Erweitern des Abstands zu einer niedrigen Distanzzone

führen könnte. Die Begründung, warum solches nicht implementiert wurde, liegt dem technischen Umstand zugrunde, auf den in der Diskussion (Kapitel 6.4) näher eingegangen wird.

Die Schatzjagdansicht wurde überwiegend zum Schluss der Evaluation länger betrachtet. Dort war es den Experten möglich, die freigeschalteten Quizfragen zum jeweiligen Exponat zu beantworten und ihr Wissen auf die Probe zu stellen. Das Durchlesen der spezifischen Informationen aller Exponate war nicht Teil der Aufgabe in der Evaluation, um später das Quiz zu lösen zu können. Die Quizfragen waren von einfacher Natur und forderten keine tiefen historischen Kenntnisse und konnten zum Teil auch ohne das Durchlesen der hinterlegten Informationen der Exponate beantwortet werden.

„Was ich wirklich gut finde, ist das Quiz, das mich dazu ermutigt, Dinge gut durchzulesen, damit ich die Fragen auch beantworten kann.“

Es folgt eine Freischaltung des Quiz zu den jeweiligen Exponaten, wenn die dazugehörige letzte Distanzzone erreicht worden ist. Sichtbar wird die Freischaltung im Tab-Bereich der Schatzjagd durch einen Badge Counter. Wurde die Quizfrage falsch beantwortet, musste diese durch erneutes Besuchen wieder freigeschaltet werden. Eine Auflösung erhielten die Experten nicht.

„Es wäre noch gut, wenn ich noch eine Auflösung sehen würde.“

Warum die Entscheidung gegen eine Auflösung getroffen wurde, wird im Diskussionsteil näher beschrieben. Des Öfteren kam der Wunsch der Experten auf, mehr Feedback einzubauen und die Art, wie richtig interagiert werden soll, stärker hervorzuheben.

„Wenn's mal nicht funktioniert, bekomme ich kein Feedback, warum es nicht funktioniert. Steh' ich vielleicht falsch? Muss ich mich anders hinbewegen? Was muss ich tun, damit das funktioniert?“

Eine visuelle Darstellung, dass im Hintergrund gerade eine Lokalisierung stattfindet, gab es auf der Navigationsansicht nicht. Für zukünftige Arbeiten sollte dies berücksichtigt werden, da offensichtlich ein Bedarf hierfür besteht.

Die Benutzeroberfläche des Prototyps iMuseum fiel den Experten sehr positiv auf und sie äußerten sich dementsprechend wie folgt:

„Ich finde die Einführung und die Icons schön.“

„Top.“

„Sieht schick aus.“

„Super App, find ich toll.“

Eine Randbemerkung, die gemacht werden musste, war, dass eins der Beacons sich zunehmend erwärmt hatte, sodass die Adhäsion des Klebers am Beacon aufgrund hoher Temperatur an Festigkeit verlor, kippte und herunterzufallen drohte. Die Batterien mussten zwischen den Evaluationen kurzzeitig entnommen und abgekühlt werden. Sie erreichten Temperaturen, die ein langes Halten in der Hand nicht mehr ermöglichten. Bemerkte wurde dies, als die Fehlzuordnung verdächtig zunahm.

Den Bildschirmaufnahmen war zu entnehmen, dass die Navigationsansicht überwiegend länger genutzt wurde und von größerem Interesse war als die Schatzjagd. Insgesamt betrug die Evaluierung der iMuseum-App durchschnittlich 15,5 Minuten. Die anschließende Bewertung wurde zeitlich nicht gemessen. Die Einschätzung von 30 Minuten für jeden Probanden kann als richtig gesehen werden.

6.3.2 Fragebögen

Waren die Experten mit der Evaluierung des Prototyps iMuseum fertig, wurde ihnen der Protokollbogen überreicht, bestehend aus einer Tabelle zur Eintragung diverser Usability-Verletzungen mit dem dazugehörigen Schweregrad und einem System-Usability-Scale-Bogen.

Protokollbogen

Zur Beurteilung der Gebrauchstauglichkeit der Benutzeroberfläche war es den Experten möglich, die ihnen aufgefallenen Probleme kurz zu beschreiben, die verletzte Heuristik zu markieren und den Schweregrad durch Ankreuzen von Beacon-Icons kenntlich zu machen. Ein solches Protokoll ist im Anhang C beigefügt.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass Schweregrade, die mit mehr als zwei von vier Beacons markiert worden sind, überwiegend der zu langen und verzögerten Interaktion zuzuschreiben sind. Davon betroffen waren ebenfalls die falsche Zuordnung der aktuellen Position und die Tatsache, dass es nicht möglich war, mit demselben Exponat erneut zu interagieren.

Schweregrade, die mit zwei oder weniger Beacons markiert worden sind, waren von kosmetischer Natur oder beliefen sich auf das Nicht-Auflösen der Quizfragen, die fehlende Anleitung hierfür oder die fehlende Hilfestellung im System im Allgemeinen, aber auch auf die Möglichkeit, zwischen den Distanzzonen manuell hin und her schalten zu können.

System Usability Scale

Zur Evaluierung und Einschätzung der Nutzertauglichkeit in quantitativer Form wurde der SUS-Fragebogen herangezogen, der ebenfalls im Anhang D zu finden ist. Dieser besteht aus 10 standardisierten Aussagen mit jeweils fünf negativen und fünf positiven Äußerungen. Die Art der Zustimmung erfolgt durch eine Likert-Skala mit fünf Optionen, von „Stimme gar nicht zu“ bis „Stimme voll zu“, die einzeln mit den Werten von 0 bis 4 chiffriert werden.

Aussage	Bewertung im Schnitt
Ich kann mir sehr gut vorstellen, dass System regelmäßig zu nutzen.	3,17
Ich empfinde das System als unnötig komplex.	0,17
Ich empfinde das System als einfach zu nutzen.	3,33
Ich denke, dass ich technischen Support brauchen würde, um das System zu nutzen.	0,67
Ich finde, dass die verschiedenen Funktionen des Systems gut integriert sind.	3,17
Ich finde, dass es im System zu viele Inkonsistenzen gibt.	0,67
Ich kann mir vorstellen, dass die meisten Leute das System schnell zu beherrschen lernen.	3,33
Ich empfinde die Bedienung als sehr umständlich.	0,17
Ich habe mich bei der Nutzung des Systems sehr sicher gefühlt.	2,67
Ich musste eine Menge Dinge lernen, bevor ich mit dem System arbeiten konnte.	0,17

Tabelle 1: Durchschnittliche Bewertungen der sechs Experten

Anschließend kann mit den Werten der SUS-Score ermittelt und mit der nachfolgenden Grafik verglichen werden, ob ein System oder Produkt einer vom Endkunden akzeptierenden Benutzeroberfläche entspricht und welche Schulbenotung nach dem amerikanischen Vorbild dies erhalten würde.

Der erreichte SUS-Score für das iMuseum beträgt 84,58. Abschließend kann das Ergebnis nach Abb. 27 von Bangor et al. aus dem Jahre 2009 [14] als exzellent klassifiziert werden. Nach dem amerikanischen Benotungssystem entspräche dies der Note „B“ und befindet sich außerdem mit der Benutzeroberfläche im akzeptablen Bereich.

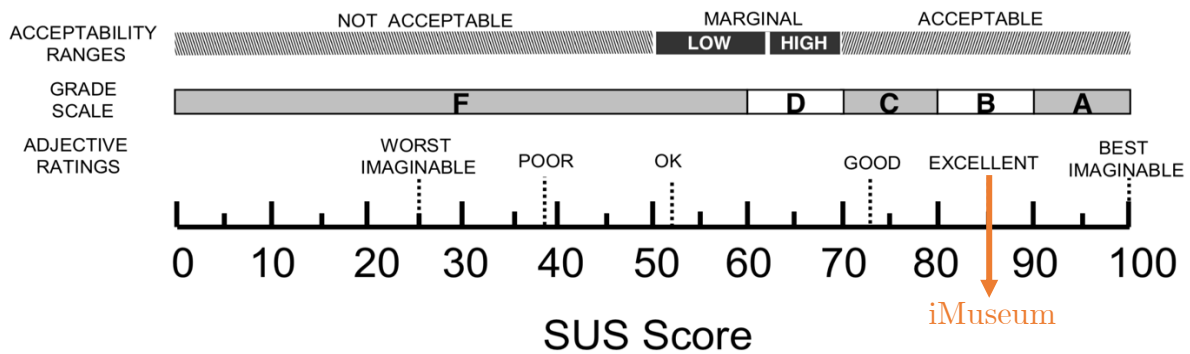


Abb. 27: SUS-Score-Bewertungsskala von Bangor et al. 2009

Die in Tabelle 1 eingetragenen Werte weisen an einer Stelle eine Auffälligkeit auf, die orange markiert wurde. Der durchschnittliche Wert von 2.67 mit der Aussage „*Ich habe mich bei der Nutzung des Systems sehr sicher gefühlt.*“ ist überwiegend der langen und verzögerten Interaktion zuzuschreiben, die die Experten schon in der Beobachtung darüber geäußert hatten.

6.3.3 Fokusgruppe

Die Ergebnisse aus der Fokusgruppe lassen sich in die folgenden drei Themen kodieren, auf die chronologisch einzeln näher eingegangen wird.

- Interaktion
- Navigation
- Anwendung

Interaktion

Der hintere Teil der fiktiven Ausstellung funktionierte für die Experten am zuverlässigsten (vgl. Abb. 24, Richtung D-Gebäude). Im vorderen Teil jedoch war dies teilweise zeitlich verzögert (Richtung C-Gebäude), sodass die Experten dies als „*störend*“ empfanden.

Der von den Experten erwähnte zuverlässige hintere Teil bestand lediglich aus zwei Exponaten, die relativ weit auseinander platziert wurden und nur eine einfache Interaktionsmöglichkeit mit dem Einsatze von nur drei Beacons anboten. Im vorderen Bereich fanden die komplexeren Konzepte mit mehreren Distanzzonen Anwendung, die durch ihre dichte Aufstellung zu größeren Fehlerinteraktionen neigten als beim zuvor Genannten mit den einfachen Zonen. Das Ziel war, auf möglichst intuitive Weise eine Interaktion stattfinden lassen zu können, die ohne große Anleitung verstanden werden kann. Die Experten taten sich jedoch schwer mit den Interaktionen, da sie nicht wussten, wie sie sich „*hinzustellen*“ haben, um eine implizite Interaktion herbeizuführen.

Hauptgrund dieser Unsicherheit ist die Tatsache der längeren Dauer bis zu einer Interaktion. Des Weiteren erachteten die Experten als verkehrt, dass Informationen von Exponaten erst nach der ersten Interaktion abrufbar waren, da es Exponate geben könnte, die nicht von Interesse sind und deshalb nicht besucht werden möchten. Dies hätte jedoch Auswirkung auf den Entdecker-Charakter der

Anwendung. Um nicht ganz den Entdecker-Charakter zu verlieren, brachten die Experten den Vorschlag, zu jedem Exponat eine kurze Vorschau in Form eines Pop-Ups darstellen zu lassen, wenn das Exponat in der Navigationsansicht angeklickt wird. Über die Darstellung der Informationen waren die Experten weitgehend zufrieden und äußerten sich mit „*Die Kontextseiten waren sehr intuitiv*“ und „*haben optisch sehr gut gefallen*“. Die Einbindung von multimedialen Informationen kam bei den Experten sehr gut an und sie erkannten den Mehrwert der iMuseum-Anwendung dadurch viel deutlicher.

Navigation

Die Idee, eine übersichtliche Kartenansicht zu gestalten, um die aktuelle Position und die der Exponate anzuzeigen, fanden die Experten sehr gut; unter anderem empfanden sie diese für unübersichtliche Räume oder zur Orientierung durchaus nützlich. Ebenfalls war für sie die dargestellte Blickrichtung sehr nützlich, die in Form eines Männchens mit einer Pfeilrichtung symbolisiert wird und sich in Echtzeit mit dem Smartphone rotieren lässt. Dies vermittelte den Experten den Eindruck einer echten Navigation, wie sie ihnen aus den herkömmlichen Navigationssystemen bekannt war, jedoch wird die Positionsaktualisierung sprunghaft animiert, sobald man vor einem Exponat steht.

Die Experten haben erwartet, durch die maßstabsgetreue Rotation der Position eine „*Live-View*“ zu erhalten, und vermuteten, dass die Positionsdarstellung ebenfalls so gestaltet wäre und lediglich die Position in dem Moment nicht richtig festgestellt werden konnte, wenn sie sich bewegten und noch nicht vor einem Exponat standen. Der nicht harmonische Übergang der Translation und Rotation empfanden die Experten als unbequem und unvorteilhaft. Die Experten verstanden, dass dies auf technische Beschränkung zurückzuführen ist.

Dass die Navigation ebenfalls den Fortschritt der besuchten Exponate aufzeigte, wurde für gut befunden. Es fehlte ihnen jedoch die Möglichkeit, vorab Informationen

bezüglich der Exponate zu erhalten. Beispiele wie eine Vorschau oder welches Konzept sich hinter dem nächsten Exponat versteckt, wurden hier genannt.

Anwendung (iMuseum)

Die Möglichkeit, nicht nur in der physischen Welt mit Exponaten interagieren zu können, fanden die Experten durch den Zusatz einer „*Schnitzeljagd*“, wie sie es in der Gruppendiskussion statt Schatzjagd des Öfteren genannt hatten, sehr gelungen und funktional gut gelöst.

Es fehlte seitens der Experten eine Anleitung zum Quiz oder gar ein Tab-übergreifender Tutorial-Button, der zu jeder Zeit Hilfestellung anbietet, wenn diese benötigt wird, was die Experten durchaus manchmal gewünscht hätten. Die Überlegung, gleichermaßen Zonen vor den Exponaten mit Interaktionsmöglichkeiten grafisch auf der Navigationsansicht zu hinterlegen und dort bei Annäherung auf magnetische Art das Positionsmännchen am Platzhalter einschnappen zu lassen, wenn man sich in Reichweite befindet, würde den Anschein einer echten „*Live-View*“, wie die Experten das nannten, aufheben und für keine Missverständnisse sorgen.

Es war den Experten durchaus geläufig, dass einige Abstriche aufgrund technischer Einschränkungen seitens iBeacon und der Richtlinien von Apple gemacht werden mussten, der Stand der Technik im Rahmen der Bachelorarbeit aber durchaus ausgereizt wurde und die genannten Beurteilungen auf hohem Niveau seien.

6.4 Diskussion und Einschränkungen

Für die Machbarkeitsstudie als Standort die C-D-Brücke gewählt zu haben, bot sich durch die vorteilhafte Gegebenheit einer Brücke an. Die Beacon-Signale können dort weniger von Fremdgeräten und Umwelteinflüssen beeinträchtigt werden. Ein unterirdischer Ort würde zu verfälschten Kompasswerten führen, die essenziell für die Blickrichtung und für die Vorhersagen des Machine-Learnings sind.

Die Beobachtungen, die während der Expertise der Experten mit unbeteiligten Personen gemacht werden konnten, kann mit der These von Edward T. Hall [11] interpretiert werden, die in seinem Werk „The Hidden Dimension“ aus dem Jahr 1966 beschreibt, wie Menschen in bestimmten Kulturen und Situationen unterschiedlich große räumliche Abstände zueinander erzeugen. Dieses Phänomen konnte immer dann bei den Experten beobachtet werden, wenn Gruppen die Brücke überquerten und die Experten sich dazu gezwungen sahen, sich zum Exponat hin- oder wegzubewegen und sich damit der Möglichkeit einer korrekten Interaktion und Lokalisierung entzogen. Eine Ursache der falschen Zuordnung war die Gruppe, welche die Wege durchquerte. Die Signale könnten durch diese Gruppe gedämpft worden sein und die mitgeführten Geräte für Interferenzen sorgen, da sich mittig der Brücke ein Access Point befand, in den man sich automatisch einwählen konnte. Dies hat sich vermutlich negativ auf das Ergebnis ausgewirkt.

Die Experten hatten bereits Erfahrung mit den Beacons und der Abstandsabmessung mitgebracht. Es wird daher vermutet, dass die ergriffenen Maßnahmen um die Distanz zwischen Smartphone und Beacon durch Hinhalten des Geräts zu verringern, aus ihrem vorherigen mentalen Modell stammt, um eine schnellere Interaktion herbeizuführen. In dem ursprünglichen Modell ohne Machine-Learning hätte diese Methode tatsächlich funktioniert. Weiter könnte die Ursache für das längere Betrachten des Smartphones als die Umgebung mit den aufgestellten Exponaten darin zu finden sein, dass die Navigationsansicht mit den meisten Interaktionsmöglichkeiten und der animierten Darstellung der eigenen Position als

Blickfänger die Experten kurzzeitig die periphere Umgebung vergessen lässt und damit größere Aufmerksamkeit mit sich bringt als gewollt.

Die Idee, Distanzstufen durch Entfernen verringern zu können, wie es die Experten in der Expertise versucht hatten, war ursprünglich in der Projektphase beabsichtigt, konnte jedoch aufgrund der nicht ausreichenden Genauigkeit und der unzähligen Störfaktoren von Bluetooth nicht umgesetzt werden. An dieser Stelle sei gesagt, dass eine mögliche Reduzierung der Distanzstufen gleichermaßen bedeuten würde, einen zuvor hinzugefügten neuen Inhalt unvorteilhaft wieder zu entfernen. Die ursprüngliche Lösung zum erwähnten Konzept wäre zu unterschiedlichen Distanzstufen und unterschiedlichem Inhalt bereitzustellen, dies ist jedoch aufgrund der bereits erwähnten Aspekte nicht ohne weiteres möglich.

Weiter wurde von den Experten geäußert, dass eine Auflösung des Quiz bei falscher Beantwortung angenehm gewesen wäre. Gründe, die rückblickend nicht für eine Realisierung sprachen, waren die geringe Anzahl von drei Quizfragen pro Exponat und das Ziel, fiktive Besucher oder Experten dazu zu animieren, die Texte genauer durchzulesen, um am Ende nicht allzu schnell an den Schatz zu gelangen. Das Quiz soll ein Versuch sein, an eine Gamification heranzutreten, um in einer spielfremden Umgebung die Motivation anzuregen, sich mit dem Kulturgut in einem Museum oder in einer Ausstellung tiefer auseinanderzusetzen und am Ende mit neu angeeignetem Wissen belohnt zu werden.

Am Rande sei noch erwähnt, dass das Phänomen der sporadischen Erwärmung der UWB-Beacons, was während der Evaluation geschehen war, bereits während der Projektarbeit wahrgenommen werden konnte; manchmal gab es auch einen elektronisch-typischen Geruch. Dies kann nur auf einen Hardwarefehler zurückgeführt werden. Dass die Batterien hierfür ursächlich sind, kann ausgeschlossen werden, da der Einsatz mit Batterien verschiedener bekannter Hersteller bereits zum selben Resultat und damit zum selben konträren Zustand geführt hatte.

Die aus dem Protokollbogen hervorgegangenen Beurteilungen, dass Exponate nicht mehrmals in Folge besucht werden können, ist damit begründet, dass nachdem auf die Navigationsansicht zurückkehrt wird, augenblicklich das Machine-Learning die Position zuweist und damit wieder eine Interaktion startet. Daraus folgt eine sekundliche Interaktion, die jedes Mal vom Nutzer weggedrückt werden muss, wenn ihm mit einer hohen Wahrscheinlichkeit vom Machine-Learning eine Position zugeordnet wird. Gelöst wurde dies damit, dass bereits besuchte Exponate temporär bis zur nächsten Interaktion mit einem anderen Exponat deaktiviert wurden.

Aus den Ergebnissen der Studie lässt sich schlussfolgernd sagen, dass iMuseum den Experten sehr gut gefallen hat; trotz einiger Schwächen zeigte sich iMuseum mit seinen Konzepten als ein wertvoller Mehrwert, um Orientierung, Wissen und Informationen über Kulturgüter interaktiv zu transportieren.

Es ist noch zu erwähnen, dass das System nur einen kleinen räumlichen Teil abgedeckt hatte und die Ergebnisse nicht zu verallgemeinern sind. Sie geben jedoch einen guten Einblick des Machbaren mit Beacons und sollten in weiteren Forschungen näher untersucht werden.

7 Zusammenfassung und Ausblick

Im Rahmen der Bachelorarbeit wurde eine neue Möglichkeit gezeigt, Informationen über Kulturgüter durch verschiedene Interaktionen zur Verfügung zu stellen, und die Möglichkeit, mit Beacons eine Indoor-Navigation mithilfe von Machine-Learning zu realisieren, vorgestellt.

Mit dem Einblick in verwandte Arbeiten wurden bereits realisierte Systeme und mit welchen Schwierigkeiten diese zu tun hatten vorgestellt. Im Kapitel 3 der technischen Umsetzung wurden Hindernisse, Techniken und mögliche Lokalisierungsmethoden zusammenfassend präsentiert und eine Auswahl getroffen. Eine mögliche Implementierung diesbezüglich wurde ebenfalls vorgestellt. Anschließend sind eigene Kreationen eines möglichen Zusammenspiels mit Menschen und Exponaten aufgezeigt worden. Unter Verwendung des CMS, der Sensorik des Smartphones und dem Machine-Learning sowie weiterer Algorithmen wurde sodann der iMuseum-Prototyp entwickelt und seine Funktionen präsentiert. Damit war ein Status quo erreicht worden, so dass es anschließend von Museumsexperten der Universität Konstanz evaluiert werden konnte.

Das abschließende Ergebnis der Machbarkeitsstudie, dass eine Realisierung einer sicheren und fehlerlos funktionierenden Interaktion und des Indoor-Navigation-Systems zweifellos nur mit sehr hohem Aufwand zu bewerkstelligen ist und allein nur auf Basis von Bluetooth nicht möglich ist. Der Mehrwert einer solchen Museum-App kann in Hinsicht eines ergänzenden Informations- und Leitsystems in Betracht gezogen werden. Der Bereich des Möglichen konnte im Rahmen der Bachelorarbeit mit iMuseum in der Interaktion und Indoor-Navigation mit iBeacons erreicht werden. Im Ausblick auf die weitere Forschung auf diesem Themengebiet ist nachdrücklich zu betonen, dass die ursprüngliche Idee von Beacons nicht die der Indoor-Navigation ist,

sondern des einfachen Ein- und Austrittsereignisses mit dem ein Standortbewusstsein erschaffen werden soll.

Mit der Einführung von Bluetooth 5.1 der Special Interest Group (SIG) ist eine Spezifikation mit der Bezeichnung Direction Finding vorhanden, die für die Indoor-Navigation ausgelegt ist und es erlauben soll, die Richtung ankommender Signale mit Antennen Arrays zu bestimmen [15]. Mithilfe der Triangulation soll dann sogar eine zentimetergenaue Ortung möglich sein. Da die Ankündigung erst kürzlich am 28.01.2019 war [16], ist die neue Spezifikation momentan noch nicht ausgiebig in der Interaktion und Navigation erforscht worden. Der nächste Ansatz für weitere Forschungen ist mit dem kommenden Bluetooth 5.1 gegeben, um neue Erkenntnisse aus der Indoor-Navigation und Interaktion mit Exponaten zu gewinnen. Ob mit der neuen Technik den bisherigen Störfaktoren ausgewichen werden kann, die es bislang zur bezwingen galt, muss in weiteren Forschungen herausgefunden werden.

Eine Integration der neuen Bluetooth 5.1-Spezifikation in iMuseum und MLFingerprint ist als unproblematisch anzusehen, da lediglich statt der gemessenen Abstandswerte die noch genaueren Richtungswerte verwendet werden können. Eine Kombination aus beiden Techniken ist durchaus möglich und vielleicht sogar notwendig für eine fehlerfreie Navigation und Interaktion.

Literaturverzeichnis

1. **Markus Bokowsky**. <http://www.bokowsky.net/>. <http://www.bokowsky.net/>. [Online] Februar 2016. http://www.bokowsky.net/de/knowledge-base/mobile-internet/artikel_indoornavigation.php.
2. **Bokowsky, Dr. Klaus Ceynowa und Markus**. Bluetooth LE + Beacons = Pfadfinder. *Mobile Technology: Indoornavigation*. 2016, 2.
3. **Bayerische Staatsbibliothek**. *BSB Navigator*. [iOS App] s.l. : Bayerische Staatsbibliothek.
4. *Experiences with Using iBeacons for Indoor Positioning*. **Deepesh, P. C. and Rath, Rashmita and Tiwary, Akshay and Rao, Vikram N. and Kanakalata, N.** New York : ACM, 2016. 978-1-4503-4018-2.
5. **Apple**. <https://developer.apple.com/>. <https://developer.apple.com/>. [Online] Juni 2014. <https://developer.apple.com/ibeacon/Getting-Started-with-iBeacon.pdf>.
6. *Feasibility of Bluetooth iBeacons for indoor localization*. **Estel, Marcel AND Fischer, Laura**. Bonn : Gesellschaft für Informatik e.V., 2015. 978-3-88579-638-1.
7. **Traise, Erik**. *Bachelor Projektbericht: Indoor Navigation and Proxemics Interaction for Museums*. Konstanz : s.n., 2018.
8. *Analysis of Object Location Accuracy for iBeacon Technology based on the RSSI Path Loss Model and Fingerprint Map*. **Chruszczyk, Damian E. Grzechca and Piotr Pelczar and Lukas**. s.l. : International Journal of Electronics and Telecommunications, 2016. eletel-2016-0051.
9. **Funkloch im Heimnetzwerk**. [Online] T-Online, 4. September 2018. [Zitat vom: 13. Januar 2019.] <https://www.t-online.de/digital/hardware/wlan->

dsl/id_17551356/funkloch-im-heimnetzwerk-das-sind-die-schlimmsten-wlan-stoerenfriede.html.

10. *An Analysis of the Positioning Accuracy of iBeacon Technology in Indoor Environments*. Dalkılıç, Feriştah & Arıkan, Emine & Çabuk, Umut & Gürkan, Ashlan. Türkei : UBMK, 2017. 8093459.

11. Hall, Edward T. *The Hidden Dimension*. New York : Anchor, 1966. 978-0-385-08476-5.

12. Weiser, Mark. *The Computer for the 21st Century*. New York, NY, USA : SIGMOBILE Mob. Comput. Commun. Rev., 1999. ISSN 1559-1662.

13. Nielsen, Jakob. *Usability inspection methods*. New York : John Wiley & Sons, Inc., 1994. 0-471-01877-5.

14. Bangor, Aaron, Kortum, Philip und Miller, James. *Determining What Individual SUS Scores Mean: Adding an Adjective Rating Scale*. s.l. : Journal of Usability Studies, 2009.

15. bluetooth. <https://www.bluetooth.com>. [Online] Januar 2019.
https://www.bluetooth.com/~media/files/marketing/1901_enhancing%20bluetooth%20location%20service_final.ashx?la=en.

16. Martin Woolley. Bluetooth. [Online] Januar 2019. [Zitat vom: 19.03.2019. März 2019.]
https://www.bluetooth.com/~media/files/specification/1901_feature_overview_brief_final.ashx?la=en.

17. Rauer, Matthias. <https://blog.seibert-media.net/>. [Online] <https://blog.seibert-media.net/blog/2011/04/11/usability-analysen-system-usability-scale-sus/>.

18. Brooke, John. <https://hell.meiert.org>. [Online] <https://hell.meiert.org/core/pdf/sus.pdf?/>.

19. usetree. <https://www.usetree.de>. [Online] 2014. <https://docplayer.org/4715774-Evaluation-heuristische-evaluation-heuristiken-im-vergleich.html>.
20. *Indoor Localization Without the Pain*. Chintalapudi, Krishna and Padmanabha Iyer, Anand and Padmanabhan, Venkata N. New York : ACM, 2010. 978-1-4503-0181-7.
21. *Finding objects using UWB or BLE localization technology: A museum-like use case*. Jiménez, Antonio & Seco, Fernando. Japan : IPIN, 2017. 8115865.
22. *Fingerprinting Based Indoor Positioning System using RSSI Bluetooth*. Khilari, Disha Adalja and Girish. s.l. : IJSRDV, 2013. 4021.
23. *Bluetooth Indoor Positioning System Using Fingerprinting*. Frost Christian, Jensen Casper Svenning, Thomsen Bent. Berlin : Springer Berlin Heidelberg, 2012. 978-3-642-29478-5.
24. Graf, Bernhard. *Saatliche Museen zu Berlin*. Berlin : Institut für Museumsforschung, 2018. 0931–7961 Heft 72.

Inhaltsverzeichnis der Anhänge

<u>A.</u>	<u>EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG</u>	<u>62</u>
<u>B.</u>	<u>EINVERSTÄNDNISERKLÄRUNG VON PROBANDEN</u>	<u>63</u>
<u>C.</u>	<u>PROTOKOLLBOGEN</u>	<u>64</u>
<u>D.</u>	<u>SUS-SCORE-FRAGEBOGEN</u>	<u>65</u>
<u>E.</u>	<u>HEURISTIKEN NACH NIELSEN</u>	<u>66</u>
<u>F.</u>	<u>BEOBACHTUNG LEITFADEN</u>	<u>67</u>
<u>G.</u>	<u>FOKUSGRUPPE LEITFADEN</u>	<u>68</u>
<u>H.</u>	<u>MLFINGERPRINT</u>	<u>69</u>
<u>I.</u>	<u>IMUSEUM EINFÜHRUNG</u>	<u>70</u>
<u>J.</u>	<u>IMUSEUM TAB-ANSICHT</u>	<u>71</u>
<u>K.</u>	<u>IMUSEUM QUIZ-ANSICHT</u>	<u>72</u>
<u>L.</u>	<u>IMUSEUM EXPONAT-ANSICHT</u>	<u>73</u>
<u>M.</u>	<u>CODE: KOMPASSUNTERTEILUNG</u>	<u>74</u>
<u>N.</u>	<u>CODE: PREDICTIONATOR</u>	<u>75</u>

A. Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit eigenständig und ohne fremde Hilfe angefertigt habe. Textpassagen, die wörtlich oder dem Sinn nach auf Publikationen oder Vorträgen anderer Autoren beruhen, sind als solche kenntlich gemacht. Die Arbeit wurde bisher keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und auch noch nicht veröffentlicht.

Konstanz, 21.03.2019

Erik Traise

B. Einverständniserklärung von Probanden

Einverständniserklärung von Probanden

Universität
Konstanz



Einverständniserklärung

zur Teilnahme an der wissenschaftlichen Studie

Indoor Navigation and Proximity Interaction for Museums

Probandendaten:

(Nachname, Vorname)

(Email)

Ich wurde für mich ausreichend mündlich und/oder schriftlich über die wissenschaftliche Untersuchung informiert. Außerdem hatte ich ausreichend Gelegenheit, Fragen (z. B. zu Inhalt, Ziel, Verlauf und Risiken) zu stellen.

Ich erkläre mich damit einverstanden, an der Studie teilzunehmen. Meine Teilnahme erfolgt freiwillig.

Ich weiß, dass ich die Möglichkeit habe, meine Teilnahme an dieser Studie jederzeit und ohne Angabe von Gründen abzubrechen, ohne dass mir daraus Nachteile entstehen.

Datenschutzklausel:

Ich erkläre, dass ich mit der im Rahmen der Studie erfolgenden Aufzeichnung von Studien-
daten und ihrer Verwendung in pseudo- bzw. anonymisierter Form einverstanden bin.

(Ort, Datum)

(Unterschrift des Teilnehmers)

C. Protokollbogen

Protokollbogen

Evaluator: _____

Zeitfenster: __:__ bis __:__

Schweregrad Beschreibung:



Kosmetisches Problem



Großes Problem (hohe Priorität)



Kleines Problem (geringe Priorität)



Usability-Katastrophe

Beschreibung des Problems	Interaktionssituation / Stelle des Problems	Verletzte Heuristik	Schweregrad
		1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	
		1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	
		1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	
		1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	
		1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	
		1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	
		1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	
		1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	
		1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	

D. SUS-Score-Fragebogen

SUS-Score Fragebogen:

AUSSAGE	STIMME GAR NICHT ZU				STIMME VOLL ZU
Ich kann mir sehr gut vorstellen, dass System regelmäßig zu nutzen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich empfinde das System als unnötig komplex.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich empfinde das System als einfach zu nutzen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich denke, dass ich technischen Support brauchen würde, um das System zu nutzen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich finde, dass die verschiedenen Funktionen des Systems gut integriert sind.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich finde, dass es im System zu viele Inkonsistenzen gibt.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich kann mir vorstellen, dass die meisten Leute das System schnell zu beherrschen lernen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich empfinde die Bedienung als sehr umständlich.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich habe mich bei der Nutzung des Systems sehr sicher gefühlt.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich musste eine Menge Dinge lernen, bevor ich mit dem System arbeiten konnte.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Heuristik nach Nielsen

- 1. Sichtbarkeit des Systemzustands**
 - System informiert Nutzer darüber, was gerade passiert
 - Rückmeldungen erfolgen schnell und sind eindeutig
- 2. Übereinstimmung zwischen System und Realwelt**
 - System verwendet bekannte Konzepte
 - System verwendet bekanntes Vokabular
 - Technische Begriffe und Fehlercodes bleiben verborgen
- 3. Benutzerkontrolle und Freiheit**
 - Nutzer haben die Möglichkeit Dialoge zu verlassen und Fehler zu korrigieren
 - Fälschlicherweise aufgerufene Dialoge können abgebrochen werden
 - Aktionen können rückgängig gemacht und wiederholt werden
- 4. Konsistenz und Standards**
 - Gleiche Begriffe und Aktionen haben in unterschiedlichen Kontexten eine einheitliche Bedeutung
 - Platform-Konventionen werden eingehalten
- 5. Fehlerprävention**
 - Typischen Fehlern (z.B. bei der Eingabe von Werten) wird vorgebeugt
 - Nutzer bestätigt Durchführung kritischer Aktionen
- 6. Erkennen statt Erinnern**
 - Gedächtnislastung minimieren. Objekte und Optionen sind sichtbar
 - Informationen, die an anderer Stelle wieder gebraucht werden, bleiben sichtbar

Seite 4 von 5

- 7. Flexibilität und Effizienz**
 - Erfahrene Nutzer können mit Shortcuts schneller ans Ziel
 - Häufig durchgeführte Aktionen können angepasst oder verkürzt werden
- 8. Ästhetik und minimalistisches Design**
 - Dialoge erhalten keine irrelevanten oder selten gebrauchten Informationen
 - Wichtige Informationen verstecken sich nicht zwischen unwichtigen
- 9. Hilf Nutzern beim Erkennen, Diagnostizieren und Rückgängigmachen von Fehlern**
 - Fehlermeldungen sind in einfacher Sprache (ohne Fehlercodes) gehalten, beschreiben das Problem präzise und bieten Lösungsvorschläge an
- 10. Hilfe und Dokumentation**
 - Wenn nötig, werden Hilfe und Dokumentationen angeboten
 - Sie sind leicht durchsuchbar, fokussieren sich auf die Aufgabe der Nutzer und listen konkret die zu unternehmenden Schritte auf

Seite 5 von 5

E. Heuristiken nach Nielsen

Quelle: UseTree Berliner Kompetenzzentrum für Usability-Maßnahmen [19]

Beobachtung - Leitfaden

Evaluator: _____

Zeitfenster: ____:____ bis ____:____

Beobachtung	Auswertung
War die illustrierte Konzeptdarstellung an den Exponaten hilfreich?	Ja <input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/>
Welches Konzept funktionierte nicht wie erwartet?	Circle <input type="checkbox"/> Wall <input type="checkbox"/> Combi <input type="checkbox"/> Location <input type="checkbox"/>
Werden Distanzonen übersprungen?	Ja <input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/>
Wird das Quiz gleich nach einer Interaktion besucht?	Ja <input type="checkbox"/> Nein, aber später alle <input type="checkbox"/>
Wird ständig auf der Karte geschaut?	Ja <input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/> manchmal <input type="checkbox"/>
Werden besuchte Exponate erneut besucht?	Ja <input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/> Circle <input type="checkbox"/> Wall <input type="checkbox"/> Combi <input type="checkbox"/> Location <input type="checkbox"/>
Stellt sich der Proband dem Exponat direkt gegenüber? (unter 0,5m)	Ja <input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/>
Kommen Fragen auf?	Ja <input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/> Circle <input type="checkbox"/> Wall <input type="checkbox"/> Combi <input type="checkbox"/> Location <input type="checkbox"/>
Wird die Nachricht, dass weitere Distanzonen vorhanden sind gelesen und berücksichtigt?	Ja <input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/>
Wird die Navigation zur Findung der Exponate genutzt?	Überwiegend Ja <input type="checkbox"/> Überwiegend Nein <input type="checkbox"/>
Wird die Position korrekt dargestellt?	Überwiegend Ja <input type="checkbox"/> Überwiegend Nein <input type="checkbox"/>
Werden Positionen anhand der Beacons fälschlicherweise wahrgenommen?	Ja <input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/>
Laufen während dem explorieren unbeteiligte Personen vorbei?	Ja <input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/>

Weitere Auffälligkeiten:

F. Beobachtung Leitfaden

G. Fokusgruppe Leitfaden

Fokusgruppe

Leitpfaden

Navigation:

- Welche Erfahrung konnten Sie mit der Positionsdarstellung machen?
- In welcher Hinsicht hat Sie die Navigation unterstützen können?
- Welche Änderung an der Navigation würden Sie sofort vornehmen?

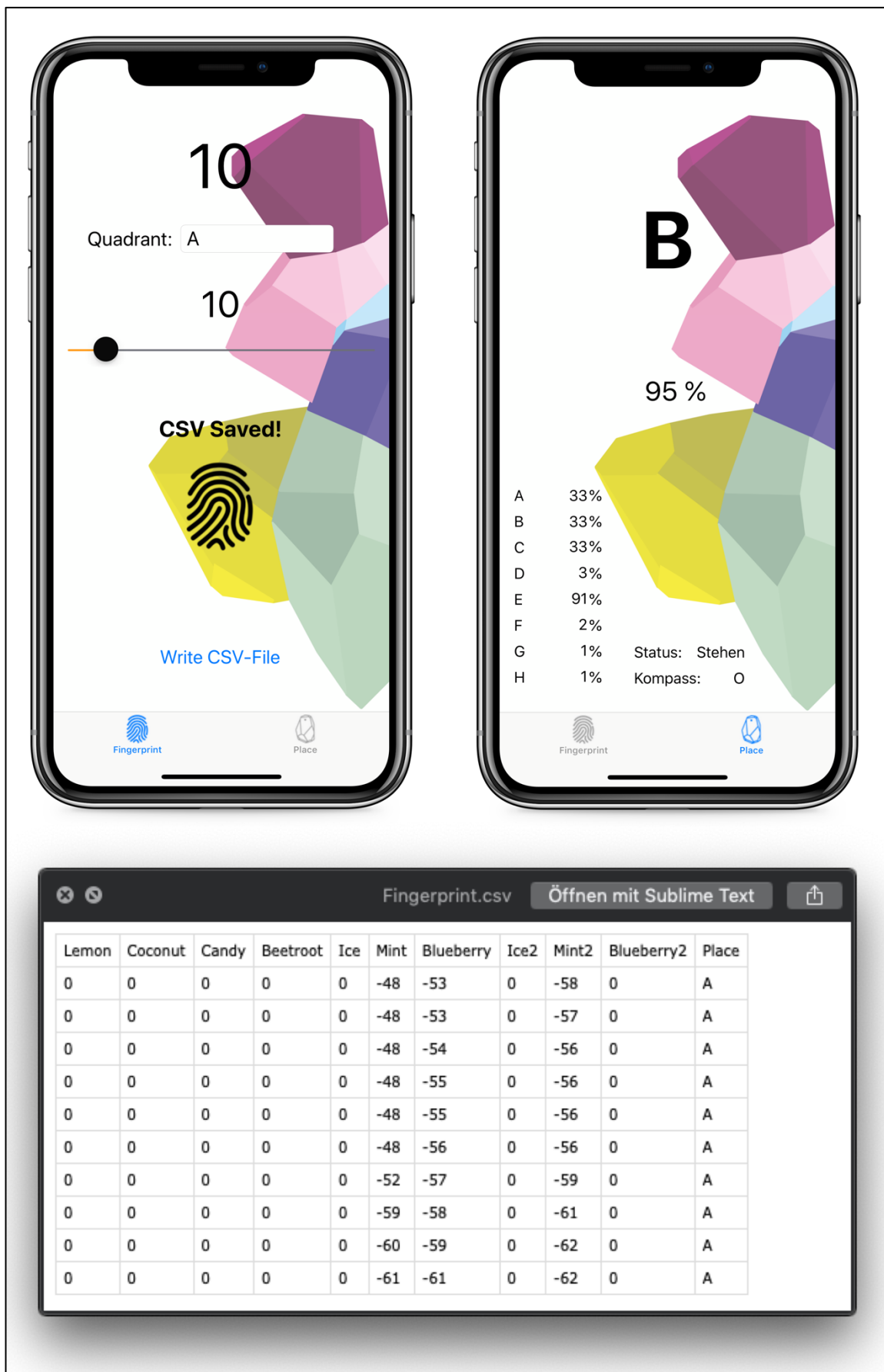
Interaktion:

- Was hat Ihnen an den Interaktionen gefallen und was nicht?
- Wenn Sie für eine Ausstellung Verantwortlich wären, welches Interaktionskonzept würden Sie verstärkt für Ihre Ausstellung wählen?

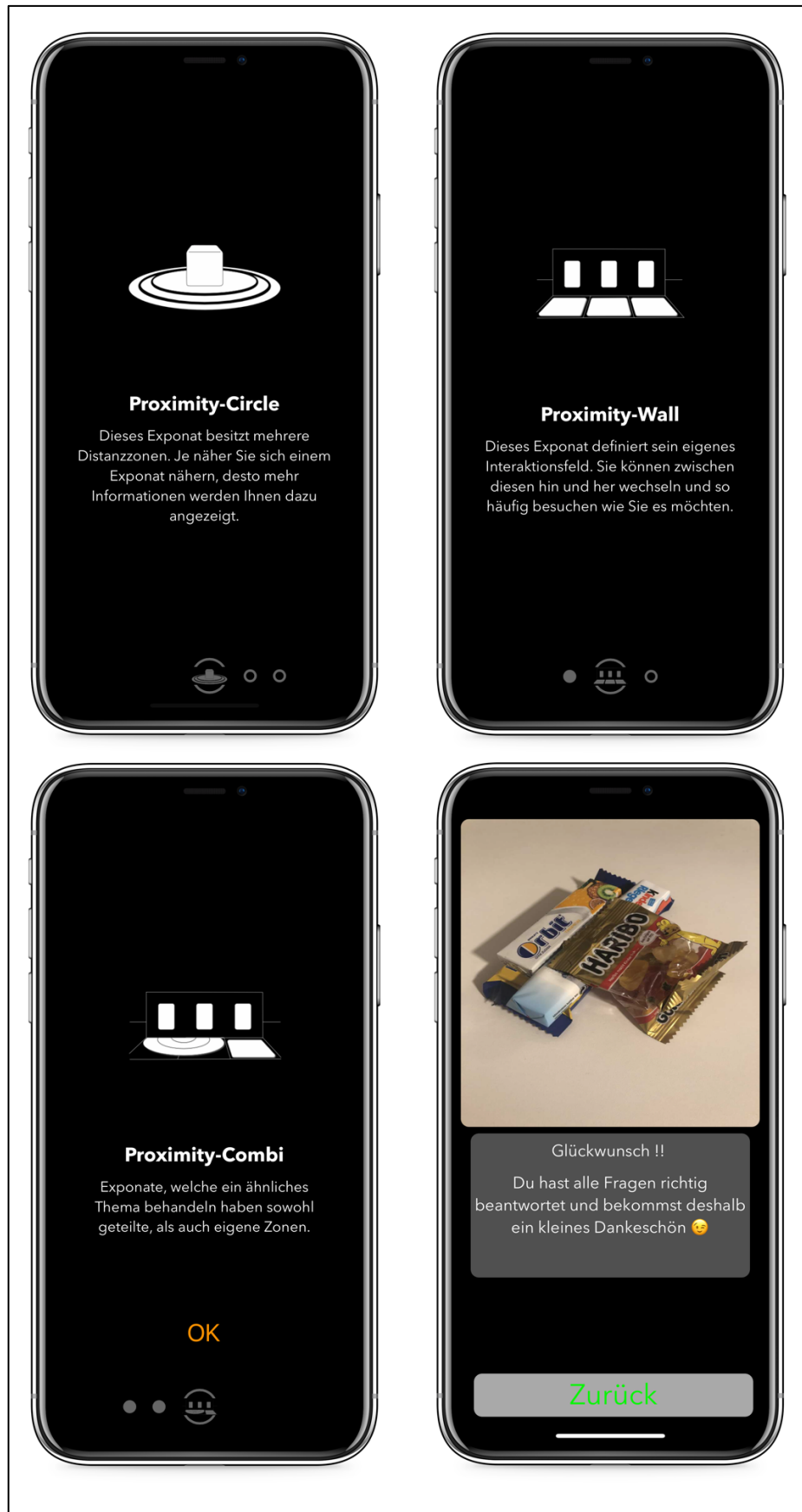
iMuseum:

- Gibt es 5 positive/negative Aspekte zu der App die Sie nennen können?
- Mit welcher Schwierigkeit hatten Sie am meisten zu tun?
- Gäbe es eine Funktion die Sie in der App zusätzliche gewünscht hätten?

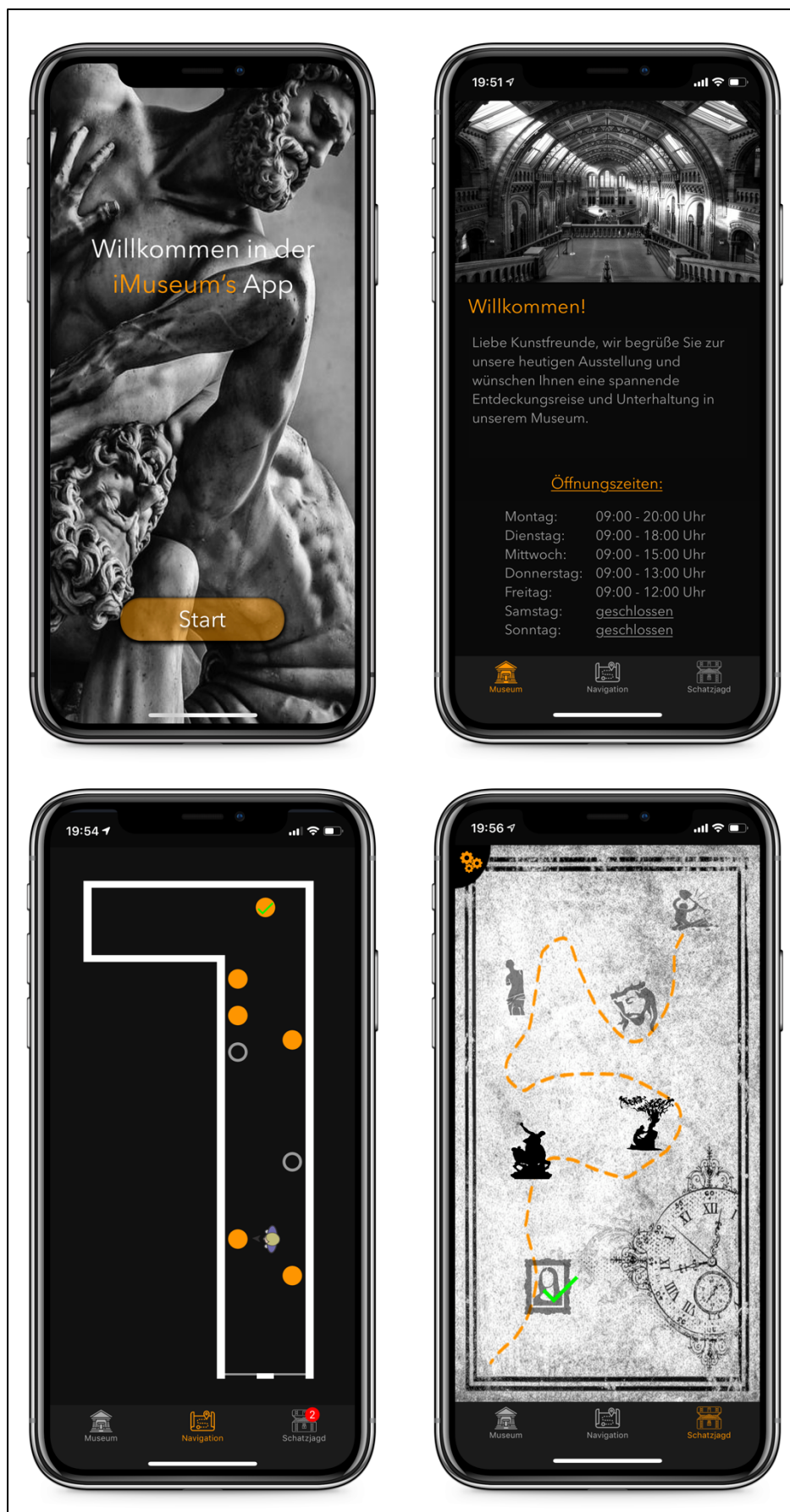
H. MLFingerprint



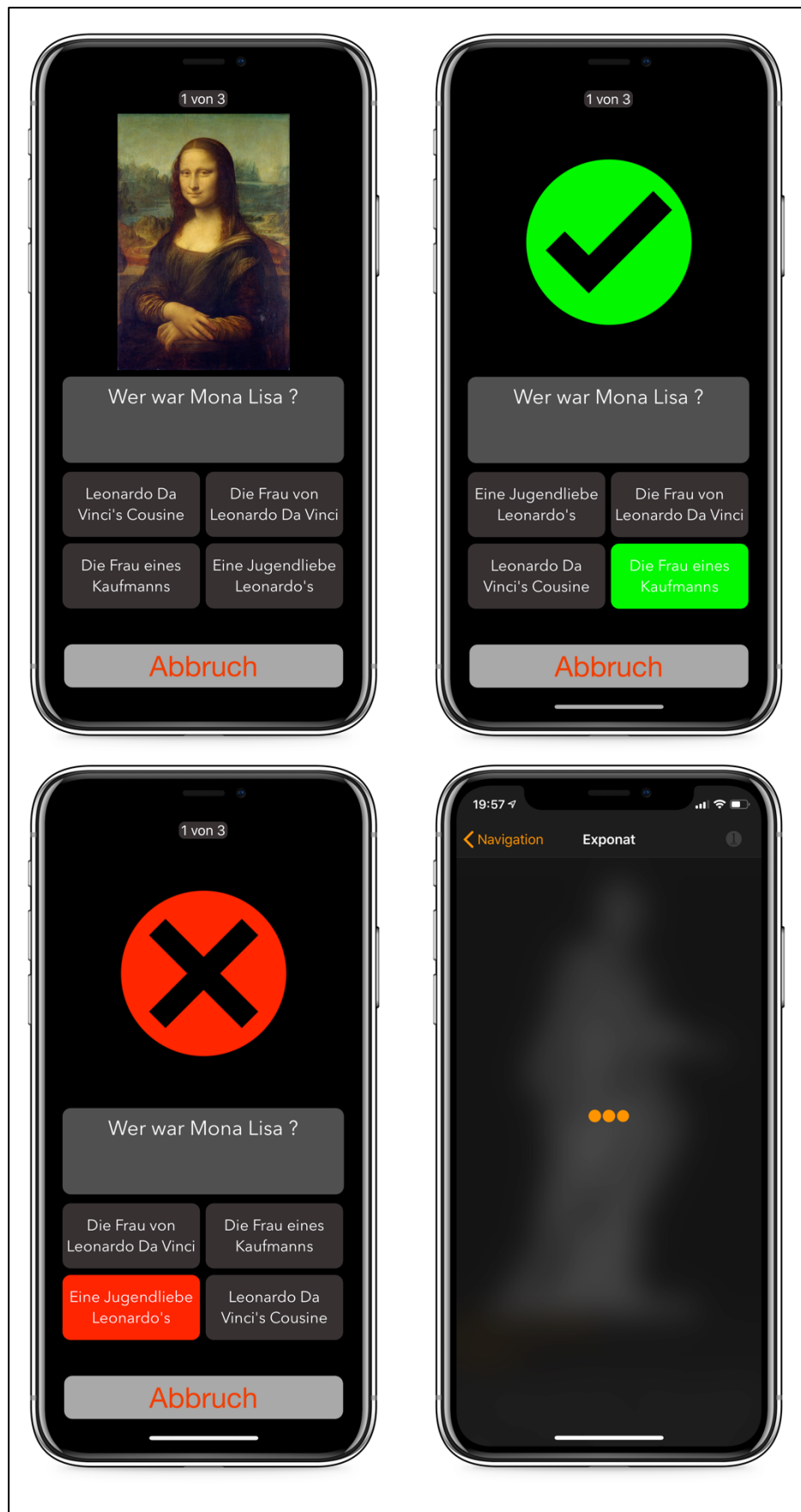
I. iMuseum Einführung



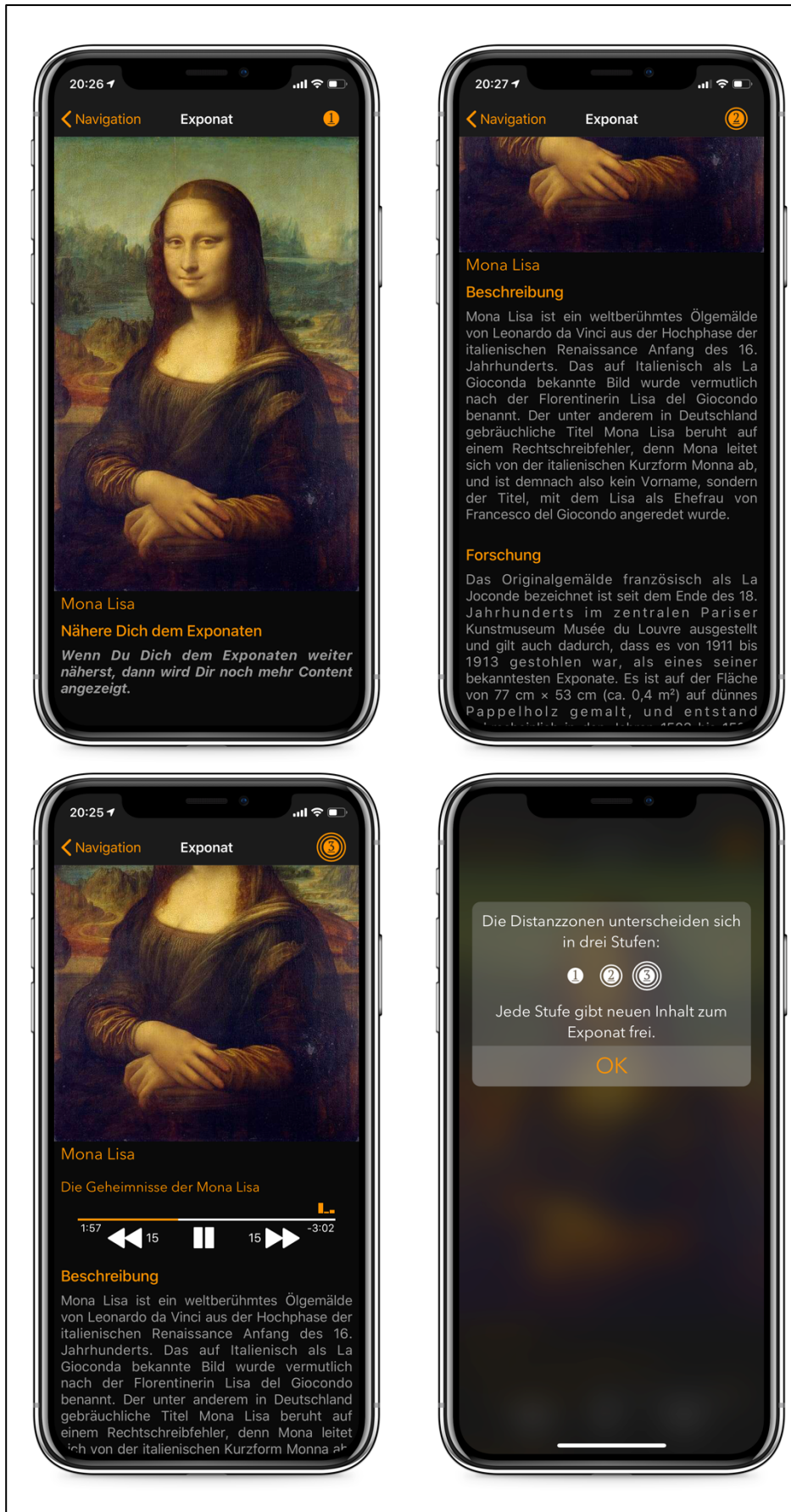
J.iMuseum Tab-Ansicht



K. iMuseum Quiz-Ansicht



L. iMuseum Exponat-Ansicht



M. Code: Kompassunterteilung

```
/// Wandelt aus dem Richtungsgrad in eine lesbare Richtung (N,O,S,W)
///
/// - Parameter from: Der Winkelgrad aus dem die Richtung ermittelt werden soll
/// - Returns: Gibt die vier möglichen Himmelsrichtungen zurück
func getDirection(from: Int) -> String {

    var direction = ""

    if from <= 45 || from > 315 { direction = "N"}
    if from > 45 && from <= 135 { direction = "O"}
    if from > 135 && from <= 225 { direction = "S"}
    if from > 225 && from <= 315 { direction = "W"}

    compassLabel.text = direction

    return direction
}
```

```
/// Ermittelt aus den gegebenen Richtungen die Wahrscheinlichen Places.
///
/// - Parameter direction: Richtung vom Kompass
/// - Returns: Places die in der Richtung liegen
func getPlacesBy(_ direction: String) -> [String] {
    var places = [String]()

    switch direction {

        case "N":
            places = ["A", "C", "E"]
            return places

        case "O":
            places = []
            return places

        case "S":
            places = ["B", "D", "F", "G"]
            return places

        case "W":
            places = ["H"]
            return places

        default:
            break
    }
    return places
}
```

N. Code: Predictionator

```
/// Gibt die neue Auswertung des ML in Abhängigkeit der Blickrichtung zurück
///
/// - Parameters:
///   - placeProbability: Auswertungen des Machine-Learnings
///   - direction: Momentane Blickrichtung
/// - Returns: Neue Liste von möglichen Positionen/Exponaten
func predictionator(placeProbability: [String: Double], direction: String) ->
[String: Int]? {

    var placeProb = [String: Double]()
    for item in getPlacesBy(direction) {
        placeProb[item] = placeProbability[item]
    }

    let sortedPrediction = placeProb.sorted {$0.1 > $1.1}

    if sortedPrediction.isEmpty {
        return [:]
    }

    return [(sortedPrediction.first?.key)!: (Int(((sortedPrediction.first?.value)!
* 100)))]
}
```