

# **InLiGation**

Konzeption und Evaluation einer lichtbasierten  
Indoor-Navigation im Kontext einer  
wissenschaftlichen Bibliothek

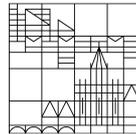
## **Bachelorarbeit**

vorgelegt von

**Daniel Bogenrieder**

an der

Universität  
Konstanz



**Mathematisch-Naturwissenschaftliche Sektion**

**Fachbereich Informatik und  
Informationswissenschaft**

- 1. Gutachter:** Prof. Dr. Harald Reiterer
- 2. Gutachter:** Prof. Dr. Bastian Goldlücke

**Konstanz, 2018**



## ZUSAMMENFASSUNG

---

Analoge Unterstützungen der Navigation im Freien, wie beispielsweise Karten, werden bereits seit tausenden von Jahren benutzt. Mithilfe von digitalen Technologien ist es mittlerweile möglich eine Lokalisierung des Nutzers im Innenraum vorzunehmen, wodurch eine Indoor Navigation ermöglicht wird. Für die Buchsuche in wissenschaftlichen Bibliotheken kann dies von großem Nutzen sein, denn hier wird zumeist auf wenig digitale bis hin zu analoge Navigationsmethoden zurückgegriffen. In einer Vorstudie wurde die typische Vorgehensweise einer Buchsuche durch Studierende untersucht und analysiert. Diese Analyse ergab, dass die Studenten unzufrieden mit dem bisherigen Vorgehen sind und somit eine große Anzahl an möglichen Optimierungen besteht. Auf Basis dieser Analyse wurde ein neues System entwickelt, welches die Problematiken lösen und eine neue Art der Navigation untersuchen soll. Bestehende Systeme verwenden zumeist das Display des Smartphones des Benutzers. Das neu geschaffene System „InLiGation“ ermöglicht durch das Leiten des Nutzers mit Hilfe von Lichtpunkten in der Umgebung eine andere Form der Navigation, welche den Nutzer unterstützt und eine zeitgleiche Interaktion mit der Umgebung ermöglicht.

## ABSTRACT

---

Analog tools to support navigation have been used for more than thousands of years. With the help of new technologies, it is now possible to track users in an indoor environment. For the book search in a scientific library this can be of great use, because often there are mostly analog or little digital forms of navigation support used to guide the user to his target location. A context analysis revealed, that the students are displeased with the current situation and that there is space for improvement. In conjunction with a state of the art analysis, this work presents „InLiGation“ a novel approach to assist user navigation. Traditional guidance systems make use of the display of the users' smart phone. InLiGation brings this to a new level. Through light points in the environment the user doesn't have to look onto his smartphone. The user simply has to follow light points and is meanwhile able to interact with its environment.



# INHALTSVERZEICHNIS

---

1	EINLEITUNG	1
2	GRUNDLAGEN & VERWANDTE ARBEITEN	3
2.1	Navigationen motive . . . . .	3
2.2	Wegfindung . . . . .	5
2.3	Wissenschaftliche Bibliothek als Navigationsort . . . . .	7
2.3.1	Lesbarkeit der Umgebung . . . . .	7
2.3.2	Beschilderung, Karten und Umgebung . . . . .	8
2.4	Bisherige Lösungsansätze . . . . .	10
2.4.1	Analoge Leitsysteme . . . . .	10
2.4.2	Digitale Leitsysteme . . . . .	11
2.5	Fazit & Anforderungen . . . . .	17
3	VORSTELLUNG DES STUDIENPROTOTYPS INLIGATION	21
3.1	Szenario . . . . .	21
3.2	Konzepte & Funktionsweise . . . . .	22
3.2.1	Android-App . . . . .	23
3.2.2	Licht-Beacon . . . . .	24
3.2.3	Bluetooth-Beacon . . . . .	26
3.3	Zusammenfassung . . . . .	33
4	EVALUATION DES PROTOTYPEN	35
4.1	Forschungsfragen . . . . .	35
4.2	Datenerfassung . . . . .	37
4.3	Studiendesign . . . . .	38
4.3.1	Aufbau . . . . .	38
4.3.2	Ablauf . . . . .	39
4.3.3	Aufgabe . . . . .	40
4.4	Teilnehmer . . . . .	41
4.5	Ergebnisse . . . . .	41
4.5.1	Effizienz . . . . .	41
4.5.2	Task-Load . . . . .	42
4.5.3	Verständnis des Konzeptes . . . . .	45
4.5.4	Usability . . . . .	46
4.6	Diskussion und Einschränkungen . . . . .	48
5	ZUSAMMENFASSUNG & AUSBLICK	55
6	LITERATUR	59
7	ANHANG	65

## ABBILDUNGSVERZEICHNIS

---

Abbildung 1.1	Antike Karte vs. Karte von Berlin . . . . .	1
Abbildung 2.1	Wegfindung als Entscheidungsprozess . . . . .	6
Abbildung 2.2	Lesbarkeit von Karten anhand von einem Ausschnitt der Stadtkarte von New York . . . . .	9
Abbildung 2.3	Einblick in die Bibliothek der Universität Konstanz . . . . .	10
Abbildung 2.4	Hilfsmittel zur Orientierung in der Bibliothek der Universität Konstanz . . . . .	11
Abbildung 2.5	Analoge Leitsysteme, meist zu finden in öffentlichen Gebäuden . . . . .	12
Abbildung 2.6	Navigation mithilfe eines Projektors . . . . .	13
Abbildung 2.7	Öffentliche Displays als Hilfswerkzeuge zur Navigation . . . . .	14
Abbildung 2.8	Schritt für Schritt Navigation vs. komplette Karte mit eingezeichnetem Weg . . . . .	16
Abbildung 3.1	Ein mögliches Szenario des InLiGation Systems.	22
Abbildung 3.2	Funktionsweise des InLiGation Systems . . . . .	23
Abbildung 3.3	Umsetzung der App InLiGation . . . . .	25
Abbildung 3.4	Umsetzung der Navigation zum gewünschten Buch . . . . .	26
Abbildung 3.5	Vergleich Licht-Beacon mit und ohne Separatoren . . . . .	27
Abbildung 3.6	Vergleich verschiedener Lokalisierungstechnologien . . . . .	28
Abbildung 3.7	Funktionsweise der Trilateration . . . . .	29
Abbildung 3.8	Hardware Komponenten des Bluetooth-Beacons.	30
Abbildung 3.9	Modell des InLiGation-Beacon Gehäuses . . . . .	31
Abbildung 3.10	Beacon Positionen und empfangene RSSI Werte	33
Abbildung 4.1	Lageplan der N-Bibliothek mit eingezeichneten Standorten der zu suchenden Bücher . . . . .	40
Abbildung 4.2	Ergebnisse des NASA-TLX Fragebogens . . . . .	42
Abbildung 4.3	Einordnung der Ergebnisse des SUS-Fragebogen nach Bangor et al. . . . .	48

## TABELLENVERZEICHNIS

---

Tabelle 4.1	Forschungsfragenn und deren Messgrößen . . . . .	37
-------------	--	----

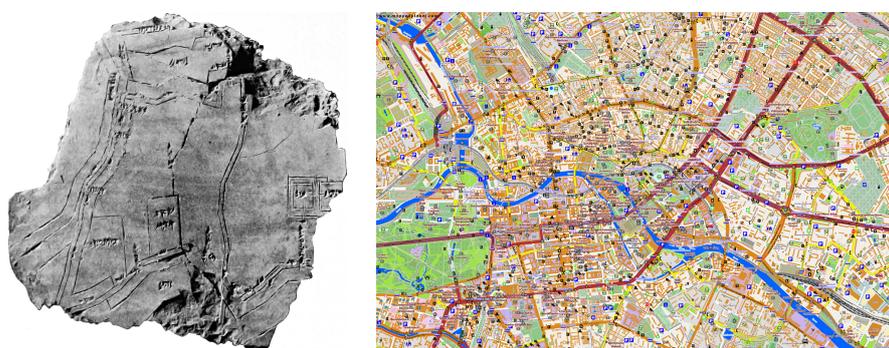
Tabelle 4.2	Benötigte Zeit der Teilnehmer für die einzelnen Systeme . . . . .	42
Tabelle 4.3	Ergebnisse des Nasa-TLX Fragebogens für die Kategorie „Geistige Anforderung“ . . . . .	43
Tabelle 4.4	Ergebnisse des Nasa-TLX Fragebogens für die Kategorie „Körperliche Anforderung“ . . . . .	43
Tabelle 4.5	Ergebnisse des Nasa-TLX Fragebogens für die Kategorie „Zeitliche Anforderung“ . . . . .	44
Tabelle 4.6	Ergebnisse des Nasa-TLX Fragebogens für die Kategorie „Leistung“ . . . . .	44
Tabelle 4.7	Ergebnisse des Nasa-TLX Fragebogens für die Kategorie „Empfundene Anstrengung“ . . . . .	44
Tabelle 4.8	Ergebnisse des Nasa-TLX Fragebogens für die Kategorie „Frustration“ . . . . .	45
Tabelle 4.9	Auswertung der SUS Fragebögen. Die Skala reicht von null bis vier. . . . .	47
Tabelle 4.10	Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse hinsichtlich der Effizienz. . . . .	48
Tabelle 4.11	Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse hinsichtlich des Task-Loads. . . . .	49
Tabelle 4.12	Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse hinsichtlich des Verständnis des Konzeptes. . . . .	50
Tabelle 4.13	Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse hinsichtlich der Usability. . . . .	52



## EINLEITUNG

---

Seit Anbeginn der Zeit ist die Navigation ein wichtiges Thema der Menschheit. Die erste gefundene Karte wurde bereits 6200 v. Chr. in Form einer Wandmalerei angefertigt [24]. Sie zeigt den Lageplan eines Dorfes und die Berggipfel, des neben dem Dorf befindlichen Vulkans. Mit zunehmender Besiedlung und wachsendem Handel wurden die Karten immer komplexer. Wie in [Abbildung 1.1](#) zu sehen ist, wurden physische Karten bald zu unübersichtlich. Daraufhin wurden Karten mit weniger Details, aber für speziellere Zwecke entwickelt. Ein Beispiel hierfür sind U-Bahn Pläne, welche bis auf wenige Anhaltspunkte nur die U-Bahn Linien zeigen. Mit neuen Technologien und zunehmender Digitalisierung der Kartographie etablierten sich digitale Karten. Diese Digitalisierung ermöglichte es Details auf Karten zu reduzieren und erst nach einer Zoom-Geste anzuzeigen. Dank ubiquitären Geräten, dem Global Positioning System (GPS) und dem Internet kann der Nutzer heute Schritt für Schritt von nahezu jedem Punkt der Welt zu einem anderen geführt werden [2, 16, 37, 43, 47, 53].



**Abbildung 1.1:** Tontafel mit dem Stadtplan von Nippur (1400 v. Chr.) [50] vs. Karte von Berlin (heute) [35]

Doch nicht nur die Komplexität der Städte und Umgebungen ist markant gestiegen, sondern auch die Komplexität innerhalb von Gebäuden. Mehrere Etagen und verzweigte Gänge machen es dem Nutzer schwer die Orientierung zu wahren. Insbesondere trifft dies auf große öffentliche Einrichtungen zu. In diesen Gebäuden befinden sich oft viele verschiedene Abteilungen, welche von den Besuchern dieser Gebäude gefunden werden müssen. Aufgrund ihrer Größe und Komplexität haben besonders die wissenschaftlichen Bibliotheken mit dieser Problematik zu kämpfen. Viele Studenten leihen sich nur selten Bücher aus und kennen sich aufgrund dessen nicht gut in der Biblio-

thek aus. Zudem besitzen wissenschaftliche Bibliotheken eine große Anzahl an verschiedenen Themengebieten, welche möglicherweise in verschiedenen Gebäuden lokalisiert sind. Nicht nur diese Komplexität fordert eine Unterstützung der Navigation, sondern auch die Tatsache, dass in Bibliotheken typischerweise eine Vielzahl an Suchaufgaben erledigt wird.

Bestehende Navigationssysteme, wie beispielsweise Google Maps<sup>1</sup> oder Apple Maps<sup>2</sup> können in Innenräumen nicht eingesetzt werden, da die Ortung mittels Satelliten nur mit direktem Sichtkontakt zu diesen funktioniert [21]. Des Weiteren liegt dem Navigieren in Innenräumen eine ganz andere Umgebung zugrunde, welche zu neuen Problemen führt. Beispielsweise können viele Verzweigungen in Gebäuden eine andere Art der Benutzerführung verlangen, als es im Freien der Fall wäre. Aufgrund dessen muss überprüft werden, in wie weit sich die bestehenden Methoden zur Nutzerführung im Freien eignen und für die Navigation im Innenraum übertragen lassen. In zahlreichen Forschungsarbeiten wurden bereits alte Ansätze überprüft und neue vorgestellt [38]. Viele dieser Lösungen setzen auf den Display des Smartphones des Nutzers, welcher die Aufmerksamkeit von diesem auf sich zieht. Diese Arbeit verfolgt einen anderen Ansatz, welcher den Fokus des Nutzers auf der Umgebung belässt.

Diese Bachelorarbeit beschreibt die Entwicklung und Evaluation des „InLiGation“ Systems. Hierzu werden in [Kapitel 2](#) die theoretischen Grundlagen zur Navigation vorgestellt. Um die zugrunde liegenden kognitiven Prozesse einer erfolgreichen Navigation besser verstehen zu können, wird ein kurzer Einblick in die Kognitionspsychologie gegeben. Basierend auf diesen Erkenntnissen folgen Rahmenbedingungen, die der Kontext einer wissenschaftlichen Bibliothek mit sich bringt. Im Weiteren werden dann die bereits erforschten Navigationsformen vorgestellt. [Kapitel 3](#) beschäftigt sich mit der Entwicklung des Studienprototyps „InLiGation“. Dafür werden zunächst die aus den Grundlagen abgeleiteten Anforderungen vorgestellt. Als nächstes erfolgt die Vorstellung des umgesetzten Konzepts. Des Weiteren wird auf die technische Umsetzung eingegangen und die Technik zur Lokalisierung der Nutzer näher beschrieben. Das vierte [Kapitel](#) stellt die durchgeführte Studie näher vor. Hierzu werden zu Anfang die Forschungsfragen vorgestellt. Anschließend wird die Durchführung der Studie beschrieben und darauf folgend die Ergebnisse vorgestellt und diskutiert. Das Kapitel schließt mit einer Zusammenfassung und der Beantwortung der Forschungsfragen. Das letzte [Kapitel](#) fasst die Arbeit zusammen und gibt einen Ausblick auf mögliche Erweiterungen und folgende Arbeiten.

---

<sup>1</sup> [www.googlemaps.com](http://www.googlemaps.com) (besucht am 01.05.18)

<sup>2</sup> <https://www.apple.com/de/ios/maps/> (besucht am 01.05.18)

In diesem Kapitel werden die theoretischen Grundlagen für die Entwicklung eines Indoor-Navigationssystems vorgestellt. Um die Prozesse einer Navigation besser zu verstehen, werden zu Beginn zwei Bereiche der Navigation vorgestellt. Dies ist zum einen die Motivation einer Suche, welche in [Abschnitt 2.1](#) näher vorgestellt wird. Zum anderen besteht eine Navigationsaufgabe aus einem Wegfindungsprozess. Um diesen besser zu verstehen werden in [Abschnitt 2.2](#) die Theorien der kognitiven Prozesse der Navigation erläutert. Als Nächstes wird in [Abschnitt 2.3](#) erörtert, welche speziellen Einflüsse und Anforderungen der Kontext einer wissenschaftlichen Bibliothek hat. Anschließend werden in [Abschnitt 2.4](#) exemplarisch einige bereits existierende Arbeiten vorgestellt. Auf Basis dieser Grundlage werden in einem abschließenden Fazit die Anforderungen und Einschränkungen erarbeitet, welche die vorgestellten Theorien bedingen.

## 2.1 NAVIGATIONSMOTIVE

Die Motive für eine Suche können ganz unterschiedlich sein. Die folgende Unterteilung orientiert sich an der Theorie von Bowman et al. [8]. Bowman unterscheidet hierbei die drei Motive: Explorieren, Suchen und Manövrieren.

Exploration zeichnet sich dadurch aus, dass der Suchende kein konkretes Ziel hat. Anstelle dessen versucht der Nutzer Informationen über die Umgebung und die darin enthaltenen Objekte zu erlangen. Diese Art der Suche wird meist am Anfang einer Interaktion getätigt, um ein grobes Verständnis der Umgebung zu erlangen. Aufgrund der Natur einer Exploration, muss diese Serendipität, also das zufällige Finden von Objekten, wie beispielsweise weiteren Büchern, unterstützen und kann nicht auf einen festgelegten Pfad aufbauen. Um dies zu ermöglichen, muss die kognitive Belastung der Nutzer so gering wie möglich gestaltet werden. Nur dann können die kognitiven Ressourcen des Nutzers für eine explorierende Tätigkeit genutzt werden. Im Kontext einer Bibliothek kann das Explorieren ein Bestandteil einer Buchsuche sein. Sucht der Nutzer nach keinem bestimmten Buch, sondern will lediglich Lektüre zu einem gewissen Thema finden, verfolgt er bei seiner Suche kein festes Ziel, sondern lässt sich durch die gefundenen Bücher in den Regalen inspirieren. Erdenklich ist zusätzlich, dass der Nutzer während der Navigation eine Entdeckung in einem Regal macht und somit den vorgeschriebenen Pfad zu seinem Buch verlässt [5]. Demnach ergeben sich zwei Ziele. Zum einen soll

die Umgebung kennen gelernt werden. Zum anderen sollen Zufallsfunde und das Stöbern in der Bibliothek ermöglicht werden.

Das Navigationsmotiv „Suche“ befasst sich mit dem Finden eines vorher bereits bekannten Ziels. Der Nutzer hat also bereits zu Beginn der Suche Informationen über die finale Position des gesuchten Objekts. Dies muss jedoch nicht heißen, dass der Nutzer den Weg zu dem Objekt kennt. Bowman unterscheidet weiter zwischen einer naiven und einer Suche mit vorhandenem Vorwissen. Hierbei wird unter einer naiven Suche verstanden, dass der Nutzer den Weg zum gesuchten Objekt nicht kennt und noch nie gesehen hat. Die Suche mit Vorwissen hingegen beschreibt den Fall, dass der Weg bekannt ist. In welchem Grad der Weg bereits bekannt ist, liegt auf einem breiten Kontinuum. Hierbei kann der Benutzer bereits wenig bis keine Erfahrung über den Weg haben, bis hin zu ausgeprägtem Wissen über die Umgebung. Dieses Motiv wird vermutlich in den meisten der Fälle der Buchsuche auftreten.

Beim Manövrieren handelt es sich um die meist kleinen und präzisen Bewegungen, um ein bestimmtes Ziel zu erreichen. Manövrieren könnte als Unterpunkt von der Suche geführt werden, jedoch würden die sehr speziellen Anforderungen dieser präzisen Bewegung vernachlässigt werden. Bowman vergleicht es mit dem Lesen von Informationen in einer 3D Umgebung. Hierbei ist darauf zu achten, dass der Nutzer sehr nah und mit dem richtigen Winkel zum Text stehen muss, um diesen leicht lesen zu können. Im Falle einer Bibliothek kann dies als die detaillierte Navigation innerhalb eines Regals gesehen werden. Der Nutzer hat das entsprechende Regal bereits gefunden und muss innerhalb des Regals das richtige Buch finden. Dieser Vorgang klingt trivial, ist jedoch oft mit einem hohen zeitlichen Aufwand verbunden. Das gesuchte Buch kann auf verschiedenen Ebenen des Regals sein und bis auf die genaue Bezeichnung des Buches ist nichts bekannt. Jedes dieser drei Motive stellt eine unterschiedliche Vorgehensweise der Suche dar. Dadurch stellt auch jedes dieser drei Motive eigene Anforderungen an die App, welche bei dem Design eines Systems berücksichtigt werden müssen. Somit darf zum Beispiel für eine Exploration der Fokus des Nutzers nicht zu stark auf die App selbst gelenkt werden, sondern muss dem Nutzer die Möglichkeit und die Zeit geben sich frei zu bewegen. Bei einer Suche hingegen muss die App eine möglichst präzise Beschreibung zum Ziel geben. Die Form einer solchen Beschreibung kann natürlich variieren. Um das Manövrieren zu unterstützen, sollte eine App beim Finden der groben Position des Zieles eine feinere Navigation bis zum Ziel unterstützen. Diese drei Implikationen finden sich später in den Anforderungen des Systems wieder und werden in [Abschnitt 2.5](#) näher erläutert.

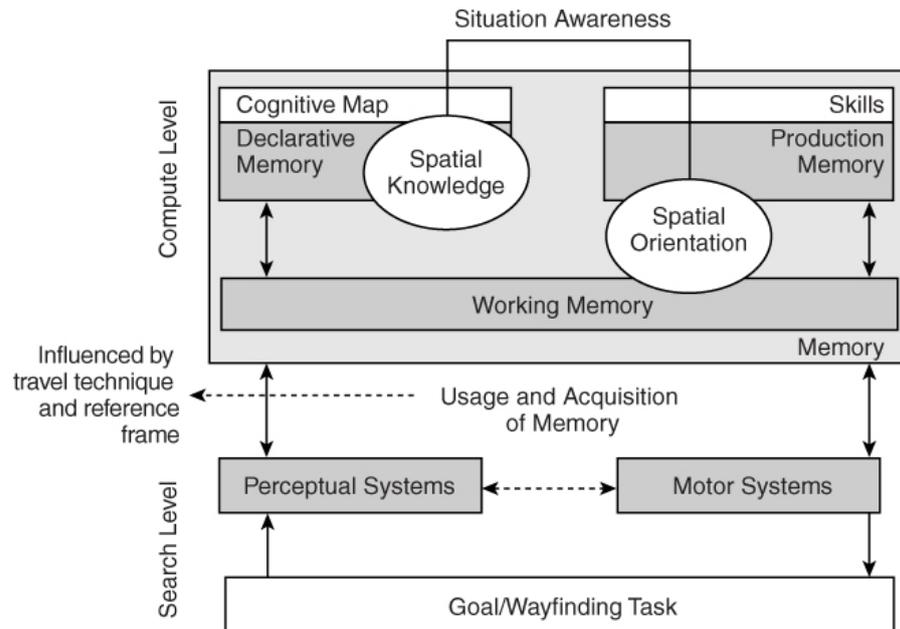
## 2.2 WEGFINDUNG

Bowman teilt den Prozess der Navigation in zwei elementare Teile ein. Dies ist zum einen das Reisen zum Ziel und zum anderen die Wegfindung [8]. Für diese Arbeit ist vor allem die Wegfindung von großem Interesse. In unbekanntem oder weniger bekannten Umgebungen einen Weg zu finden ist eine große Herausforderung, bei welcher das später vorgestellte System unterstützen soll. Die Reise zum Ziel beschreibt Bowman als die motorische Komponente der Navigation. Diese kann in dieser Arbeit vernachlässigt werden, da die Navigation durch natürliches Laufen zu dem Ziel umgesetzt wurde und somit bereits bekannt ist.

Wegfindung (engl. wayfinding) ist der kognitive Prozess, um eine Route von einem momentanen Standort zu einem festgelegten Ziel zu finden [14]. Dieser Prozess ist in [Abbildung 2.1](#) anhand einer Grafik dargestellt und soll die verschiedenen benötigten Prozesse verdeutlichen. Navigation beinhaltet kognitive Komponenten und involviert Entscheidungen zu treffen, die Planung im Voraus und ein intensives Denken im Bezug auf die nachfolgende Bewegung. Dazu gehört auch die Entwicklung eines räumlichen Verständnisses. Dies wird genutzt, um die momentane Position zu bestimmen und einen Weg von dieser Position zu dem festgelegten Ziel zu finden. Um dies zu ermöglichen, muss eine Repräsentation der Umgebung zugrunde liegen. Wie genau diese Repräsentation aussieht und wie die einzelnen Stufen der Repräsentation erreicht werden, ist bis heute eine ungeklärte Frage. In [Abbildung 2.1](#) ist dieser Prozess lediglich als ein vereinfachter Prozess dargestellt. Viele Arbeiten bauen jedoch auf dem Modell von Siegel & White auf, welches die Entwicklung räumlichen Wissens in drei hierarchische Stufen einteilt und ihnen eine zeitliche Abfolge zuweist [40]. Diese Unterteilung ist vermutlich immer noch zu einfach, dennoch bietet sie eine hilfreiche und anschauliche Unterscheidungshilfe [19]. Im Folgenden werden die drei Bereiche des räumlichen Wissens nach Siegel & White vorgestellt [40].

### *Landmarkenwissen*

Landmarken sind markante Objekte, welche für eine räumliche Orientierung genutzt werden können. In der Literatur werden Landmarken meist in zwei Gruppen eingeteilt, die globalen- und die lokalen Landmarken. Globale Landmarken können zu jeder Zeit und von jedem Ort aus gesehen werden. Lokale Landmarken dagegen dienen nur in einer bestimmten Zone zur Orientierung. Somit könnte zum Beispiel ein großer Berg als globale Landmarke gesehen werden, ein markantes Gebäude jedoch nur als lokale Landmarke. Zum Landmarkenwissen gehören noch keine Vernetzungen, beziehungsweise Relationen, der unterschiedlichen Landmarken und enthalten somit



**Abbildung 2.1:** Wegfindung als Entscheidungsprozess. Der Nutzer trifft Entscheidungen über wo er sich befindet und wohin er gehen möchte in dem er „Input“ verarbeitet (Informationen aus der Umgebung) und daraufhin „Output“ generiert (Bewegung entlang eines Pfades). Übernommen aus Bowman et al. [8]

nur geringe Informationen über Distanzen zueinander [18, 19, 40]. Hätten Probanden, ohne Routenwissen, die Aufgabe, alle Landmarken auf einer Karte einzuzichnen, sollte eine zufällige Anordnung dieser entstehen [45]. Daraus folgt, dass eine erfolgreiche Navigation mittels Landmarken höchstens zufällig erfolgen kann. Durch das Fehlen des räumlichen Wissens bei dieser Stufe, gehen einige Autoren davon aus, dass Landmarkenwissen als Vorstufe zum Routenwissen gesehen werden kann [18]. Andere Autoren gehen davon aus, dass Landmarkenwissen die Grundsteine für eine Vernetzung auf eine höhere Wissensstufe darstellt [41, 49].

### *Routenwissen*

Aus dem Namen lässt sich bereits ableiten, dass es sich bei Routenwissen um das Wissen über Pfade zwischen zwei oder mehreren Landmarken handelt. Es gilt als ein zeitlich-räumliches Sequenzwissen, wie es durch das Ablaufen eines Pfades erfahren wird [18, 52]. Es wird davon ausgegangen, dass Routenwissen abhängig von der erlernten Richtung ist. Das heißt, wenn ein Proband die Strecke von A nach B erlernt hat, heißt dies nicht zwangsläufig, dass er die Strecke von B nach A kennt [39]. Oft wird bei Routenwissen auch von einer egozentrischen Repräsentation des Erlebten gesprochen [48].

### *Überblickswissen*

Bei Überblickswissen handelt es sich am ehesten um eine Karte ähnliche Repräsentation des räumlichen Wissens. Das Wissen ist unabhängig von der eigenen Person [52] und hat starke Ähnlichkeiten mit dem Begriff des allozentrischen Referenzsystems und der kognitiven Landkarte. Überblickswissen wird auch oft mit Konfigurationswissen [40] oder Orientierungswissen [26] bezeichnet. Es handelt sich hierbei um die höchste Stufe des räumlichen Wissens nach Siegel & White [40]. Mit dieser Art von Wissen ist es nicht nur möglich bereits bekannte Routen und Pfade zu beschreiten, sondern Abkürzungen zu genießen und somit neues Wissen zu schaffen.

### *Kognitive Landkarte*

Die kognitive Landkarte (cognitive map) ist ein Konstrukt, welches erstmals von Tolman [44] beschrieben wurde. Dieser untersuchte das Wegfinden von Ratten in Labyrinthen. Hierbei konnte er zeigen, dass der Orientierung mentale Prozesse zugrunde liegen müssen. Tolman definiert die Karte als eine Ansammlung von Wissen von der Umgebung [44]. Vor allem wichtig sind dafür Routen, Wege und die Beziehungen dieser in der Umgebung. Tiere nutzen diese mentale Karte als Basis für Entscheidungen, wohin sie sich bewegen sollen. Doch nicht nur bei Tieren kommt diese Karte zum Einsatz. Auch für Menschen ist die kognitive Karte ein weit verbreitetes Konstrukt. Die Form dieses Konstruktes kann erhebliche Unterschiede aufweisen und reicht somit von einem rein hypothetischen Konstrukt über eine Metapher bis hin zu einem analogen Modell (vgl. Golledge, 1999) [19]. Die kognitive Landkarte repräsentiert am ehesten, was oft unter Überblickswissen verstanden wird.

## 2.3 WISSENSCHAFTLICHE BIBLIOTHEK ALS NAVIGATIONSORT

Da es sich beim Navigationsort um eine wissenschaftliche Bibliothek handelt, sind einige spezielle Eigenschaften dieses Ortes zu bedenken. Nachfolgend wird auf diese Eigenschaften näher eingegangen.

### 2.3.1 *Lesbarkeit der Umgebung*

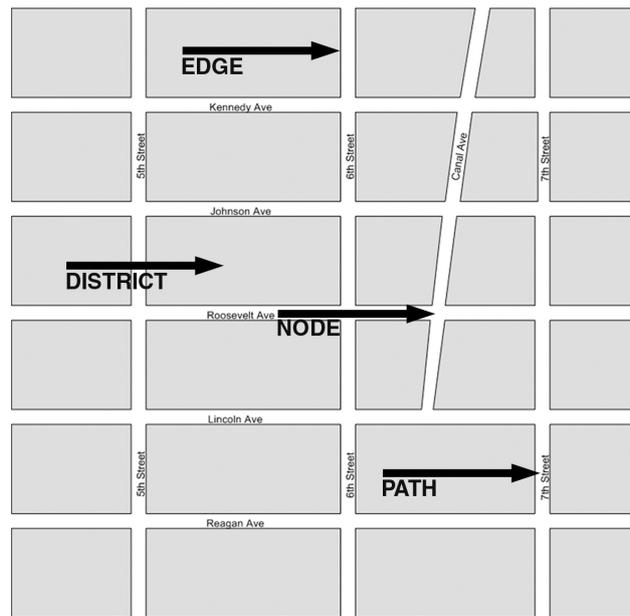
Die Lesbarkeit einer Stadt spielt eine entscheidende Rolle bei der Navigation. Lynch beschrieb bereits 1960 mehrere Grundsätze, um eine gute Stadtgestaltung zu erreichen [30]. Diese Techniken dienen vor allem dazu, dass sich Personen schnell in der Stadt zurechtfinden und die Grundstruktur dieser verstehen. Dabei definiert Lynch fünf wichtige grundlegende Einheiten, welche in [Abbildung 2.2](#) gesehen werden können. Es handelt sich dabei um Pfade, Kanten, Distrikte,

Knoten und Landmarken. Im Folgenden wird die Beschreibung von LaViola [25] vorgestellt und anschließend auf den Kontext einer Bibliothek transferiert. „Pfade werden für lineare Bewegungen benutzt und sind meist Straßen oder Bahngleise. Menschen sehen Städte oft aus dieser Perspektive. Kanten ähneln Pfade, sind jedoch nicht für die Bewegung gedacht, sondern begrenzen Gebiete. Es können natürliche Separatoren, wie Flüsse sein oder auch errichtete, wie zum Beispiel Mauern oder Wände. Distrikte sind eindeutige Gebiete und können zum Beispiel an der Bauweise der Häuser oder auch der Farbe erkannt werden. Knoten sind Sammelpunkte, somit meist große Kreuzungen oder Eingänge zu bestimmten Distrikten. Landmarken sind statische Objekte die einfach unterschieden werden können und meist nahe von Knoten liegen“ [Seite 479, 25]. Im Kontext einer Bibliothek finden sich diese Bereiche ebenfalls wieder. Pfade sind hiermit Gänge, welche durch die Regale geschaffen werden und von den Benutzern entlang gelaufen werden. Kanten sind architektonische Begrenzungen wie Wände und Geländer. Diese dienen um bestimmte Bereiche abzugrenzen und somit Distrikte zu schaffen. Ein Distrikt in einer Bibliothek wäre zum Beispiel der Buchbereich für die Physik. Knoten können sich in Form von Treppen, Eingänge oder Weggabelungen wieder finden. Landmarken können in einer Bibliothek verschiedene Formen annehmen. Im speziellen Fall der N-Bibliothek Konstanz, kann dies beispielsweise ein sehr großes Pendel in der Ebene N5 sein oder aber markante Gebilde im Raum (meist dienen hierfür Treppen). Landmarken wurden bereits in [Abbildung 2.2](#) näher beschrieben und bilden ein wichtiges Element, welches eine einfache Orientierung in einem unbekanntem Raum ermöglicht. Für diese Arbeit bedeutet dies, dass das System diese bestehenden markanten Punkte berücksichtigen muss, um so eine noch bessere Orientierung zu ermöglichen. Zusätzlich sollte ein System, welches auf Punkte in der Umgebung setzt, diese bereits vorgegebenen markanten Landmarken bedenken und wenn möglich nutzen.

### 2.3.2 *Beschilderung, Karten und Umgebung*

Die Struktur von wissenschaftlichen Bibliotheken ist meist sehr komplex. Durch die große Anzahl an verschiedenen Fachbereiche und eine Vielzahl von Büchern, verteilen sich die Bibliotheken meist über eine große Fläche mit mehreren Gebäuden und Stockwerken. Dies kann die Suche nach einem speziellen Buch für unerfahrene Personen sehr komplex werden lassen. Exemplarisch für eine wissenschaftliche Bibliothek kann in [Abbildung 2.3](#) ein Bild aus der Bibliothek der Universität Konstanz gesehen werden.

Wissenschaftliche Bibliotheken besitzen meist eine analoge Beschilderung und bieten dem Nutzer oft die Möglichkeit, sich einen Lageplan der Bibliothek anzeigen zu lassen. Dies ist auch der Fall in der



**Abbildung 2.2:** Lesbarkeit von Karten anhand von einem Ausschnitt der Stadtkarte von New York. Nach Lynch gibt es folgende Teile um eine lesbare Karte zu erreichen: Pfade, Kanten, Distrikte, Knoten und Landmarken. Übernommen aus Bowman et al. [8]

Universität Konstanz. Dem Besucher stehen sowohl eine Beschilderung als auch mehrere digitale Karten zur Verfügung. Bei den Karten handelt es sich um Lagepläne, welche jeweils eine Ebene der Bibliothek zeigen. In [Abbildung 2.4a](#) kann ein solcher Lageplan eingesehen werden. Auf diesem können die in [Unterabschnitt 2.3.1](#) vorgestellten Bereiche einer lesbaren Karte gesehen werden. Erfahrene Nutzer sollten kein Problem haben sich auf dieser Karte zurechtzufinden, da sie bereits eine ähnlich aussehende kognitive Landkarte aus ihren Erfahrungen erstellt haben sollten. Mit Hilfe dieser kann dann ermittelt werden, an welcher Position sich der Nutzer befindet und welche Wege er gehen muss, um sein gesuchtes Ziel zu finden. Unerfahrene Nutzer können nicht von diesem bereits existierenden Wissen profitieren und müssen sich in der unbekanntem Umgebung zurechtfinden. Für sie sind vor allem Landmarken wichtig, um sich schnell orientieren zu können. Da es sich bei dem Lageplan um einen digitalen Lageplan handelt, wäre es für den Nutzer von Vorteil einen Marker mit der eigenen Position zu sehen. Des Weiteren befinden sich in der Bibliothek Schilder mit Abkürzungen. In [Abbildung 2.4b](#) ist ein solches Schild dargestellt. Die Abkürzung steht hierbei für den Bereich, aus welchem die aufbewahrten Bücher stammen. Die Nummer hinter diesem Bereich steht dabei für die Position, an welchem sich das gesuchte Buch befindet. Um den Besuchern weiter zu helfen, hängt an jedem Regal eine Notiz, welche Zahlen sich jeweils auf der linken beziehungsweise rechten Seite des Regals befinden.



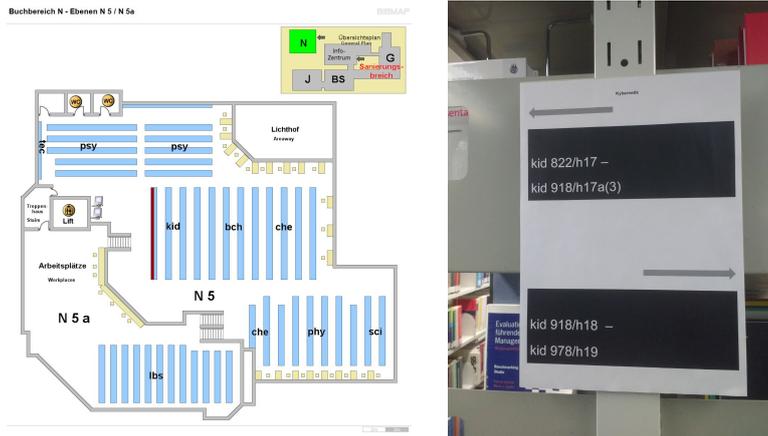
**Abbildung 2.3:** Bibliothek der Universität Konstanz. Regale erstrecken sich über mehrere Etagen und die Beschilderung ist für einen unerfahrenen Besucher schwer zu verstehen. [23]

## 2.4 BISHERIGE LÖSUNGSANSÄTZE

Leitsysteme sind häufig in öffentlichen Gebäuden zu finden. Sie helfen sich in einem unbekanntem beziehungsweise wenig bekannten Gelände zurechtzufinden. Ihre Aufgabe ist es, den Benutzer von einem beliebigen Ausgangspunkt zu seinem Ziel zu leiten. Dabei kann die Gestaltung solcher Systeme erheblich variieren und verschiedene Formen annehmen. In dem Kapitel werden die in der Seminararbeit bereits vorgestellten Leitsysteme erneut vorgestellt und um neue Systeme erweitert [6]. Im Folgenden sind die Leitsysteme in analog und digital untergliedert.

### 2.4.1 Analoge Leitsysteme

Das wohl bekannteste analoge Leitsystem ist die Karte. Egal ob von einer Stadt oder einem Gebäude, Karten werden überall eingesetzt. Doch Karten bringen Probleme mit sich. Gerade Nutzer mit einem schlechten Orientierungssinn könnten in unbekanntem Umgebungen Probleme haben sich mit Karten zurechtzufinden [43]. Deshalb gibt es zusätzlich zu Karten meist noch andere Hilfsmittel, welche das Wegfinden erleichtern sollen. In [Abbildung 2.5](#) sind zwei der gängigen analogen Leitsysteme dargestellt. Ein weiteres wurde bereits im vorherigen [Unterabschnitt 2.3.2](#) vorgestellt und kann in [Abbildung 2.4a](#) gesehen werden. Es handelt sich dabei um den Lageplan der Bibliothek Konstanz. Im Vergleich zu einer herkömmlichen Karte, sind auf einem Lageplan weitere Informationen eingezeichnet, wie beispiels-



(a) Lageplan der Ebene N5 der Universität Konstanz. Anhand markanter Punkte, wie den Treppen kann sich orientiert werden. Übernommen aus Universität Konstanz [46]

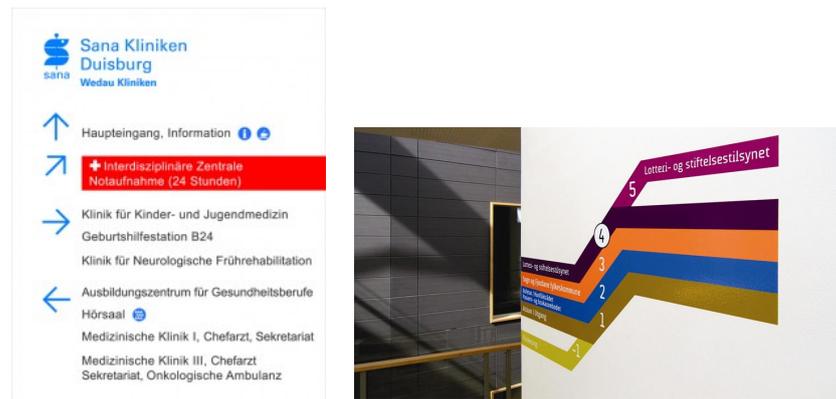
(b) Beschilderung der Universität Konstanz. Die Abkürzungen stehen für die Fachbereiche der Buchreihen

**Abbildung 2.4:** Hilfsmittel zur Orientierung in der Bibliothek der Universität Konstanz

weise die Position des gesuchten Buches. Doch ein Lageplan zeigt häufig nur den Überblick über eine Ebene der Bibliothek an. Dies kann zu Problemen für neue Nutzer werden. Die Nutzer wissen nicht, wie sie zu dieser Etage kommen sollen, oder wissen nicht wo sich die N-Bibliothek überhaupt befindet. [Abbildung 2.5a](#) zeigt ein Leitsystem, wie es derzeit oft in großen Gebäuden verwendet wird. Der Nutzer wird mithilfe von Pfeilen und Beschreibungen in die Richtung seines Zieles geleitet. Problematisch ist bei diesem Leitsystem, dass falls der Nutzer einen falschen Weg wählt, er dies erst bei der nächsten Beschilderung bemerkt. [Abbildung 2.5b](#) zeigt ein System, welches mittlerweile oft in öffentlichen Gebäuden und Arztpraxen vorgefunden wird. Die unterschiedlichen Orte bekommen jeweils eine spezielle Farbe zugewiesen. An der Wand werden dann in den Farben eingefärbte Linien angebracht, welche vom Eingang des Gebäudes beziehungsweise einem Anfangspunkt bis zu den jeweiligen Orten führen. Der Nutzer muss dann der entsprechenden Linie folgen und kommt somit an sein Ziel.

#### 2.4.2 Digitale Leitsysteme

Mittlerweile gibt es natürlich bei weitem nicht mehr nur analoge Möglichkeiten der Navigation. Mittels neuer technologischer Fortschritte konnten neue Formen der Leitsysteme geschaffen werden. Diese digitalen Systeme werden im Folgenden näher erläutert.



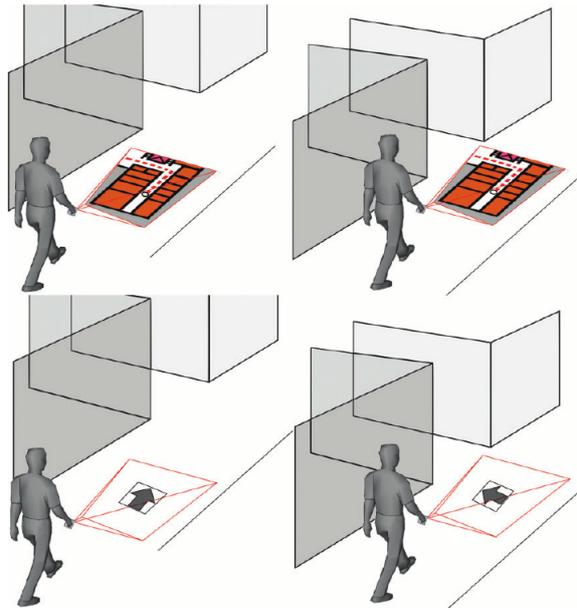
(a) Leitsystem der Sana Kliniken Duisburg. Mittels Pfeilen wird die gesuchte Richtung angezeigt. Übernommen aus Marketing [31].

(b) Leitsystem des Storehagen Atrium. Durch eine Farbkodierung wird der Besucher geleitet. Übernommen aus Kling und Krüger [22].

**Abbildung 2.5:** Analoge Leitsysteme, meist zu finden in öffentlichen Gebäuden.

### *Navigation durch Projektionen*

In einem Versuch von Arning et al. wurde 2012 ein Leitsystem mit Hilfe eines Smartphone-Projektors realisiert [2]. Hierbei wird an das Smartphone des Nutzers ein Smartphone-Projektor angebracht. Dieser projiziert eine Karte mit eingezeichneter Position des Nutzers vor ihm auf den Boden. Das Konzept dieser Navigation ist in [Abbildung 2.6](#) dargestellt. In der Arbeit von Arning et al. wird das System gegenüber dem gängigen Leitsystem mit Hilfe des Smartphone-Displays verglichen. Das Konzept die Navigation mit Hilfe von einem Projektor zu lösen stößt auf mehrere Probleme. Die auf den Boden projizierte Karte kann von allen umstehenden Personen eingesehen werden und somit fühlen sich Nutzer in ihrer Privatsphäre eingeschränkt [2]. Ein weitaus größeres Problem stellte aber die Lesbarkeit der Karte dar. Der benutzte Beamer hatte große Schwierigkeiten gegen Tageslicht anzukommen. Resultierend daraus hatten die Teilnehmer Probleme die Karte erkennen zu können. Das Ganze wurde durch Unebenheiten der Projektionsfläche zusätzlich verstärkt. Darüber hinaus berichteten die Teilnehmer über eine erhöhte Orientierungslosigkeit bei der Benutzung des Projektors gegenüber dem normalen Display. Dies begründeten sie damit, dass sie von der Umgebung nicht viel mitbekommen haben, da die Navigation auf dem Boden stattgefunden hat. Ein weiterer wichtiger Punkt ist die Energieversorgung des Beamers. Wird das ganze System nur mittels Smartphone-Akkus betrieben, wird sich dieser schnell entladen.



**Abbildung 2.6:** Prototyp einer Navigationsform mittels eines Smartphone Projektors. Die Route wird mittels eines Beamers auf den Boden projiziert. Übernommen aus Arning et al. [2]

#### *Navigation mit Hilfe von SmartSigns*

In mehreren Studien wurde bereits untersucht, inwiefern öffentliche Displays für die Navigation von Personen in Gebäuden genutzt werden könnten [29, 43]. Taher et al. nutzten Hermes2 Bildschirme von Mitarbeitern, um ein Indoor-Navigationssystem zu entwickeln ([Abbildung 2.7a](#)). Auf den Displays wurden, bei einer Navigation, Pfeile in die Richtung angezeigt, in die sich das Ziel befindet. Sie konnten damit zeigen, dass es Benutzer nützliche finden Richtungs-Hinweise während ihrer Suche zu bekommen. Zusätzlich konnten sie zeigen, dass es unterschiedliche Präferenzen bezüglich der Position der Displays gab. Lijding et al. nutzten öffentliche Displays, um Besucher einer Konferenz zu den entsprechenden Räumen zu leiten. Dabei konnten sie zusätzlich zu den Richtungen, Hinweise für einzelne Positionen anzeigen. In [Abbildung 2.7b](#) kann ein solches Display gesehen werden. Mit der Studie konnten sie zeigen, dass Besucher mit Hilfe von „Smart Signs“ schneller und mit weniger Fehlern zum Ziel gelangten [29]. Zusätzlich konnte gezeigt werden, dass die Testpersonen sehr zufrieden mit der Benutzung des Systems waren.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass externer Displays hilfreich während der Navigation eingesetzt werden können. Ein Problem im Kontext einer Bibliothek ist, dass oftmals keine Infrastruktur an öffentlichen Bildschirmen vorhanden ist und somit das Umsetzen eines solchen Systems mit hohen Kosten verbunden wäre.



(a) Hermes2 Büro Displays werden als Hilfe für die Navigation eingesetzt. Übernommen aus Taher et al. [43].



(b) Richtungsanweisungen auf öffentlichem Display. Übernommen aus Lijding et al. [29].

**Abbildung 2.7:** Öffentliche Displays als Hilfswerkzeuge zur Navigation.

### *Navigation mit Hilfe von einem Audioguide*

Navigation mittels einem Audioguide ist keine neue Idee und wurde bereits gut untersucht. Im speziellen Fall von Personen mit einer Sehbeeinträchtigung wurden bereits viele Projekte realisiert, um eine möglichst gute Unterstützung zu bieten [16, 32, 51]. Hierbei dient das System dazu, die Person zu lokalisieren und sie sicher zu ihrem Ziel zu leiten. Dies erreicht das System dadurch, dass sie die Person vor kommenden Hindernissen warnt und somit eine erfolgreiche Navigation in einer unbekanntem oder wenig bekannten Umgebung ermöglicht. Für den Kontext einer Bibliothek ist eine Navigation mittels Audio Feedback unpraktisch. In [Abschnitt 2.3](#) wurde bereits diskutiert, welche Anforderungen der Kontext einer Bibliothek an ein System stellt. Aufgrund der Anforderung, dass das System keine Geräusche erzeugen sollte, müssten alle Benutzer stets Kopfhörer tragen. Dies stellt eine erhebliche Einschränkung dar, denn nicht alle Besucher einer Bibliothek haben stets Kopfhörer dabei.

### *Navigation mit Hilfe von Vibration*

Ein anderer Ansatz ist es, die Navigation mittels haptischem Feedback, wie zum Beispiel von Vibration, zu lösen. Durch eine Form der Kodierung könnte der Nutzer an einem Entscheidungspunkt eine einfache Vibration als links abbiegen und eine zweifache Vibration als rechts abbiegen verstehen. Dadurch, dass nahezu alle Smartphones eine Vibration ermöglichen, wären die technischen Voraussetzungen für ein solches System gegeben. Vibration als Leitsystem wurden ebenfalls bereits in mehreren Studien näher untersucht, um die beste Form, Position und Frequenz für solch ein System zu finden [13, 28, 42]. Elliott et al. konnten zeigen, dass Vibration, bei einer Outdoor-Navigation mit hoher kognitiver Belastung, besser abschneidet als visuelle Displays. Der große Nachteil an einer Navigation mittels Vi-

bration ist, dass die Codierung der Bedeutung von den verschiedenen Vibrationsmustern weder verbreitet noch natürlich ist und somit gelernt werden müsste [9].

Sehr oft wird Vibration aber nicht als primäres Leitsystem verwendet, sondern dient meist nur als sekundäres Hilffsystem. So wurde zum Beispiel in der Universität Konstanz das System „NAVI“ geschaffen, welches Audio als primäres und Vibration als sekundäres Leitsystem benutzt [54]. Mit Hilfe einer Kinect<sup>1</sup> wird die Umgebung erfasst und durch Audio und Vibration wird der Benutzer vor Hindernissen gewarnt und ihm werden die nächsten Navigationsschritte erläutert.

#### *Navigation mit Hilfe des Smartphone Displays*

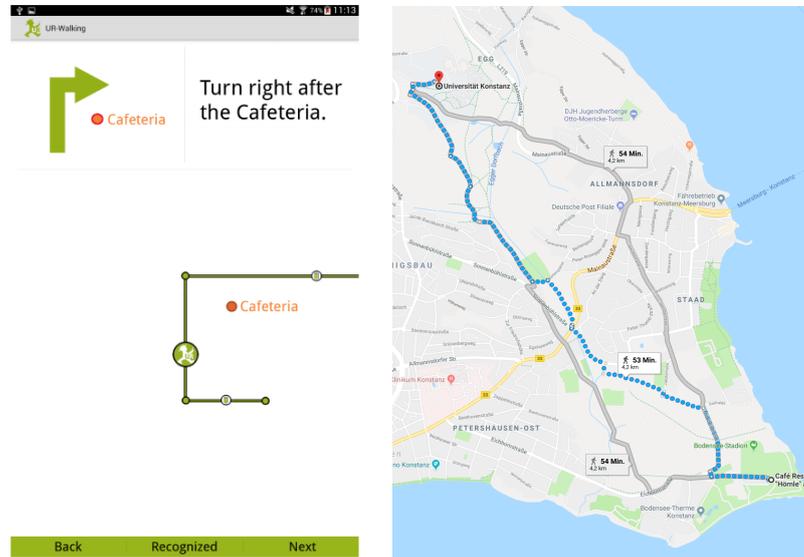
Der mittlerweile wohl am häufigsten genutzte Ansatz um den Nutzer an sein Ziel zu navigieren, ist die Navigation mittels einem Smartphone Display. Für diese Methode der Navigation gibt es bereits Design-Guidelines, wie ein solches System entwickelt werden soll [47]. Im Outdoor-Bereich hat sich für dieses Leitsystem die Applikation (App) Google Maps<sup>2</sup> durchgesetzt und lässt sich schwer ersetzen. Für den Indoor-Bereich gibt es viele verschiedenen Apps, die versuchen zu erreichen, was Google Maps für den Outdoor-Bereich geschafft hat. Die technischen Komponenten für ein solches System wurden bereits in der Seminararbeit beschrieben [6] und werden in [Unterabschnitt 3.2.3](#) genauer erläutert. Doch auch für die Navigation gibt es mehrere Ansätze. Im Folgenden wird auf die zwei gängigsten Methoden eingegangen. Die Navigation mittels einer Karte, welche durch zusätzliche Inhalte erweitert ist und die schrittweise Navigation. Ein Beispiel für jede dieser Methoden ist in [Abbildung 2.8](#) dargestellt. In [Abbildung 2.8a](#) ist eine Schritt für Schritt Navigation dargestellt. Hierfür wird dem Nutzer nur der nächste Schritt angezeigt. Erst wenn er diesen getätigt hat, wird ihm der nächste Schritt angezeigt. In vielen wissenschaftlichen Arbeiten wird mittlerweile eine solche Form der Navigation angeboten. Dies repräsentiert auch die Ergebnisse aus der Automobilindustrie, welche bereits seit längerem auf eine Schritt für Schritt Anleitung der Navigation setzt. Offenbar ist dies der effizienteste Weg, die Navigation in einem Auto zu unterstützen [11].

Die zweite Methode ist in [Abbildung 2.8b](#) dargestellt. Hierbei handelt es sich um eine Karte, welche durch einen blau markierten Weg erweitert ist. Zusätzlich zu diesem werden noch alternative Routenvorschläge in Grau dargestellt und die Zeit, welche für die jeweiligen Wege gebraucht wird. Diese zwei Methoden müssen aber in keiner Weise strikt getrennt voneinander benutzt werden. In vielen Systemen dient die Kartenansicht in [Abbildung 2.8b](#) dazu einen groben

<sup>1</sup> Microsoft Kinect <https://developer.microsoft.com/de-de/windows/kinect>(aufgerufen: 17.03.2018)

<sup>2</sup> Google Maps als Leitsystem. Navigiert wird mit Hilfe von GPS und einer Kartenansicht auf dem Smartphone. <https://www.google.de/maps>(aufgerufen: 17.03.2018)

Überblick über die Strecke zu bekommen und mögliche alternative Wege zu entdecken. Die Schritt für Schritt Anleitung von [Abbildung 2.8a](#) unterstützt den Benutzer dann meist während der aktiven Nutzung.



(a) Beispiel einer Schritt für Schritt Navigation. Einzelne Navigationsschritte werden nach und nach angezeigt. Übernommen aus Bauer, Müller, und Ludwig [4]

(b) Google Maps Anzeige der Navigation auf einer Karte. Der zu gehende Weg ist mit einer gepunkteten blauen Linie markiert. Erstellt in GoogleMaps [15]

**Abbildung 2.8:** Schritt für Schritt Navigation vs. komplette Karte mit eingezeichnetem Weg

### *Navigation mit Hilfe von Augmented Reality*

Durch technologischen Fortschritt kann mittlerweile die Wirklichkeit um digitale Inhalte erweitert werden. Dies wird unter dem Begriff „Augmented Reality“ zusammengefasst. Zum jetzigen Zeitpunkt wird für die Anzeige dieser digitalen Elemente der Display eines Smartphones benutzt, weswegen dieser Abschnitt als Unterabschnitt von [Abbildung 2.4.2](#) gesehen werden kann. Jedoch ermöglicht die Nutzung von Augmented Reality komplett neue Möglichkeiten, weshalb ein eigener Abschnitt dafür vorgesehen wurde. Des Weiteren gibt es bereits viele Ansätze, den Display des Smartphones durch eine Anzeige an einer Augmented Reality Brille zu ersetzen. Einige der bekanntesten Brillen sind hierbei: Microsoft HoloLens<sup>3</sup>, Google Glas<sup>4</sup> und Meta2<sup>5</sup>. Doch diese Brillen sind technisch noch nicht reif für

<sup>3</sup> Microsoft HoloLens <https://www.microsoft.com/de-de/hololens>(aufgerufen: 17.03.2018)

<sup>4</sup> Google Glas <https://www.x.company/glass/>(aufgerufen: 17.03.2018)

<sup>5</sup> Meta2 <https://www.metavision.com/>(aufgerufen: 17.03.2018)

einen Einsatz im alltäglichen Leben und bringen noch einige Nachteile mit sich, weshalb das Smartphone-Display von vielen Anwendungen bevorzugt benutzt wird. Für die Navigation in einer Bibliothek könnte diese Technologie sehr nützlich sein, denn zusätzlich zu den Navigationshilfen, kann die Umgebung weiterhin im Auge behalten werden. Störend bei der Nutzung des Smartphone-Displays könnte jedoch sein, dass das Smartphone dann während der Benutzung hochgehalten werden müssten, um die erweiterten Inhalte der kommenden Strecke zu sehen. In einem studentischen Projekt Namens „BookPath<sup>6</sup>“ wurde ein solches System umgesetzt. Mittels Augmented Reality wird der Nutzer von seiner Startposition bis hin zu dem gesuchten Buch über digitale Pfeile navigiert.

#### *Navigation mit Hilfe von Licht*

Die Möglichkeit mittels Licht eine Navigation zu realisieren, ist keine neue. Bereits vor tausenden von Jahren nutzten Mensch Sterne als Orientierungspunkte, um ihren Weg zu finden. Auch heute finden sich einige Beispiele, in welchen Licht genutzt wird, um sich zu orientieren beziehungsweise zu navigieren. Piloten nutzen die Lichter der Start- und Landebahnen von Flughäfen, um sich nachts daran ausrichten zu können. Seefahrer nutzen auch heute noch Leuchttürme, um vor Küsten gewarnt zu werden und sich bei schlechten Sichtverhältnissen orientieren zu können. All diese Systeme nutzen den Vorteil, dass die Navigation mittels Licht durch die Umgebung passiert und somit das Sichtfeld des Nutzers stets auf der Umgebung liegt. Im Kontext einer wissenschaftlichen Bibliothek könnte dies den Vorteil bringen, dass die Nutzer sicher während ihrer Suche von weiteren Büchern inspirieren lassen können. Wie genau das System funktioniert, kann in [Kapitel 3](#) nachgelesen werden.

## 2.5 FAZIT & ANFORDERUNGEN

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die kognitiven Prozesse der Wegfindung bereits gut erforscht sind [14, 19, 25, 40, 44]. Eine Vielzahl von Systemen versuchen sich dies bereits zu Nutzen zu machen [2, 16, 29, 32, 51, 54]. Es konnte bisher kein System zu einer Indoor-Navigation mittels Licht gefunden werden. Das mit dieser Arbeit neu entwickelte Konzept wird im nächsten Kapitel näher erläutert. Es weist jedoch Ähnlichkeiten zu den beiden Smartsign Systemen auf. Diese konnten bereits zeigen, dass Hinweise auf dem Weg durch öffentliche Displays für die Besucher nützlich sind [29, 43] und zu einem geringeren kognitiven Aufwand führen. Aus den erarbeiteten Theorien können die folgenden Anforderungen erhoben werden:

<sup>6</sup> BookPath ein System der Universität Konstanz <https://www.youtube.com/watch?v=PcXNvTer0U4> (aufgerufen: 17.03.2018)

**A 1.** *Um eine Exploration zu unterstützen muss das System eine Navigation durch die Umgebung ermöglichen.*

Diese Anforderung stammt aus dem [Abschnitt 2.1](#). Sollte der Fokus der Nutzer nicht auf der Umgebung liegen, ist es ihnen nicht möglich, die Umgebung wahrzunehmen und somit weitere interessante Bücher zu finden. In einer Bibliothek ist dies jedoch ein wesentlicher Teil und darum sollte ein Navigationssystem in einer solchen Umgebung dieser Anforderung gerecht werden.

**A 2.** *Um die kognitive Beanspruchung des Besucher möglichst gering zu halten, sollte das System eine Navigation ohne vorheriges Wissen der Umgebung ermöglichen.*

Aus [Abschnitt 2.2](#) sollte klar sein, dass das Aneignen von Umgebungswissen kognitive Belastung des Nutzers erfordert. Um eine niedrige kognitive Belastung zu erreichen, darf deshalb kein Umgebungswissen der Nutzer vorausgesetzt werden. Zusätzlich bringen die Besucher einer wissenschaftlichen Bibliothek verschiedene Stufen an Vorwissen mit. Um somit allen Besuchern eine erfolgreiche Navigation zu ermöglichen, darf kein Vorwissen dieser benötigt werden.

Zusätzlich ergeben sich aus dem Kontext einer wissenschaftlichen Bibliothek einige strikte Anforderungen, welche bei dem Design eines neuen Systems erfüllt werden müssen:

**A 3.** *Das System sollte andere Besucher nicht ablenken.*

Resultierend aus der Tatsache, dass die Bibliothek von vielen Besuchern zum konzentrierten Arbeiten genutzt wird, darf das System diese nicht davon abhalten. Dadurch darf das System nicht zu viel Aufmerksamkeit auf sich lenken. Das Maß zwischen genug Aufmerksamkeit, sodass ein Benutzer noch in der Lage ist, der Navigation zu folgen und zu viel Aufmerksamkeit ist hierbei nicht klar definiert und sollte ferner überprüft werden. In dieser Arbeit konnte dies nur in Form einer informellen Befragung von interessierten Studierenden erfolgen und muss dementsprechend mit Vorsicht genossen werden. Bei der nächsten Anforderung handelt es sich um eine Anforderung, welche auch aus dem Kontext einer wissenschaftlichen Bibliothek resultiert. Es kann vorkommen, dass mehrere Studenten gleichzeitig ein Buch suchen. Gerade an Knotenpunkten wie dem Eingangsbereich, wichtigen Kreuzungen oder Treppen, kommt dieser Fall vermehrt vor. Da Menschen im allgemeinen nicht gerne warten, muss das System mehrere Nutzer gleichzeitig leiten können. Aufgrund von Zeitmangel und einem anderen Fokus, konnten diese Anforderung nur theoretisch bedacht werden und konnte nicht im Prototyp realisiert werden.

**A 4.** *Mehrere Nutzer sollten das System gleichzeitig nutzen können.*

Die technische Affinität der Besucher einer wissenschaftlichen Bibliothek variiert extrem. Da das System für alle Benutzer zugänglich sein sollte, muss sichergestellt werden, dass jeder das System benutzen kann. Zusätzlich benötigt eine Kalibrierung durch den Nutzer Zeit, welche viele Studenten nicht bereit sind zu opfern.

**A 5.** *Das System darf keine Kalibrierung durch den Nutzer erfordern.*

Anforderungen A1-A5 wurden als Grundlage für das Implementieren des Studienprototyps „InLiGation“ verwendet. Dieser wird im nächsten Kapitel näher vorgestellt.



## VORSTELLUNG DES STUDIENPROTOTYPS INLIGATION

---

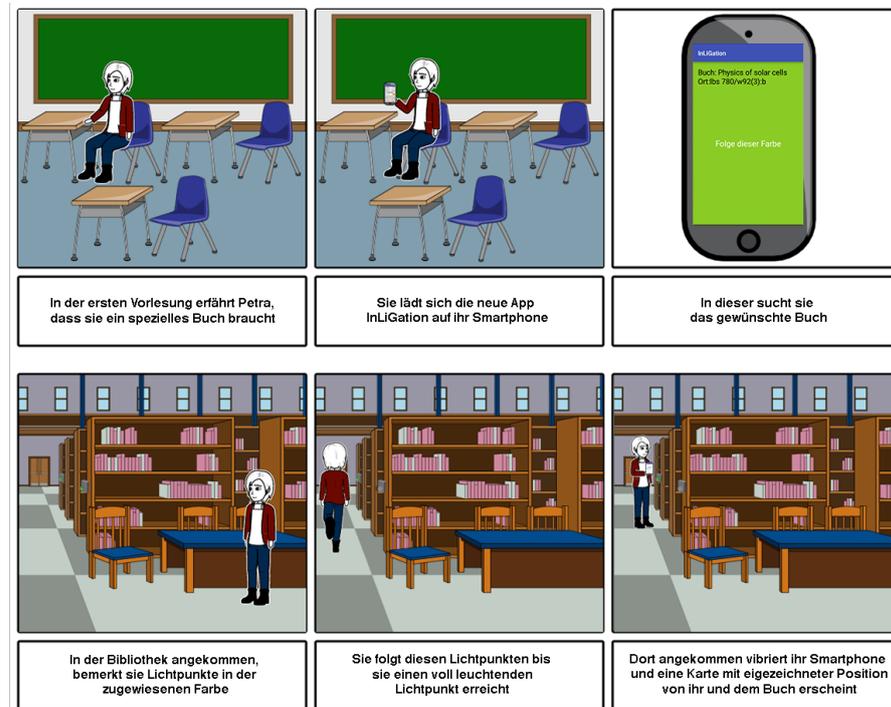
In diesem Kapitel wird der Prototyp des gebauten Systems vorgestellt und näher beschrieben. Aufgrund der bereits erfolgten Beschreibung im Projektbericht, wird dieses Kapitel nur die wichtigsten Bestandteile und Konzepte wiederholen und vertiefen. Sollten genauere Informationen erwünscht sein, beziehungsweise technologische Aspekte nicht ausreichend tief erklärt sein, könnten diese Informationen aus dem Projektbericht entnommen werden [7]. Um das System besser nachvollziehen zu können, startet das Kapitel mit einem Szenario. In diesem wird ein möglicher Anwendungsfall des neu geschaffenen Systems vorgestellt. Anschließend werden die drei Komponenten des Systems näher erläutert. Diese bestehen aus der App, dem Licht-Beacon und dem Bluetooth-Beacon. Beacons sind in diesem Kontext die kleinen Sendeeinheiten, welche für den Studienprototypen entworfen wurden.

### 3.1 SZENARIO

Das folgende Szenario soll eine typische Buchsuche mittels des neu geschaffenen Systems darstellen. Um ein besseres Bild davon zu haben, wie dies aussehen soll, ist in [Abbildung 3.1](#) eine bildliche Version des Szenarios abgebildet.

Petra ist eine Studentin an der Universität Konstanz. Sie hat erst vor kurzem begonnen in Konstanz zu studieren und kennt sich noch nicht besonders gut aus. In der ersten Vorlesung hat der Professor bekannt gegeben, dass sich die Vorlesung an einem Buch orientieren wird. Um sich daheim bereits mit der Vorlesung auseinandersetzen zu können, möchte Petra sich das Buch von der Bibliothek ausleihen. Von einem Kommilitonen hat Petra erfahren, dass es für die Bibliothek Konstanz eine neue App gibt, mit welcher sich Bücher einfach finden lassen. Aufgrund dessen, lädt sich Petra die App auf ihr Smartphone und begibt sich zum Eingang der Bibliothek. Dort angekommen sucht sie in der App das passende Buch und startet die Navigation. Ihr Display wechselt daraufhin zu einer grünen Farbe und die Aufschrift: „Folge dieser Farbe“ erscheint. Daraufhin sieht sie auch schon den ersten grünen Lichtpunkt vor ihr aufleuchten und vermutet, dass sie sich zu diesem bewegen soll. Sie merkt recht schnell, dass die Lichtpunkte eine Richtung anzeigen, welche sie vermutlich zu dem nächsten Lichtpunkt führt. Diesen folgt sie so lange, bis sie

voll ausgefüllten Lichtpunkt sieht. Kurz bevor sie diesen Lichtpunkt erreicht fängt ihr Smartphone an zu vibrieren und eine Karte der Bibliothek erscheint. Auf dieser Karte ist ihre jetzige Position und die Position des Buches eingezeichnet. Sie versucht daraufhin das gesuchte Buch an der eingezeichneten Position auf der Karte zu finden. Nach kurzem Suchen auf den verschiedenen Ebenen der Regale hat Petra ihr Buch gefunden und freut sich, wie einfach diese Suche funktioniert hat.



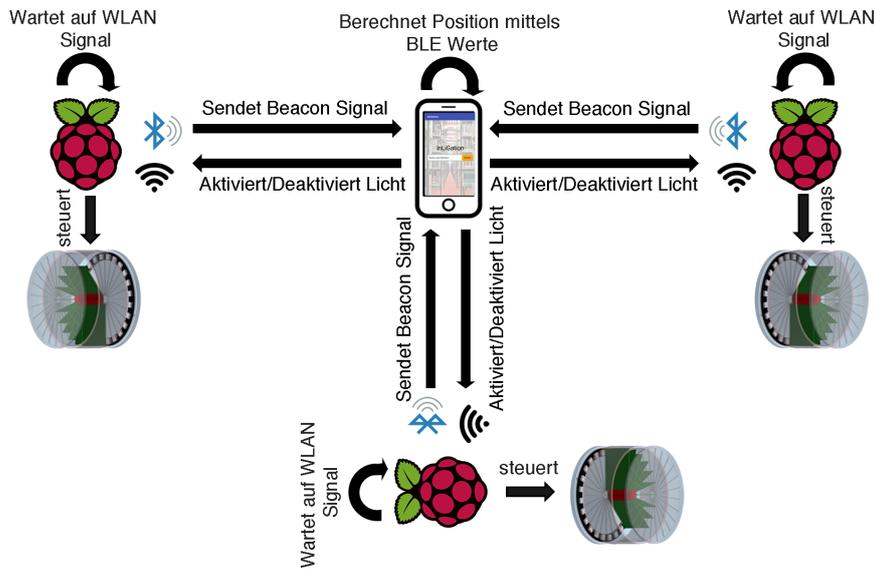
**Abbildung 3.1:** Ein mögliches Szenario des InLiGation Systems. Die Studentin Petra versucht ein Buch für eine Vorlesung zu finden.<sup>1</sup>

### 3.2 KONZEPTE & FUNKTIONSWEISE

Im folgenden Unterkapitel werden die Konzepten und die Funktionsweisen des InLiGation Systems vorgestellt. Der erste Teil widmet sich den bedienten Konzepten und erklärt wie diese im implementierten System zum Einsatz kommen. Der nächste Teil behandelt die technische Umsetzung und die Probleme, welche bei der Implementierung festgestellt wurden. In [Abbildung 3.2](#) kann das Zusammenspiel der einzelnen Komponenten eingesehen werden. Hierbei kann die Umsetzung in drei verschiedene Bereiche eingeteilt werden: Smartphone App, die Steuerung der Lichtkreise und die Bluetooth-Beacon Einheit.

<sup>1</sup> Erstellt mit der Website Storyboardthat <https://www.storyboardthat.com/storyboard-creator>(aufgerufen: 12.04.2018)

Die folgenden Unterkapitel richten sich entlang dieser Struktur und erläutern die drei Bereiche.



**Abbildung 3.2:** Funktionsweise des InLiGation Systems. Raspberry Pi's dienen als Server und steuern Lichter. Das Smartphone dient zur Lokalisierung und Steuerung der Pi's.

### 3.2.1 Android-App

Die Android-App stellt die Schnittstelle dar, durch welche Nutzer mit dem System interagieren können. Die App selbst ist schlicht gehalten und orientiert sich an den positiven Bewertungen einer Vorstudie, in welcher Studenten nach dem aktuellen System befragt wurden. [Abbildung 3.3](#) zeigt alle vorhandenen Screens der App. Durch das Starten der App öffnet sich der Screen, welcher links oben ersichtlich ist. Auf diesem, hat der Nutzer lediglich die Möglichkeit einen oder mehrere Suchbegriffe in den Suchleiste einzugeben. Dieses Element wurde aus bekannten Suchmaschinen wie Google<sup>2</sup> oder KonSearch<sup>3</sup> übernommen. Hat der Nutzer die Suchbegriffe eingegeben und auf den daneben stehenden Button geklickt, landet er in der Ansicht rechts oben. Hier bekommt er alle Resultate der Suche angezeigt. Hilfreich ist hierbei ein Symbol neben dem Titel des Buches, welches anzeigt, um was für eine Art von Literatur es sich dabei handelt. Mögliche Arten sind zum Beispiel: e-Book, Volltext, Paper oder Artikel. Hat der Nutzer den richtigen Eintrag gefunden, gelangt er durch einen Klick auf diesen in die Detailseite des Buches (Bild links unten). Auf dieser befindet sich das Bild des Buches, sowie alle Einträge, welche

<sup>2</sup> [www.google.com](http://www.google.com)

<sup>3</sup> <https://konstanz.summon.serialssolutions.com>

über das Buch bekannt sind. Zudem bietet sich am Ende der Ansicht eine Liste mit allen verfügbaren Exemplaren des Buches. Neben diesen Exemplaren gibt es den Button „Navigation Starten“. Durch das Drücken auf diesen Button wird die Navigation zu diesem Exemplar gestartet und der Nutzer sieht den letzten Screen der Abbildung. Der Hintergrund ist in der Farbe eingefärbt, welcher der Nutzer folgen soll und die Aufforderung, dass er dieser Farbe folgen soll, wird angezeigt. Dies ist der Punkt ab welchem der Nutzer, bis zum Erreichen des richtigen Regals, sein Smartphone nicht weiter benötigt. Da dieser Teil nicht mehr durch die App, sondern durch die Lichtnavigation erfolgt, wird dieser Bereich der Navigation näher in [Unterabschnitt 3.2.2](#) beschrieben.

Sobald der Nutzer das richtige Regal erreicht hat, fängt sein Smartphone an zu vibrieren und gibt dem Nutzer somit ein Zeichen, dass er sich an der Zielposition befindet. Zusätzlich zu diesem haptischen Feedback zeigt der letzte Licht-Beacon keine Richtung mehr an, sondern ist komplett mit Farbe gefüllt. Auf dem Screen des Smartphones wird der auf [Abbildung 3.4a](#) befindlichen Screen dargestellt. Auf diesem wird die Buchposition und die momentane Position des Nutzers auf einer vergrößerten Karte dargestellt. Ab diesem Punkt ist der Nutzer erneut auf das Display seines Smartphones angewiesen.

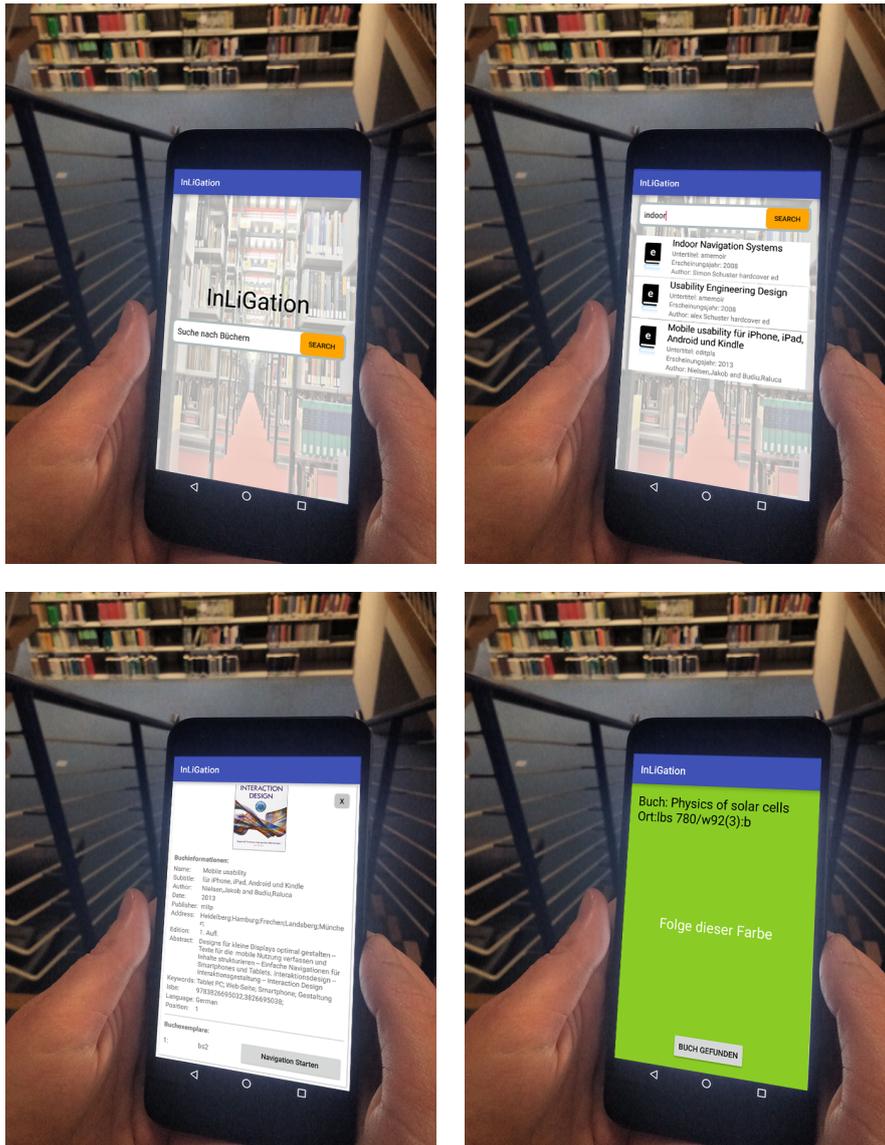
Um ein Vergleichssystem, zu dem InLiGation System zu haben, wurde zusätzlich zu dieser eine Kartennavigation implementiert. Diese ist in [Abbildung 3.4b](#) abgebildet. Hierbei wird dem Nutzer der Lageplan der Bibliothek, sein momentaner Standort und die Zielposition angezeigt.

### 3.2.2 *Licht-Beacon*

Der Licht-Beacon ermöglicht es dem Nutzer durch die Umgebung navigiert zu werden. Die Funktions- und Bauweise dieser wichtigen Komponente wird im Folgenden näher erläutert.

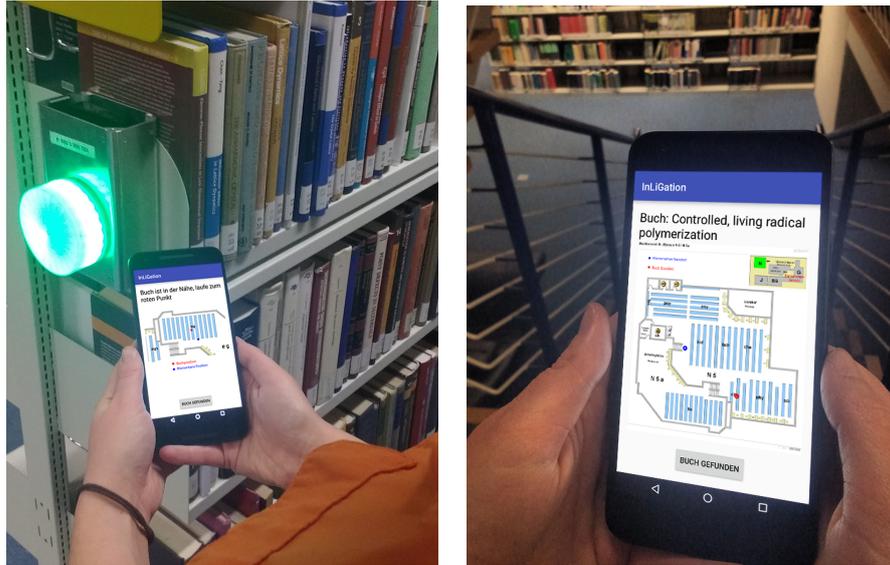
#### *Hardware*

Für die Umsetzung der Licht-Beacon wurde auf ein NeoPixel Ring mit 24 verschiedenen Lichtpixeln gesetzt. Dieser Ring ermöglicht es jeden einzelnen Lichtpixel anzusteuern und in einer eigenen Farbe darzustellen. Dies wird benötigt, um die Anforderung aus [A4](#) zu erfüllen und mehreren Nutzern eine gleichzeitige Interaktion zu ermöglichen. Der Prototyp wird in [Abbildung 3.5a](#) dargestellt. Hier wird bereits ein Problem deutlich: Die Farben der einzelnen Lichter interferieren miteinander und dadurch sind die Farben selbst bei naher Distanz schwer voneinander zu unterscheiden. Um dieses Problem zu lösen, wurden zwischen den einzelnen Lichtpunkten Blechscheiben, sogenannte Separatoren, eingezogen, um somit kleine Lichtkammern zu erschaffen [\[36\]](#). In [Abbildung 3.5b](#) ist deutlich zu sehen, dass die



**Abbildung 3.3:** Umsetzung der App InLiGation. Die vier Screens zeigen die anfängliche Suche nach einem Buch. Nach Abschluss dieser beginnt die Lichtnavigation.

Separatoren die einzelnen Farben gut voneinander abtrennen können und eine Farbunterscheidung ermöglichen. Zusätzlich zu dem Vorteil, dass die einzelnen Lichtpixel eine Multinutzbarkeit ermöglichen, wurden sie benutzt, um dem Nutzer eine Richtung anzuzeigen. So leuchten zum Beispiel nur die Lichtpixel auf der rechten Seite, falls der Nutzer nach rechts gehen soll. Dadurch hat der Nutzer den Vorteil, dass er weiß in welcher Richtung sich der nächste Licht-Beacon befindet und nicht lange danach ausschau halten muss.



(a) Ziel wurde erreicht, genaue Position des Buches wird näher dargestellt

(b) Nutzer sieht eigenen Standort und Standort des Buches

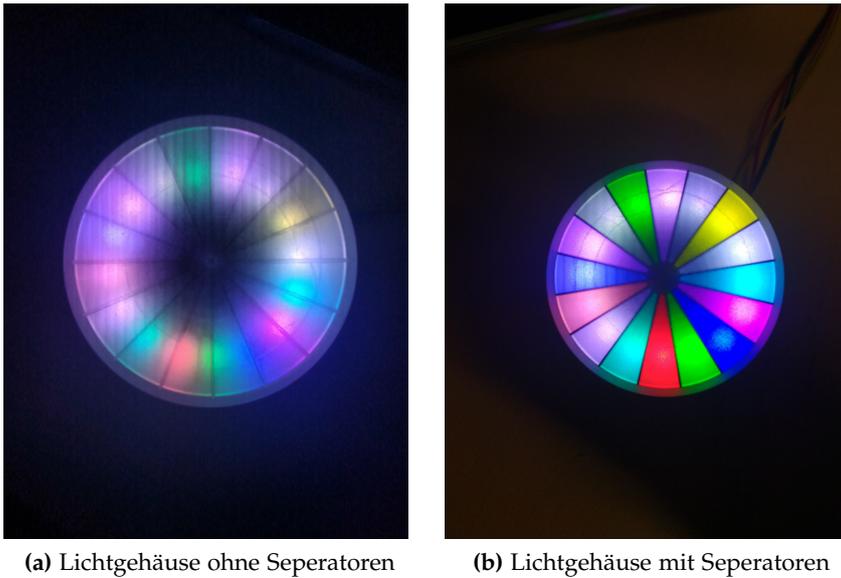
**Abbildung 3.4:** Umsetzung der Navigation zum gewünschten Buch

### Software

Die Steuerung des Lichtkreises übernimmt das Smartphone des Nutzers. Auf diesem wird die aktuelle Position des Nutzers und der noch zu gehende Weg berechnet. Dadurch weiß das Smartphone welche Lichtkreise eingeschaltet und welche Lichtkreise ausgeschaltet werden müssen. Durch einen mit Python geschriebenen Websocket kommuniziert das Smartphone mit dem Lichtkreis und schickt diesem die Parameter, in welcher Richtung und mit welcher Farbe der Lichtkreis leuchten soll. Durch die Python Library von NeoPixel ist es des Weiteren möglich die Lichtkreise anzusprechen und aufleuchten zu lassen. Die Funktion, dass mehrere Nutzer das System gleichzeitig nutzen können, wurde bereits implementiert. Dies funktioniert in dem die Nutzer sich bei dem System registrieren und abhängig davon, wie viele Smartphones bereits registriert sind, eine unterschiedliche Farben zugewiesen bekommen. Dadurch könnte das System, in der momentanen Bauweise, bis zu acht Nutzer gleichzeitig leiten. Zumindest wenn alle der Nutzer gleichzeitig einen speziellen Licht-Beacon benötigen. Dies konnte jedoch im Umfang dieser Bachelorarbeit aufgrund von Zeitmangel nicht weiter überprüft werden.

#### 3.2.3 Bluetooth-Beacon

In diesem Abschnitt wird die Bluetooth-Komponente des Beacons näher vorgestellt. Diese ist eine sehr wichtige Komponente, denn sie ermöglicht das Lokalisieren des Nutzers. Um zu verstehen, warum



**Abbildung 3.5:** Vergleich zwischen Licht-Beacon ohne Separatoren und mit Separatoren. Mit Separatoren liefert eine deutlich bessere Unterscheidung der Farben

die Lokalisierung noch immer ein sehr großes Problem ist und auch bei der Studie zu Schwierigkeiten geführt hat, wird dieser Teil detaillierter beschrieben.

### *Lokalisierung*

Voraussetzung für die oben genannten digitalen Leitsysteme ist eine Lokalisierung des Nutzers. Hierbei kann die Lokalisierung über verschiedenste Systeme realisiert werden. Diese Systeme lassen sich in vier größere Gruppen untergliedern: per Radio Frequenz, per visuellen Markern, per Wireless-Fingerprinting oder per empfangener Signalstärke. Die Funktionsweise dieser Systeme und eine genaue technische Analyse wurden bereits in der Seminararbeit geliefert und wird hier deshalb nicht wiederholt [6]. In [Abbildung 3.6](#) kann das Resultat dieser Untersuchung eingesehen werden. Für das im Projekt implementierte System wurde sich für eine Lokalisierung mittels Bluetooth entschieden, da es die besten Voraussetzungen für das geplante System geboten hat.

Für die Wahl von Bluetooth waren vor allem die Faktoren der geringen Kosten und des geringen Energieverbrauchs von großem Interesse. Im Folgenden wird die Funktionsweise von einer Lokalisierung mittels Bluetooth näher erläutert.

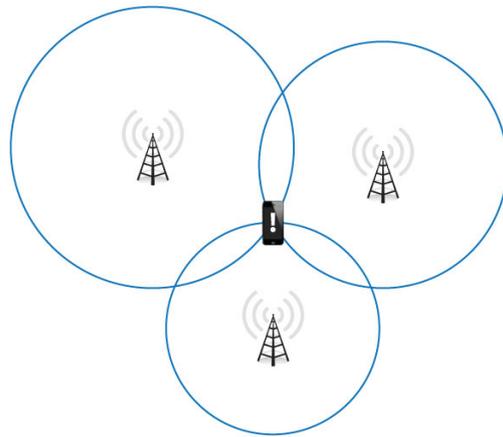
Bei Bluetooth-Beacons handelt es sich um, Sendeeinheiten, welche ähnlich zu einem Leuchtturm, in bestimmten Zeitintervallen Signale aussenden. Diese Signale können von anderen Geräten erkannt

	Genauigkeit	Reichweite	Energiesparsamkeit	Low-Budget
	5-15 m	< 150 m	Okay	Sehr Günstig
	1- 3 m	< 30 m	Sehr sparsam	Günstig
	Je nach Verteilung	< 30 cm	Sparsam	Okay
	Je nach Verteilung	1 m	Hoch	Sehr Günstig
	< 50 cm	< 8 m	Hoch	Teuer
	1- 4 cm	< 10 m	Sparsam	Günstig
	< 4 cm	-	Hoch	Günstig

**Abbildung 3.6:** Vergleich der verschiedenen technologischen Möglichkeiten um einer Lokalisierung des Nutzers zu ermöglichen. Übernommen aus Bogenrieder [6]

werden und beinhalten vier Werte. Eine Identifikationsnummer, eine Hauptnummer, eine Nebennummer und die Signalstärke des empfangenen Signals. Die Identifikationsnummer dient dazu, jeden Beacon genau zu erkennen und somit von anderen Beacons unterscheiden zu können. Die Hauptnummer dient bei Beacons dazu eine grobe Positionsbestimmung zu ermöglichen. Dies könnte zum Beispiel dazu genutzt werden, um mit einer eins alle Beacons im Erdgeschoss zu markieren. Die Nebennummer wird dann benutzt, um die genaue Position des Beacons zu erkennen. Hier könnte beispielsweise die Nummer eins für die Küche stehen. Zuletzt gibt es dann noch die Signalstärke. Durch diese kann abgeschätzt werden wie weit der Nutzer vom Beacon entfernt steht. Wichtig hierbei ist allerdings, dass die Bluetooth Strahlen von vielen Gegenständen und auch Personen absorbiert werden. Dies bedeutet, dass eine geringe Signalstärke das Resultat von einer großen Entfernung, aber auch einer räumlichen Trennung oder absorbierender Gegenstände, die im Weg sind, sein kann. weshalb eine geringe Signalstärke das Resultat einer räumlichen Trennung, oder auch anderer Gegenstände, die im Weg sind, sein kann. Es ist bereits möglich mit nur einem Beacon eine grobe Abschätzung der Entfernung vom Nutzer zu dem Gerät zu bekommen, jedoch ist es damit nicht möglich die Richtung, in welcher der Nutzer zu dem Beacon steht zu bestimmen. Dies wird möglich, sobald drei oder mehr Signale gleichzeitig empfangen werden. Dann kann mit Hilfe von Trilateration bestimmt werden, an welcher Stelle zwischen den Beacons sich der Nutzer befindet.

Diese Methode wird in [Abbildung 3.7](#) genauer dargestellt. Die als Antennen dargestellten Sendequellen entsprechen in dem Fall den Beacons. Wird nun ein Kreis mit dem Abstand vom Beacon zum Smartphone des Nutzers eingezeichnet, erhalten wir im Schnittpunkt der drei Kreise die Position des Smartphones des Nutzers. Wichtig zu wissen ist hierbei, dass Bluetooth Strahlen sprunghafte und nicht konstante Werte liefern. Dieser Effekt wird bei größerer Distanz markanter, weshalb kleine Distanzen von Beacon und Nutzern zuverlässiger erkannt werden, größere Distanzen aber sehr unterschiedliche



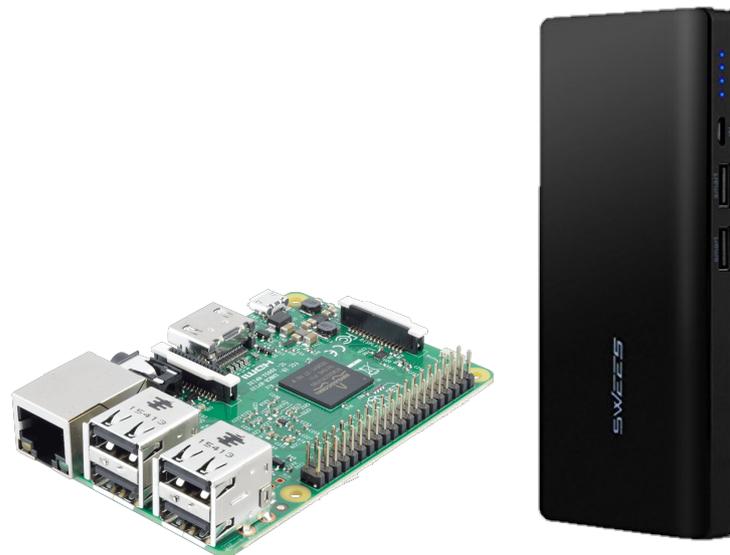
**Abbildung 3.7:** Funktionsweise Trilateration. Übernommen aus Dean [12] (besucht:11.04.18)

Werte liefern. Um diesem Problem entgegenzuwirken, wurde ein Bewertungsalgorithmus implementiert, welcher nähere Beacons stärker in die Positionsberechnung einbezieht als Beacons, die weiter entfernt sind. Durch diese Anpassung konnte die Lokalisierung markant verbessert werden. Zusätzlich wurde ein Received Signal Strength Indication (RSSI) Smoothing Algorithmus implementiert, um den durchschnittlichen Fehler der RSSI Werte zu minimieren [20]. Um die Genauigkeit der Lokalisierung weiter zu verbessern, wurde zusätzlich ein extended Kalman Filter implementiert. Dieser führt bei stillem oder linear bewegendem Smartphone zu besseren Ergebnissen. Sobald das Smartphone jedoch bewegt wurde, konnte beobachtet werden, dass der Algorithmus diese unvorhergesehene Bewegung nicht beziehungsweise zu langsam vorhersagen konnte und somit eine zeitliche Verzögerung entstand [27]. Dieses Problem könnte vermutlich gelöst werden, in dem der Kalman Filter zusätzlich die Werte der Smartphone Sensorik in die Berechnungen miteinbezieht. Dies wurde in dieser Arbeit nicht näher untersucht, weshalb der Kalman Filter im Projekt nicht zum Einsatz kam.

### *Hardware*

Für die Entwicklung des Systems wurde ein Microcontroller gesucht, welcher sowohl eine Steuerung des Licht-Beacons als auch die Steuerung des Bluetooth-Beacons ermöglicht. Zusätzlich muss eine Kommunikation mit dem Smartphone des Nutzers ermöglicht werden, da dieses die entsprechenden Lichtpunkte an- beziehungsweise ausschalten muss. Glücklicherweise ist zum Zeitpunkt der Implementierung die neue Version des Raspberry Pi's erschienen, der Raspberry Pi 3. Dieser hat den großen Vorteil, dass er ein integriertes WLAN- und Bluetooth-Modul besitzt und sowohl die Kommunikation zum Smartphone, als auch die Funktionsweise als Bluetooth-Beacon nativ

unterstützt. Zusätzlich ermöglichen die GPIO Pins des Raspberry Pi's die Steuerung des Licht-Beacons und damit alle Funktionen, welche benötigt wurden. Für das Projekt wurde zusätzlich eine Powerbank mit 20000 mAh benutzt, um das System mobil nutzbar zu machen und die Regale der Bibliothek nicht alle mit Strom versorgen zu müssen. In [Abbildung 3.8](#) sind die beiden benutzten Komponenten dargestellt. Um sowohl die Hardware für den Lichtpunkt als auch die Hard-

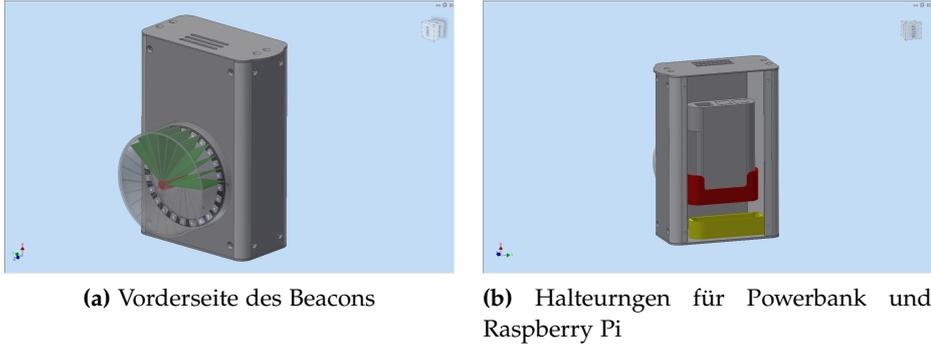


(a) Genutzter Microcontroller: Raspberry Pi Model 3 [33]

(b) Die genutzte Stromquelle war eine Powerbank mit 20000 mAh [1]

**Abbildung 3.8:** Hardware Komponenten des Bluetooth-Beacons.

ware für die Lokalisierung in einem Gehäuse zu verbauen, wurde mit den Werkstätten der Universität Konstanz ein Gehäuse entworfen. An dieses Gehäuse gab es zwei große Anforderungen. Zum einen musste der Akku einfach entnehmbar sein, um diesen laden zu können. Dies wurde dadurch gelöst, dass der Deckel des Gehäuses aufsteckbar ist und der Akku in einer Halterung steckt. Zudem ermöglicht dies das Entnehmen des Akkus mit nur wenigen Handgriffen. Zum anderen musste das System einfach auf- und abgebaut werden können, da das System nur für die Dauer der jeweiligen Studie angebracht werden sollte. Hierfür wurden auf der Rückseite des Gehäuses vier starke Magnete verbaut, welche es ermöglichen den Beacon an die Regale der Bibliothek zu heften. Das Model für den InLiGation Beacon kann in [Abbildung 3.9](#) betrachtet werden. In [Abbildung 3.9a](#) ist die Vorderseite des Beacons dargestellt. Diese beinhaltet den Lichtpunkt mit den Separatoren. In [Abbildung 3.9b](#) wird die Rückseite des Beacons dargestellt. Hierbei ist in Rot die Halterung für den Raspberry Pi und in Gelb die Halterung für die Powerbank dargestellt.



**Abbildung 3.9:** Modell des InLiGation-Beacon Gehäuses. Alle Komponenten wurden in einem Gehäuse untergebracht, um die Mobilität des Systems zu erhöhen.

### Software

Im Folgenden werden die benutzten Algorithmen für die Lokalisierung der Position des Smartphones des Nutzers vorgestellt und die Umsetzung betrachtet.

### RSSI-Smoothing

Als Erstes geht es darum aus den vom Smartphone empfangenen RSSI-Werten der Bluetooth-Beacons einen brauchbaren Wert zu generieren. Bei diesen Werten handelt es sich um die empfangene Signalstärke der Bluetooth Signale. Diese enthalten einige Störsignale, welche gefiltert werden sollten. Mit Hilfe eines RSSI-Smoothing Algorithmus sollen diese Störungen in einem ersten Schritt eliminiert werden. Hierfür wurde folgende Formel verwendet [20]:

$$RSSI_{smooth} = \alpha * RSSI_n + (1 - \alpha) * RSSI_{n-1} \quad (3.1)$$

Wobei „ $\alpha$ “ einen festen konstanten Filter Faktor repräsentiert und „ $n$ “ den aktuell gemessenen Wert.  $n-1$  ist der letzte bereits gemessene Wert und sorgt somit dafür, dass der aktuelle RSSI Wert nicht nur aus dem momentan gemessenen, sondern auch aus dem zuletzt gemessenen Wert besteht. Dies dient dafür, dass Ausreißern entgegengewirkt wird. Im Folgenden wird die Umsetzung dieses Algorithmus im InLiGation System dargestellt. Hierbei wurde für „ $\alpha$ “, also dem Filter Faktor ein Wert von 0,9 gewählt.

*RSSI Distanz Berechnung*

Als nächstes geht es darum, mit den neuen RSSI Werten die Entfernung vom Beacon zum Smartphone zu berechnen. Hierfür wurde der Algorithmus der Android Beacon Library<sup>4</sup> genutzt [34]:

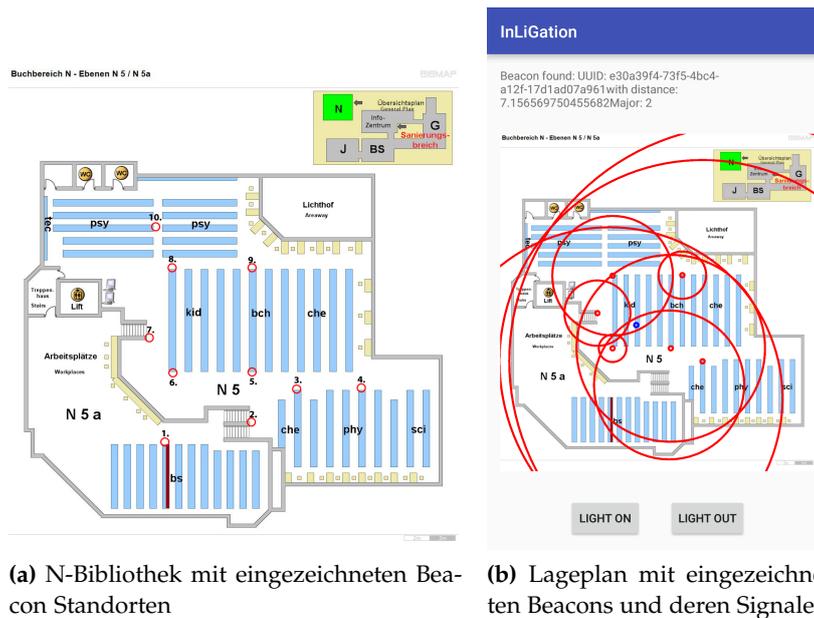
$$D = C_1 * \frac{RSSI}{TxPower}^{C_2} + C_3 \quad (3.2)$$

Wobei die Konstanten  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$  vom Bluetooth Chip und der benutzten Antenne abhängen und für ein spezielles Modell manuell berechnet werden sollten.

Zum Schluss wird noch die in [Abbildung 3.7](#) bereits beschriebene Trilateration durchgeführt, um zu berechnen an welcher Position auf der Karte sich das Smartphone, befindet. Dies ist möglich, da im Vorfeld jedem Beacon seine genaue Position mitgeteilt wurde und diese in die Berechnung einfließen kann. In [Abbildung 3.10a](#) kann eine solche Karte für die Ebene N5 der Bibliothek Konstanz eingesehen werden. Hierbei sind die roten Kreise die jeweiligen Beacons an den Standorten. Die Platzwahl der Beacons wurde so gewählt, dass an jeder Position im Raum noch mindestens ein-, aber möglichst drei Beacons gleichzeitig empfangen werden können. Zusätzlich waren die in [Unterabschnitt 2.3.1](#) bereits beschriebenen markanten Punkte in der Umgebung relevant. Die größere weiße Fläche mit den Arbeitsplätzen ist bewusst nicht mit einer hohen Dichte an Beacons versehen, da sich an dieser Stelle keine Bücher befinden und somit die Genauigkeit der Lokalisierung eine untergeordnete Rolle spielt.

Mit Hilfe dieser Standorte und einem Gewichtungsalgorithmus berechnet der Algorithmus die Position des Nutzers. Hierbei werden die Beacons, welche sich näher an dem Nutzer befinden stärker in die Berechnungen aufgenommen als die Beacons, welche sich weiter weg befinden. Dies ist nötig, da die Bluetooth Werte bei wachsender Distanz immer unzuverlässiger werden. Um die Berechnungen nicht zu sehr mit Ausreißern zu überlasten, werden immer nur die sechs am nächsten befindlichen Beacons in die Berechnung miteinbezogen. In [Abbildung 3.10b](#) ist dargestellt, wie das Ganze aus Sicht des Smartphones, aussehen könnte. Die unterschiedlich großen roten Kreise stellen hierbei die berechnete Entfernung zu der Position des Smartphones dar. Deutlich zu sehen ist, dass der Beacon rechts oben, also Beacon Nummer 9 einen vermeintlich falschen Wert liefert. Ebenfalls interessant ist, dass der Beacon fünf und sechs eine viel zu große Distanz anzeigen. Vermutlich liegt das daran, dass einige Regalreihen zwischen der Position des Smartphones und der Beacons liegen. Der blaue Punkt ist die momentan berechnete Position des Nutzers. Hier ist zu sehen, dass aufgrund des falschen Wertes von Beacon Nummer

<sup>4</sup> Android Beacon Library: Calculating Formula Constants. Accessed: 2017-08-27. 2015. <https://altbeacon.github.io/android-beacon-library/distance-calculations2.html>.



**Abbildung 3.10:** Lageplan mit eingezeichneten Beacon Positionen und Sicht des Smartphones von diesem Lageplan

neun, welcher als sehr nah angezeigt wird, die tatsächliche Position, welche sich leicht rechts vom Beacon Nummer sechs befinden müsste, verfälscht wird und somit nicht richtig angezeigt wird.

### 3.3 ZUSAMMENFASSUNG

Mit dem System InLiGation wurde ein neues Konzept der Navigation vorgestellt. Dieses Konzept sollte insbesondere die Anforderungen aus [Abschnitt 2.5](#) erfüllen. Dadurch, dass das Leitsystem des InLiGation Systems auf Lichtpunkte in der Umgebung setzt, sollte Anforderung A1 erfüllt werden. Zusätzlich ist anzunehmen, dass diese Form des Leitsystems auch für Nutzer ohne Vorwissen benutzbar ist, denn die Nutzer müssen sich nicht orientieren, sondern können stets dem nächsten Lichtpunkt folgen. Somit lässt sich vermuten, dass die kognitive Belastung dieses Systems relativ gering ausfällt. Ein weiterer Vorteil der Lichtpunkte ist es, dass das Leiten der Nutzer über ein visuelles Feedback funktioniert und das System somit keine störenden Geräusche erzeugt. Gleichzeitig könnte dies auch zum Problem werden, denn die Lichtpunkte müssen soviel Aufmerksamkeit erzeugen, dass sie nicht lange von den Nutzern gesucht werden müssen, aber so wenig, sodass die unbeteiligten Nutzer der Bibliothek nicht gestört werden. Die Möglichkeit, dass mehrere Nutzer das System gleichzeitig nutzen können, aus Anforderung A4 wurde bei dem Konzept bedacht, indem mehrere Nutzer mit jeweils verschiedenen Farben kodiert werden könnten. Somit hätte jeder Nutzer seine eige-

ne Farbe und müsste nur dieser folgen. Auch eine Kalibrierung durch den Nutzer ist aufgrund von vordefinierten Positionen der Beacons und der Berechnung der Position mit Hilfe der Bluetooth-Werte nicht notwendig. Somit wurde auch Anforderung A5 bedacht. Ob das System diesen Anforderungen in der realen Welt gerecht wird, wurde in einer Feldstudie überprüft und wird im nächsten Kapitel näher erläutert.

Ziel des InLiGation Prototypen war es, eine neue Form der Navigation zu testen. Diese sollte den Nutzer dazu führen den Fokus des Nutzers weg von seinem Smartphone Display zu führen. Dadurch hat er die Möglichkeit sich während der Suche auf die Umgebung zu konzentrieren und Zufallsfunde zu entdecken. Durch Lichtpunkte in der Umgebung sollte der Fokus des Nutzers nicht mehr auf dem Smartphone, sondern auf der Umgebung der Bibliothek liegen. Mit der folgenden Evaluation soll überprüft werden, ob das geschaffene System den Anforderungen gerecht wird. Zunächst werden Forschungsfragen präsentiert. Als Nächstes wird das Studiendesign erläutert und die Methoden zur Datenerfassung erklärt. Im Anschluss werden die Ergebnisse präsentiert und diskutiert. Abschließend werden die gewonnenen Erkenntnisse zusammengefasst.

#### 4.1 FORSCHUNGSFRAGEN

Aus den Anforderung von [Kapitel 2](#) wurden die folgenden Forschungsfragen formuliert, welche durch die Studie beantwortet werden sollen:

**F 1. Effizienz:** *Wie schnell finden Besucher, welche das InLiGation System nutzen das gesuchte Buch im Vergleich zu den beiden anderen Navigationsformen?*

Um ein neues Navigationssystem zu etablieren, muss es mindestens so effizient wie das bisherige System sein. Gerade in einer wissenschaftlichen Bibliothek möchten die Benutzer nicht viel Zeit damit verbringen das gesuchte Buch zu finden. Der relevante Faktor dieser Forschungsfrage war somit die benötigte Zeit, um das gesuchte Buch zu finden.

**F 2. Task-Load:** *Wie hoch ist der Task-Load des InLiGation Systems im Vergleich zu den anderen Navigationsformen?*

Der Task-Load der Nutzer kann darüber entscheiden, ob das System von den Besuchern angenommen wird. Sollten die Besucher das Gefühl haben, dass der Task-Load zu hoch ist, beziehungsweise während der Suche zu angestrengt sind, werden sie das System nicht nutzen. Zudem kann es Aufschluss darüber geben, ob die Benutzer überhaupt in der Lage sind weitere Tätigkeiten, wie zum Beispiel eine Exploration während dem Navigieren auszuführen. Dies bezieht sich

insbesondere auf Zufallsfunde, welche in einer Bibliothek durch das Stöbern durch die Regale gefunden werden können. Die Messung des Task-Load wird vor allem durch den NASA-TLX Fragebogen abgefragt. Zusätzlich wurde im abschließenden Interview versucht mehr über diese Belastung zu erfahren.

**F 3. *Verständnis des Konzeptes:*** *Verstehen die Besucher die Konzepte des InLiGation Systems?*

Ein ganz entscheidender Faktor für das Erschaffen eines neuen Konzeptes ist der, ob das System von den Nutzern verstanden wird. Dieser Faktor wurde durch die Beobachtungen des Versuchsleiters und eines weiteren Beobachters untersucht. Des Weiteren wurde auch dieser Faktor im späteren Interview näher hinterfragt. Zusätzlich zu dieser allgemeinen Frage soll ferner untersucht werden, ob es einen Unterschied zwischen erfahrenen und unerfahrenen Nutzern gibt.

**F 3.1. *Unterschiede in der Erfahrung der Nutzer:*** *Gibt es Unterschiede zwischen unerfahrenen und erfahrenen Benutzern bezüglich der empfundenen Hilfe durch das System?*

Ein System sollte stets Anfänger aber auch erfahrene Nutzer unterstützen. Der Theorie aus [Kapitel 2](#) nach könnte es jedoch der Fall sein, dass das geschaffene System vor allem für Anfänger sehr hilfreich sein könnte. Für Nutzer, die ein fundiertes Wissen der Umgebung haben, könnte jedoch eine Karte oder andere Form des Leitsystems besser geeignet sein. Um dieser Frage auf den Grund zu gehen, wurde mittels einem demografischen Fragebogen die Erfahrung der Nutzer abgefragt, um diese bei der Auswertung berücksichtigen zu können. Zusätzlich wurde diese Fragestellung in den Interviews thematisiert.

**F 4. *Usability:*** *Wie zufrieden waren die Probanden bei der Nutzung des Systems?*

Die Zufriedenheit der Besucher bei der Benutzung des Systems ist ganz entscheidend darüber, ob die Besucher beim nächsten Mal erneut das System verwenden werden. Um diese Zufriedenheit zu überprüfen, wurde ein System Usability Scale (SUS) Fragebogen angewandt. In [Tabelle 4.1](#) werden die Forschungsfragen und die genutzten Messgrößen, um diese zu beantworten, zusammengefasst.

FORSCHUNGSFRAGE	ERFASSUNGSMETHODEN
<b>F1:</b> Effizienz	Zeit für Beendigung der Aufgabe
<b>F2:</b> Task-Load	NASA-TLX Fragebogen
<b>F3:</b> Verständnis des Konzeptes	Fragebogen, Interviews, Beobachtungen
<b>F3.1:</b> Gibt es einen Unterschied zwischen erfahrenen und unerfahrenen Nutzern	Demographischer Fragebogen, Interviews, Beobachtungen
<b>F4:</b> Usability	SUS Fragebogen, Beobachtungen

**Tabelle 4.1:** Forschungsfragen und deren Messgrößen

## 4.2 DATENERFASSUNG

### *Beobachtungen*

Die Studie wurde immer von dem Versuchsleiter begleitet. Dieser protokollierte seine qualitativen Beobachtungen und achtete besonders auf folgende Fragestellungen:

- Versteht der Proband die Navigationsform?
- Gab es externe Faktoren, welche die Navigation beeinträchtigen?
- Ist stets klar, welche Schritte der Proband als nächstes unternehmen muss?
- Ist der Proband zu irgendeiner Zeit verwirrt?
- An welcher Stelle hat der Proband Probleme?

### *Fragebögen*

Mithilfe von drei verschiedenen Fragebögen sollten zusätzlich Informationen gewonnen werden. Zum einen wurde ein Fragebogen vorab ausgehändigt, um die demografischen Daten der Probanden zu erfassen. Durch diesen konnten Rückschlüsse auf die jeweiligen Erfahrungen mit der Bibliothek und der genutzten Technologie gezogen werden. Zum anderen wurde ein zweiter Fragebogen jeweils nach Abschluss der zwei Aufgabe pro System ausgeteilt. Dieser diente dazu, dass entsprechende System bewerten zu können. Um den Task-Load der Probanden zu quantifizieren, wurde ein NASA TLX Fragebogen genutzt [17]. Zusätzlich wurde ein SUS-Fragebogen verwendet [10]. Dieser sollte die Gebrauchstauglichkeit der Systeme bewerten, um so

einen Vergleich dieser zu ermöglichen. Zum Schluss hatten die Probanden, durch drei offene Fragen, die Möglichkeit ihre Anregungen und Probleme mitzuteilen.

#### *Abschließendes Interview*

In einem abschließenden semi-strukturierten Interview wurde versucht die Probleme und Feststellungen des Versuchsleiters näher zu hinterfragen. Es wurden nur wenige Fragen vorgegeben, um dem Versuchsleiter die Freiheit zu gewähren manche Gebiete des Gespräches zu vertiefen.

Des Weiteren wurde das Interview mittels Audioaufzeichnung aufgenommen, um später eine genaue Analyse dieser zu ermöglichen.

### 4.3 STUDIENDESIGN

Im Folgenden wird das Studiendesign der durchgeführten Studie näher beschrieben. Bei der Studie wurde die Methode einer Feldstudie angewandt. Hierbei handelt es sich um eine Studie an dem Ort, an welchem das System im Realbetrieb laufen würde. In dem Fall dieser Arbeit wurde das System in der Bibliothek der Universität Konstanz aufgebaut. Aufgrund der Tatsache, dass die Studie lediglich einen Prototypen testet, wurde das System in den Ebenen N5 und N5a der Naturwissenschaftlichen Bibliothek getestet. Dies ergibt die Limitation, dass Ebenen übergreifende Funktionen nur sehr beschränkt getestet werden konnten.

#### 4.3.1 *Aufbau*

Für die Studie wurde während der Studienzeit ein Gruppenarbeitsraum in der Bibliothek reserviert. In diesem Raum wurden die Fragebögen ausgefüllt und das abschließende Interview geführt. Der Raum beinhaltete zwei Tische und mehrere Stühle. Die Aufgaben wurden in der darunter liegenden Ebene N5 absolviert. Diese wurde nicht speziell für die Studie gesperrt und somit waren stets auch andere Studierende anwesend, welche meist aber in ihre eigene Tätigkeit vertieft waren. Die Ebene N5 wurde mit zehn InLiGation-Beacons ausgestattet, um die Navigation mit Hilfe von Licht und die Lokalisierung für die Kartennavigation zu ermöglichen. In der Studie sollten drei Systeme miteinander verglichen werden. Hierbei ist eins davon die Vergleichsbedingung, welches eine Navigation ohne Hilfe beziehungsweise nur mit Hilfe von einem Lageplan darstellt. Dieses System entspricht dem System, wie es momentan in der Bibliothek der Universität Konstanz eingesetzt wird. Des Weiteren wurde eine Kartennavigation implementiert, welche zusätzlich zu dem Lageplan den eigenen Standort auf diesem anzeigt. Bei Erreichen des Regals wird

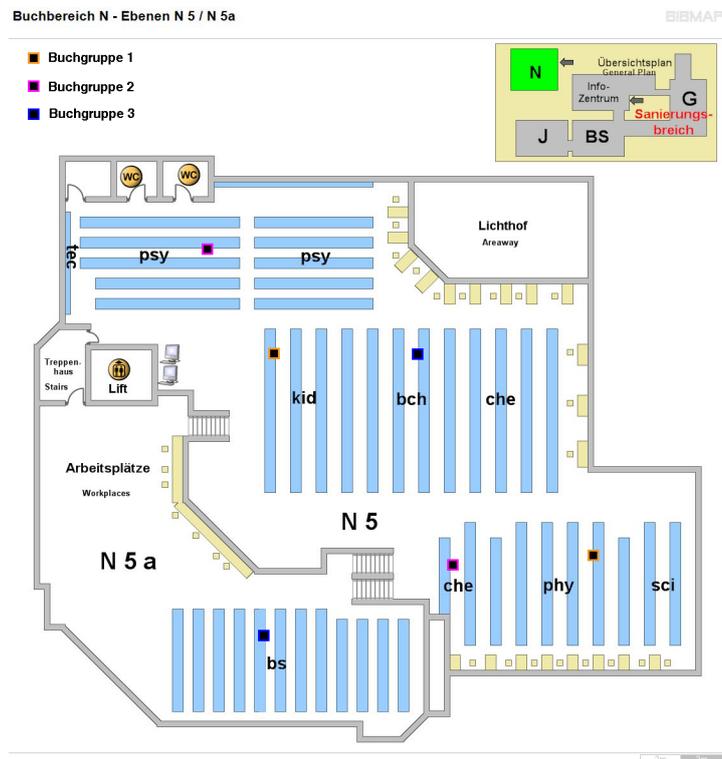
in eine detailliertere Ansicht gewechselt, um das Auffinden des Buches zu vereinfachen. Das dritte System ist das InLiGation System wie es in [Kapitel 3](#) bereits vorgestellt wurde.

#### 4.3.2 *Ablauf*

Zu Beginn wurden die Probanden mit einem Willkommensschreiben begrüßt. Anschließend wurde eine Einverständniserklärung zur Benutzung der erhobenen Daten ausgeteilt und von Probanden und dem Versuchsleiter unterzeichnet. Daraufhin wurde ein Fragebogen zur Erhebung der demografischen Daten ausgeteilt. Nach diesem wurde den Probanden die folgenden Aufgaben kurz vorgestellt. Hierbei wurde nicht auf die Funktionsweise der einzelnen Systeme eingegangen, sondern lediglich erklärt, dass die Probanden auf der Treppe zur Ebene N5 ein Smartphone bekämen und ab dann die Aufgabe beginnen würde. Das System wurde nicht erklärt, da durch die Studie überprüft werden sollte, ob die erdachten Konzepte auch ohne vorherige Einweisung verstanden werden würden. Den Probanden wurde lediglich gesagt, dass es sich bei der Studie um eine Lichtnavigation handelte. Aus dieser Information konnten sie sich bereits ableiten, dass sie die Umgebung nach einer Lichtquelle absuchen mussten. Gab es keine weiteren Fragen, wurden die Probanden zur Treppe der Ebene N5 begleitet. Dort angekommen wurde das Studien-Smartphone ausgehändigt und das passende Aufgabenblatt ausgeteilt. Den Teilnehmern wurde Zeit gegeben sich das Aufgabenblatt durchzulesen und sobald sie bereit waren, wurde die Zeitmessung gestartet und die Teilnehmer durften mit der Suche beginnen. Der Versuchsleiter folgte den Teilnehmern stets und notierte das Verhalten der Probanden. Bei vier der neun Studien wurde zusätzlich eine weitere Person als Beobachter eingesetzt, um das Verhalten der Teilnehmer noch genauer zu dokumentieren. Die Probanden wurden gebeten während der aktiven Suche keine Fragen zu stellen und der Versuchsleiter griff nur ein, wenn die Person auch nach einiger Zeit nicht weiter wusste. Sobald der Proband das Buch gefunden hatte und die Ebene, auf welcher sich das Buch im Regal befand, auf dem Aufgabenblatt eingetragen hatte, wurde die Zeit gestoppt und die Zeit für die nächste Aufgabe gestartet. Nachdem beide Bücher gefunden wurden, wurde der Proband zurück in den Studienraum begleitet. Dort angekommen bekam der Proband die Fragebögen ausgehändigt. Nach Bearbeitung dieser, folgte die nächste Aufgabe nach dem gleichen Prinzip. Hatte der Proband alle drei Aufgaben abgeschlossen, folgte ein abschließendes Interview. Die Studie dauerte ungefähr eine Stunde.

## 4.3.3 Aufgabe

Jeder Teilnehmer sollte jeweils zwei Aufgaben zu jedem der drei Systeme ausführen. Bei den Aufgaben handelte es sich um Suchaufgaben, bei welchen die Probanden den Namen des zu suchenden Buches erfahren haben und dieses zunächst in der App beziehungsweise dem KonSearch System nachschlagen sollten. Wurde das Buch in der App gefunden, sollten sie eine der drei Methoden (Vergleichsbedingung, mit einer Karte oder dem InLiGation System) nutzen, um das entsprechende Regal mit dem jeweiligen Buch zu finden. Nachdem das Regal gefunden wurde, mussten die Probanden das entsprechende Buch im Regal finden und die Ebene, auf welcher sich das Buch im Regal befindet, auf einem Zettel eintragen. Dieses Eintragen wurde als Zeitpunkt genutzt, um die Zeiterfassung für die Metrik der Effizienz zu stoppen und die neue Aufgabe beginnen zu lassen. [Abbildung 4.1](#) zeigt die Verteilung der einzelnen Bücher in der Bibliothek. Die Standorte der Bücher wurden so gewählt, dass der Weg zwischen den Büchern maximal ist. Dies sollte dafür sorgen, dass eine entsprechende Unterstützung der Navigation notwendig wird. Bei dem gewählten Design handelt es sich somit um ein „within-subjects design“, bei welcher jeder Teilnehmer alle Aufgaben nacheinander absolviert. Jeweils drei der neun Teilnehmer fingen mit einer anderen Methode an.



**Abbildung 4.1:** Lageplan der N-Bibliothek mit eingezeichneten Standorten der zu suchenden Bücher

#### 4.4 TEILNEHMER

Insgesamt wurden zur Studie neun Teilnehmer eingeladen. Das durchschnittliche Alter der neun Teilnehmer lag bei 24,11 Jahren. Von diesen neun Teilnehmer waren drei weiblich und sechs männlich. Bei der Teilnehmer Akquise wurde bewusst darauf geachtet, dass die Probanden ein breites Spektrum an Erfahrungen über die Bibliothek der Universität Konstanz abdecken. Deshalb schätzen sich die Teilnehmer im Durchschnitt mit einer mittelmäßigen Erfahrung ein. Ebenso variiert die Frequenz, mit welcher die Besucher nach einem Buch suchen. Auf einer Skala von eins bis fünf schätzen sich die Teilnehmer im Durchschnitt auf 2,1 ein. Durchschnittlich nutzen die Teilnehmer bereits 5,6 Jahre lang ein Smartphone, welches sie zwei bis drei Stunden am Tag nutzen. Dadurch resultierend schätzen sich die Teilnehmer eher als Smartphone Experten ein. Nur zwei der neun Teilnehmer haben bereits eine Indoor-Navigations-App benutzt.

#### 4.5 ERGEBNISSE

Im Folgenden werden die Ergebnisse der durchgeführten Studie vorgestellt. Die Reihenfolge ist die Gleiche, wie sie bereits im letzten Kapitel war.

##### 4.5.1 *Effizienz*

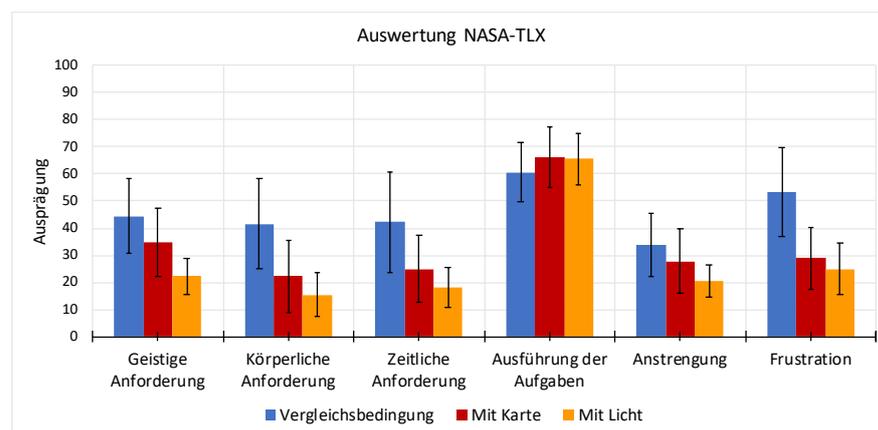
Die Probanden waren mit dem InLiGation System am schnellsten. Danach kommt mit nur wenig Abstand die Kartennavigation und danach mit etwas Abstand die Navigation mittels der Vergleichsbedingung. In [Tabelle 4.2](#) ist die benötigte durchschnittlich gebrauchte Zeit und die Standardabweichung für das jeweilige System dargestellt. Es ist interessant, dass der Abstand zwischen der Kartennavigation und dem InLiGation System nur gering ist. Dies bedeutet, dass beide Systeme ähnlich effizient genutzt werden konnten. Zu erwarten war, dass die Vergleichsbedingung ineffizienter ist, als die beiden anderen Systeme, da bei der Suche nach den Kürzeln mehr Zeit benötigt wird. An den erhobenen Daten konnte gesehen werden, dass die Aufgabe der Startbedingung deutlich länger gedauert hat als die Folgeaufgaben. Dies legt nahe, dass die Probanden die Umgebung oder zumindest das zugrunde liegende Ordnungsprinzip der Regale verstanden haben und somit in der nächsten Aufgabe schneller suchen konnten. Jedoch zeigt die hohe Standardabweichung, dass die Probanden sehr unterschiedlich lange für die einzelnen Aufgaben gebraucht haben. Dies könnte daran liegen, dass jeweils drei der neun Probanden mit einem anderen System gestartet haben und die erste Suchaufgabe mehr Zeit in Anspruch genommen hat, als beispielsweise die dritte Aufgabe.

Art	Vergleich	Karte	InLiGation
Durchschnittlich	4:45	3:29	3:23
Standardabweichung	2:00	1:21	1:53

**Tabelle 4.2:** Benötigte Zeit der Teilnehmer für die einzelnen Systeme. Angegeben ist die durchschnittlich gebrauchte Zeit mit der jeweiligen Standardabweichung in Minuten.

#### 4.5.2 Task-Load

Durch den NASA-TLX Fragebogen wird die Belastung der Probanden während der Durchführung der Aufgaben gemessen [17]. Die dadurch erhobenen Werte können genutzt werden, um den Task-Load der drei getesteten System miteinander zu vergleichen. Im folgenden Diagramm (Abbildung 4.2) ist ein Überblick über die Ergebnisse des Fragebogens zu den jeweiligen Systemen gegeben. Diese Ergebnisse der einzelnen Kategorien werden im Folgenden näher betrachtet und in Tabelle 4.3 - Tabelle 4.8 zusammengefasst.



**Abbildung 4.2:** Ergebnisse des Nasa-TLX Fragebogens. Angegeben sind die durchschnittlichen Werte aller Teilnehmer für die einzelnen Kategorien.

#### Geistige Anforderung

Die geistige Anforderung variiert sehr stark zwischen den einzelnen Teilnehmern. Bei der Vergleichsbedingung liegt sie bei einem Wert von durchschnittlich 44,4 Punkten. Dies entspricht einer mittleren geistigen Anforderung. Bei der Kartennavigation liegt der Wert etwas niedriger bei 35 Punkten. Das InLiGation System schneidet am besten ab. Ihr Wert liegt bei 22,2 Punkten. Insgesamt zeigen diese Ergebnisse genau die erwarteten Werte an. Die Vergleichsbedingung ist für die Probanden geistig am schwierigsten, denn die Probanden müssen die Umgebung nach den Schildern mit den Signaturen scannen und zusätzlich noch die Bedeutung dieser Signaturen verstehen. Bei der

Kartennavigation müssen die Probanden sich auf der Karte zurechtfinden. Dies ist schwieriger als einem vorgegebenen Pfad zu folgen. Dies geschieht bei dem InLiGation System. Die Probanden müssen lediglich die Umgebung nach Lichtpunkten scannen.

Art	Vergleichsbedingung	Karte	InLiGation
Durchschnittlich	44,4	35	22,2
Standardabweichung	13,8	12,6	6,5

**Tabelle 4.3:** Ergebnisse des Nasa-TLX Fragebogens für die Kategorie „Geistige Anforderung“.

#### *Körperliche Anforderung*

Die körperliche Anforderung gibt Ausschuss darüber, wie sehr die Probanden sich körperlich bemühen mussten, um die geforderte Aufgabe zu erledigen. Die Vergleichsbedingung schneidet mit 41,6 Punkten am schlechtesten ab. Mit etwas Abstand kommen danach mit 22 Punkten die Kartennavigation und mit 16 Punkten das InLiGation System. Diese Werte sind mit großer Vorsicht zu genießen, da die meisten Teilnehmer an diesem Punkt die Frage äußerten, dass sie nicht wissen, was damit gemeint sei. So spiegeln diese Zahlen vermutlich eher die allgemeine Zufriedenheit mit den Systemen wider, als die eigentliche körperliche Anstrengung.

Art	Vergleichsbedingung	Karte	InLiGation
Durchschnittlich	41,6	22	16
Standardabweichung	16,5	13,1	8,0

**Tabelle 4.4:** Ergebnisse des Nasa-TLX Fragebogens für die Kategorie „Körperliche Anforderung“.

#### *Zeitliche Anforderung*

Erneut schneidet die Vergleichsbedingung am schlechtesten ab. Der Wert liegt bei 44,2 Punkten. Die Kartennavigation (25 Punkte) und das InLiGation System (18,3 Punkte) liegen eng beieinander. Diese subjektiven Bewertungen der Probanden spiegeln sehr gut wider, was bereits in [Unterabschnitt 4.5.1](#) durch die quantitativen Zeiten der Probanden vorgestellt wurde. Die Zeit, die bei der Vergleichsbedingung benötigt wird, liegt hier signifikant höher als die Zeit der anderen beiden Systemen. Die Kartennavigation oder das InLiGation System unterscheidet sich jedoch nicht groß.

Art	Vergleichsbedingung	Karte	InLiGation
Durchschnittlich	44,2	25	18,3
Standardabweichung	18,6	12,3	7,4

**Tabelle 4.5:** Ergebnisse des Nasa-TLX Fragebogens für die Kategorie „Zeitliche Anforderung“.

### *Leistung*

Wie erfolgreich die Teilnehmer die einzelnen Aufgaben bewältigen konnten, bewerteten sie bei allen drei Systemen ähnlich. Die Kartennavigation schneidet mit einem Wert von 66,1 Punkten am besten ab. Direkt darauf folgt mit 65,5 Punkten das InLiGation System und mit 60,5 Punkten die Vergleichsbedingung. Diese Werte liegen alle sehr nahe beieinander und zeigen somit, dass mit allen drei Systemen die Aufgabe erfüllt werden konnte.

Art	Vergleichsbedingung	Karte	InLiGation
Durchschnittlich	60,5	66,1	65,5
Standardabweichung	11,0	11,3	9,4

**Tabelle 4.6:** Ergebnisse des Nasa-TLX Fragebogens für die Kategorie „Leistung“.

### *Anstrengung*

Mittels dieser Frage sollte überprüft werden, wie hart die Probanden arbeiten musste, um den angegebenen Grad an Zielerreichung zu erreichen. Die Werte vielen erneut alle ähnlich aus. Am besten hat hierbei das InLiGation System mit einem Wert von 20,5 Punkten abgeschnitten. Mit 27,7 Punkten kommt danach die Kartennavigation und zum Schluss mit einem Wert von 33,8 Punkten die Vergleichsbedingung. Die erhobenen Werte überraschen auch hier nicht wirklich. Die Probanden empfinden die Vergleichsbedingung als leicht anstrengender als die Kartennavigation und nochmal etwas anstrengender als das InLiGation System. Dies ist jedoch nachvollziehbar und nicht weiter verwunderlich.

Art	Vergleichsbedingung	Karte	InLiGation
Durchschnittlich	33,8	27,7	20,5
Standardabweichung	11,5	11,8	6,0

**Tabelle 4.7:** Ergebnisse des Nasa-TLX Fragebogens für die Kategorie „Empfundene Anstrengung“.

### *Frustration*

Die Frustration eines Systemes spielt eine entscheidende Rolle. Ein System, welches zu hohem Frust führt, wird nicht lange verwendet. Bei der Vergleichsbedingung liegt die Frustration im mittleren Bereich mit einer Punktzahl von 53,3. Die beiden anderen Systeme schneiden mit einem Wert, der ungefähr halb so hoch ist, deutlich besser ab. Mit einem Wert von 28,3 Punkten für die Kartennavigation und 25 Punkten für das InLiGation System liegen diese Werte im unteren Drittel und damit sehr gut. Die Differenz lässt sich dadurch erklären, dass bei der Vergleichsbedingung den Probanden nicht geholfen wurde und daraus resultierend sich die Probanden vermutlich im Stich gelassen gefühlt haben.

Art	Vergleichsbedingung	Karte	InLiGation
Durchschnittlich	53,3	28,3	25,0
Standardabweichung	16,5	11,4	9,4

**Tabelle 4.8:** Ergebnisse des Nasa-TLX Fragebogens für die Kategorie „Frustration“.

Zusammenfassend hat das InLiGation System, im Vergleich zu den anderen beiden Systemen, sehr gut abgeschnitten. Insbesondere im Bereich der geistigen Anforderung konnte gezeigt werden, dass das InLiGation System eine geringere Belastung benötigte. In den meisten anderen Bereichen waren das InLiGation System und die Kartennavigation auf einem ähnlichen Level, wobei das InLiGation System etwas bessere Werte aufweisen konnte. Die Vergleichsbedingung erreichte schlechtere Werte. Lediglich bei der Frage nach der Leistung konnten alle drei Systeme einen ähnlichen Wert erreichen. Die Standardabweichung der Fragen hatte meist einen hohen Wert. Dies hat den Grund, dass jeder der Probanden eigenen Vorstellung davon hat, was für ihn eine hohe Beanspruchung darstellt. Die individuellen Skalen müssen dabei nicht identisch sein und weisen unterschiedliche Extremwerte auf. Dies sollte jedoch kein Problem darstellen, da die Probanden allen Fragen die gleiche, individuelle Skala zugrunde gelegt haben und somit in ihren Antworten konsistent geblieben sind.

#### 4.5.3 *Verständnis des Konzeptes*

Anhand der Interviews und drei offenen Fragen, sowie zusätzlich den Beobachtungen des Versuchsleiters, sollte überprüft werden, ob die Probanden das System ohne vorherige Anweisung nutzen können und die in [Kapitel 3](#) vorgestellten Konzepte verstanden haben. So sollte mit der ersten Frage abgefragt werden, ob die Probanden das Gefühl hatten die Bücher leicht gefunden zu haben. Bei der Ver-

gleichsbedingung hatten fünf von neun Probanden das Gefühl die Bücher nicht einfach gefunden zu haben. Nach den Kommentaren zu urteilen lag dies meist daran, dass die Teilnehmer zu Beginn der Suche nicht wussten, in welcher Richtung sich das gesuchte Buch befindet. Da ihnen nur das Kürzel zur Verfügung stand, konnten sie daraus nicht schließen, an welcher Stelle der Bibliothek das gesuchte Regal ist. Mit sieben positiven von insgesamt neun Bewertungen konnte die Kartennavigation den Teilnehmern bereits besser helfen. Das Problem hierbei war die Genauigkeit der Anzeige der eigenen Position, welche für zwei der Teilnehmer zu ungenau war. Zur groben Orientierung konnte die angezeigte Position genutzt werden, jedoch konnte sich auf diese Anzeige nicht verlassen werden. Acht der neun der Probanden hatten das Gefühl, dass sie die Bücher mit dem InLiGation System einfach gefunden haben. Vor allem das Regal zu finden, in welchem sich das gesuchte Buch befindet, war laut den Probanden sehr angenehm. Ähnlich wie zuvor war jedoch das Finden des Buches innerhalb des Regals. Das InLiGation System endet an diesem Punkt und das Display des Smartphones übernimmt die weitere Navigation bis zum Buch. Dies ist das gleiche System wie bei der Kartennavigation und ein sehr ähnliches System, wie bei der Vergleichsbedingung. Hier besteht noch großes Verbesserungspotential. Dies konnte auch durch die Beobachtungen (des Versuchsleiters) bestätigt werden. Es konnte klar erkannt werden, dass es für die Teilnehmer einfach war das gesuchte Regal zu finden, jedoch war das Finden des Buch innerhalb dieses Regals mit einem hohen Zeitaufwand verbunden. Dies konnte ebenso in den Interviews festgestellt werden. Ein Teilnehmer berichtete genau von diesem Problem. Außerdem konnte beobachtet werden, dass vier von neun Teilnehmern beim ersten Lichtpunkt nachdenklich aussahen und nicht genau wussten, in welche Richtung sie gehen mussten. Diese Unsicherheit legte sich jedoch meist nach dem zweiten Lichtpunkt.

#### 4.5.4 Usability

Die Usability des Systems wurde durch den SUS-Fragebogen evaluiert. Die Ergebnisse von diesem werden im Folgenden vorgestellt. Der SUS-Fragebogen besteht aus zehn standardisierten Aussagen. Die einzelnen Aussagen werden auf einer Skala von null bis vier bewertet. Ein höherer Wert bedeutet hierbei eine gute Gebrauchstauglichkeit, während ein niedriger Wert eine schlechte Gebrauchstauglichkeit darstellt. In der folgenden [Tabelle 4.9](#) kann die durchschnittliche Bewertung der Teilnehmer betrachtet werden. Laut einer Bewertungsskala von Bangor et al., welche in [Abbildung 4.3](#) dargestellt ist, ist ein System zwischen einem Wert von 52 und 73 Punkten okay. In diesem Bereich befindet sich die Vergleichsbedingung. Dies ist dadurch zu erklären, dass die Probanden durch das System wenig Unterstüt-

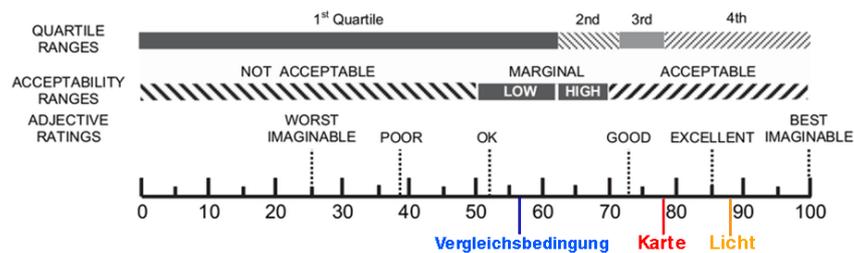
Aussage	Vergleichs- bedingung	Karte	InLiGation
Ich kann mir sehr gut vorstellen, das System regelmäßig zu nutzen.	2,67	3,22	3,44
Ich empfinde das System als unnötig komplex.	1,67	0,78	0,33
Ich empfinde das System als einfach zu nutzen.	1,67	2,67	3,33
Ich denke, dass ich technischen Support brauchen würde, um das System zu nutzen.	0,56	0,56	0,22
Ich finde, dass die verschiedenen Funktionen des Systems gut integriert sind.	1,56	2,78	3,33
Ich finde, dass es im System zu viele Inkonsistenzen gibt.	1,67	0,89	0,22
Ich kann mir vorstellen, dass die meisten Leute das System schnell zu beherrschen lernen.	1,44	3,22	3,78
Ich empfinde die Bedienung als sehr umständlich.	1,56	0,56	0,33
Ich habe mich bei der Nutzung des Systems sehr sicher gefühlt.	1,78	2,88	3,00
Ich musste eine Menge Dinge lernen, bevor ich mit dem System arbeiten konnte.	1,00	0,56	0,33
Durchschnitt gesamt	2,27	3,14	3,54

**Tabelle 4.9:** Auswertung der SUS Fragebögen. Die Skala reicht von null bis vier.

zung bekommen haben. Lediglich einen Lageplan, falls sie diesen gefunden haben, wurde ihnen zur Verfügung gestellt. Da sie ansonsten durch die Beschilderung der Bibliothek versuchen mussten ihr Ziel zu finden, ist das Ergebnis nicht verwunderlich. Auf derselben Skala wird ein System als Gut bewertet, falls es zwischen 73 und 82 Punkten erreicht. Die Kartennavigation erreicht einen Wert von 78 Punkten. Auch dies ist nicht weiter verwunderlich. Dass das System besser abschneidet, als die Vergleichsbedingung ist naheliegend und dadurch zu erklären, dass den Probanden eine Karte mit eingezeichnetem Standort zur Hilfe angeboten wurde.

Die besseren Werte des InLiGation Systems müssen nicht zwangsläufig bedeuten, dass das InLiGation System in allen Punkten besser als eine Kartennavigation ist. Aufgrund der vielen Umweltfakto-

ren war die Lokalisation per Bluetooth nicht immer 100% zuverlässig und somit wurden die Probanden teilweise falsch lokalisiert. Bei dem InLiGation System wurde die gleiche Lokalisierung benutzt, jedoch wurde den Probanden der Standort nur durch den nächsten leuchtenden Lichtbeacon angezeigt, anstatt Punktgenau auf einer Karte. Dies führte vermutlich dazu, dass das InLiGation System einen Wert von 88 Punkten erreichte und damit laut Skala als exzellentes System eingestuft wird. Trotz der Tatsache, dass sich auf diesen Wert nicht komplett verlassen werden kann, sollte erkenntlich sein, dass die Probanden keine größeren Probleme hatten das InLiGation System zu benutzen.



**Abbildung 4.3:** Einordnung der Ergebnisse des SUS-Fragebogen nach Bangor et al. Übernommen aus Bangor, Kortum, und Miller [3]

#### 4.6 DISKUSSION UND EINSCHRÄNKUNGEN

In diesem Abschnitt sollen die vorgestellten Ergebnisse genutzt werden um die anfangs aufgestellten Forschungsfragen zu beantworten und zu diskutieren. Zusätzlich soll überprüft werden, ob die aufgestellten Anforderungen erfolgreich umgesetzt wurden. Die [Tabelle 4.10](#) bis [Tabelle 4.13](#) stellen eine Zusammenfassung der wichtigsten Erkenntnisse dar. Sie sollen dabei helfen zu klären, wie das InLiGation System im Vergleich zu den anderen beiden System abgeschnitten hat. Wichtig zu beachten ist, dass die hierbei getroffenen Aussagen nicht auf einer statistischen Signifikanzanalyse beruhen und somit nicht ohne weitere verallgemeinert werden dürfen.

##### F 1. Effizienz

- *Am schnellsten waren die Probanden mit Hilfe des InLiGation Systems*
- *Mit der Vergleichsbedingung brauchten die Probanden am längsten*

**Tabelle 4.10:** Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse hinsichtlich der Effizienz.

Aufgrund der Ergebnisse aus [Unterabschnitt 4.5.1](#) kann geschlossen werden, dass das Benutzen einer Hilfe bei der Navigation zu einer Effizienzsteigerung führt. Während die Probanden im Durchschnitt bei der Suche mit der Vergleichsbedingung am längsten gebraucht haben, konnte sowohl das Einsetzen einer Kartennavigation sowie das Einsetzen des InLiGation Systems diese benötigte Zeit deutlich reduzieren. Weitaus spannender ist jedoch, dass die Kartennavigation und das InLiGation System zu einem sehr ähnlichen Ergebnis führten. Auf den ersten Blick sieht es so aus, als ob es für die Probanden keine Rolle spielte, ob die Hilfe durch eine Karte oder durch die Lichtpunkte gegeben wurde. Jedoch muss bedacht werden, dass ein großer Teil der benötigten Zeit von der Suche im Regal nach dem jeweiligen Buch beansprucht wurde und nicht durch das Finden des Regals. Dieser Teil war in beiden System gleich implementiert und könnte somit eine Erklärung für die erhobenen Daten sein. Dies kann auch anhand einer Aussage eines Teilnehmers bestätigt werden: „Um das Regal zu finden hat mich die Lichtnavigation am meisten unterstützt, aber vor dem Regal waren dann eigentlich alle drei Systeme recht ähnlich“ (Teilnehmer 7). Für eine weitere Verbesserung des Systems sollte daher dieser Vorgang näher untersucht und verbessert werden. Ein weiterer spannender Aspekt ist, dass die subjektive Einschätzung der benötigten Zeit der Teilnehmer ein sehr ähnliches Resultat erzielt wie die tatsächlich objektiv erhobenen Daten. Bei dieser Einschätzung schneidet das InLiGation System gegenüber der Kartennavigation sogar noch etwas besser ab, als im Vergleich zur tatsächlich gemessenen Zeit. Dies spricht dafür, dass die Teilnehmer das Gefühl hatten, mit dem InLiGation System die Bücher schneller gefunden zu haben, obwohl dies objektiv betrachtet nur marginal der Fall war.

#### **F 2. Task-Load:**

- *Der Task-Load ist bei des InLiGation Systems deutlich geringer als bei den anderen Systemen*
- *Die zeitliche Anforderung spiegelt die Ergebnisse der erhobenen Zeiten wider*
- *Es gibt nur einen geringen Unterschied, wenn es darum geht, ob die Aufgabe bewältigt werden konnte*
- *Der Wert für die Frustration liegt bei Kartennavigation und dem InLiGation System auf einem niedrigen Level, bei der Vergleichsbedingung ist dieser Wert dagegen markant höher*

**Tabelle 4.11:** Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse hinsichtlich des Task-Loads.

Die Daten spiegeln die Theorie aus [Kapitel 2](#) wider. Wie zu erwarten liegt die geistige Anforderung des InLiGation Systems deutlich unter der Vergleichsbedingung. Außerdem wurde die geistige Anforderung des InLiGation Systems als niedriger empfunden wurde, als bei der Kartennavigation. Dies könnte den Grund haben, dass die Kartennavigation eine Orientierung im Raum erfordert, welche anspruchsvoller ist, als das simple Folgen von Lichtpunkten. Ob sich dies auf das Bilden von räumlichen Wissens auswirkt, konnte in dieser Arbeit nicht geprüft werden. Dies könnte jedoch in einer folgenden Arbeit näher untersucht werden. Ebenso konnte nicht untersucht werden, ob das geschaffene System zufällige Entdeckung oder eine Exploration ermöglicht. Jedoch berichteten mehrere Probanden, dass sie während der Navigation mit Hilfe des InLiGation Systems das Smartphone nicht brauchten und ihr Fokus auf der Umgebung lag. Ein Teilnehmer erzählte: „Ich hab eigentlich nur noch auf die Lichtpunkte geschaut, vielleicht höchstens aus Gewohnheit noch aufs Handy. Aber grundsätzlich habe ich schon auf die Lichter geachtet“(Teilnehmer 2). Durch dies könnte der Blick der Probanden über die Regale schweifen und interessante Bücher könnten entdeckt werden.

Die Daten der körperlichen Anforderung sollten mit großer Vorsicht genossen werden, da viele Teilnehmer nicht genau verstanden haben, was sich hinter dieser Kategorie verbirgt. Die subjektive Einschätzung der zeitlichen Anforderung spiegelt gut wider, was die gemessenen Zeiten anzeigen und zeigen somit, dass es nur einen kleinen Unterschied macht, ob die Navigation mittels einer Karte oder dem InLiGation System erfolgt. Ebenso ist auch die Frustration bei dem InLiGation System und der Kartennavigation ähnlich gering im Vergleich zu der Vergleichsbedingung.

Die Daten des Task-Loads zeigen also, dass das InLiGation System etwas besser abschneidet als die Kartennavigation und beide Systeme markant besser abschneiden als die Vergleichsbedingung.

### **F 3. Verständnis des Konzeptes:**

- *Es gab anfängliche Probleme bei dem InLiGation System.*
- *Die Richtungsanzeige wurde fast immer verstanden.*
- *Ein voller Lichtpunkt als Ziel wurde verstanden.*
- *Der eigener Standort bei Kartennavigation war vor allem für unerfahrene Benutzer hilfreich.*
- *Der eigener Standort wurde zu langsam in der Karte aktualisiert.*

**Tabelle 4.12:** Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse hinsichtlich des Verständnis des Konzeptes.

Anhand der Ergebnisse aus [Unterabschnitt 4.5.3](#) kann gesehen werden, dass die Probanden grundsätzlich sehr gut mit dem Konzept zurechtkamen. Nichtsdestotrotz deckte das Interview und vor allem die Beobachtungen einige Probleme der Probanden auf. Insbesondere war der erste Lichtbeacon für die meisten Teilnehmer nicht komplett verständlich. Ihnen war nicht direkt bewusst, was ihnen der Beacon anzeigt. Spätestens jedoch nach dem zweiten Beacon hatten die Probanden das Konzept verstanden und waren meist in der Lage den Lichtern bis zum entsprechenden Regal zu folgen. Dies bestätigt auch die Aussage eines Teilnehmers: „Ganz am Anfang, wusste ich es nicht, ich hab es dann aber recht schnell gemerkt, wo ich hingehen musste.“ (Teilnehmer 4). Diese Aussage ist wenig überraschend, da den Teilnehmern das Konzept vorher nicht erklärt wurde. Ziel war es, ein System zu schaffen, das ohne eine Einführung auskommt und von den Benutzern nicht großartig erlernt werden muss. In den Interviews und auch dem SUS-Fragebogen kann gesehen werden, dass das InLiGation System dies erreicht hat. Die Richtung, welche die Beacons durch das Leuchten auf einer bestimmten Seite anzeigen, wurde meist verstanden und sogar von einem Teilnehmer gelobt. Lediglich ein Teilnehmer hat nicht aktiv wahrgenommen, dass die Lichtkreise nicht nur leuchten, sondern zusätzlich eine Richtung anzeigen. Doch selbst dieser Teilnehmer hatte keine Probleme stets zu dem nächsten Beacon zu laufen und auch wurde keine markant längere Suchdauer festgestellt. Das einzige Problem an der Richtungsanzeige war die Anzeige der Richtung „gerade aus“. Diese wurde durch ein Leuchten der oberen Hälfte des Lichtkreises dargestellt. Dies wurde nicht direkt von allen Probanden erkannt. Nach teilweise kurzem Überlegen wurde es aber von allen Probanden verstanden. Das Erreichen des Zieles durch einen vollen Lichtkreis wurde von den meisten der Probanden wahrgenommen. Spätestens durch das Vibrieren des Smartphones war allen Probanden klar, dass sie sich nun am Ziel ihrer Suche befanden. Es kann also gesagt werden, dass die Konzepte des InLiGation Systems von den Probanden verstanden wurde und es nur kleinere Probleme dabei gab. Die Konzepte der Kartennavigation waren zum größten Teil bekannt und somit gab es für die Probanden keine Schwierigkeiten diese zu verstehen. Der eingezeichnete Standort, welcher sich bei der Bewegung der Probanden aktualisieren sollte, war jedoch neu im Vergleich zu einer analogen Karte. Vor allem Anfängern half dieser, um eine Idee über ihre momentane Position zu bekommen und einen Plan zu entwerfen, wie sie weiter gehen müssen, um zu ihrem Ziel zu gelangen. Das System brauchte jedoch kurz um diesen Standort zu ermitteln. Diese Zeitspanne war vor allem für erfahrenere Nutzer zu lange und somit nutzten sie diese Funktion nicht. So berichtete ein Teilnehmer: „Ich kenne mich in der Bibliothek ganz gut aus, darum habe ich ihn (den Standort) nicht gebraucht. Aber ich kann mir vorstellen, dass es für jemanden, der sich in der Biblio-

thek nicht so gut auskennt, ganz hilfreich sein kann.“(Teilnehmer 5). Daraus folgend ist der eingezeichnete Standort vor allem für Nutzer ohne beziehungsweise mit geringem Vorwissen über die Bibliothek von Nutzen.

Dies kann Aufschluss über die in F3.1 aufgestellte Forschungsfrage, über den Nutzen der Systeme bei steigender Erfahrung der Nutzer geben. Zumindest für die Kartennavigation scheint es so zu sein, dass mit steigender Erfahrung der Nutzer, der eigene Standort keine große Rolle mehr spielt. Dies lässt sich dadurch erklären, dass die Nutzer bereits auf umfassendes Überblickswissen zurückgreifen können und somit ihren eigenen Standort sehr schnell selbst bestimmen können. Für das InLiGation System konnte keine Korrelation zwischen Erfahrung der Nutzer und dem Nutzen des Systems festgestellt werden. Sowohl Neulinge als auch erfahrene Nutzer konnten das System nutzen und bewerteten das System auf einem ähnlichen Niveau. Dies könnte jedoch auch aus der kleinen Studienfläche resultieren. Falls das System in einem größeren Bereich getestet werden würde, könnte es sein, dass erfahrene Nutzer Abkürzungen nutzen können, welche nicht durch Lichtbeacons abgedeckt sind. Ob das System dann immer noch funktioniert und von beiden Gruppen ähnlich bewertet werden würde, müsste weiter überprüft werden.

#### F 4. Usability:

- *Das InLiGation System schneidet am besten ab.*
- *Der SUS-Score von InLiGation steht für eine sehr gute Usability.*
- *Die Benutzer könnten sich vorstellen das System regelmäßig zu nutzen.*
- *Der SUS-Score der Kartennavigation steht für eine gute Usability.*
- *Die Vergleichsbedingung schneidet am schlechtesten ab und ist laut SUS-Score OK.*

**Tabelle 4.13:** Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse hinsichtlich der Usability.

Der SUS-Fragebogen hat für die Usability des InLiGation Systems einen sehr guten Wert ergeben. Die meisten Probanden könnten sich gut vorstellen das System regelmäßig zu nutzen. Ebenfalls bewerteten die Probanden die Aussage: „Ich musste eine Menge Dinge lernen, bevor ich mit dem System arbeiten konnte“ mit sehr gut. Dieser Wert steht eng in Verbindung mit den Beobachtungen und den Interviews.

Die Probanden mussten zu Beginn lernen, wie das System funktioniert. Doch bereits nach ein oder zwei Lichtpunkten hatten sie alle benötigten Konzepte verstanden und waren in der Lage erfolgreich mit dem System zu interagieren. Die Ergebnisse des SUS-Fragebogens dürfen jedoch aufgrund der sehr eingeschränkten Testumgebung von nur einer Ebene und der geringen Anzahl an Teilnehmern nicht ohne weiteres verallgemeinert werden und sollten in weiteren Studien näher untersucht werden.

Durch das Interview konnte zusätzlich in Erfahrung gebracht werden, dass manche Nutzer lieber mit Hilfe einer Karte navigieren als mit dem InLiGation System. So erzählte einer der Teilnehmer, dass ihm persönlich Karten lieber seien und mehr Spaß gemacht hätten als das InLiGation System. Diese Aussage legt nahe, dass verschiedene Benutzer verschiedene Präferenzen haben und somit eine gute App beide dieser Formen der Navigation unterstützen sollte.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Ergebnisse sehr positiv für das InLiGation System ausgefallen sind. Die Konzepte wurden schnell erlernt und verstanden und der Task-Load ist geringer als bei der Kartennavigation oder der Vergleichsbedingung. Eine große Zeitersparnis konnte gegenüber der Vergleichsbedingung verzeichnet werden. Mit der Kartennavigation konnte hingegen eine sehr ähnliche Zeit erreicht werden. Es darf jedoch nicht vergessen werden, dass das System nur auf einem sehr kleinen Teil der Bibliothek getestet wurde und somit spannende Suchszenarien, wie zum Beispiel die Navigation über mehrere Ebenen oder sogar Gebäude, nicht getestet werden konnten. Des Weiteren können aufgrund der geringen Teilnehmeranzahl die Ergebnisse nicht verallgemeinert werden. Nichtsdestotrotz zeigt die Studie, dass das Konzept grundsätzlich Potenzial bietet und in weiteren Studien näher untersucht werden sollte.



## ZUSAMMENFASSUNG & AUSBLICK

---

In dieser Bachelorarbeit wurde eine neue Art der Navigation vorgestellt - das Navigieren der Nutzer mit Hilfe von Lichtpunkten in der Umgebung. Dieser Ansatz soll es ermöglichen, dass der Fokus der Nutzer nicht auf dem Smartphone, sondern stattdessen auf der Umgebung liegt.

Um die zugrunde liegenden Prozesse einer Navigation besser zu verstehen, wurden anfangs Theorien und Grundlagen aus der Kognitionspsychologie vorgestellt. Zusätzlich wurde untersucht, inwieweit der Kontext einer wissenschaftlichen Bibliothek spezielle Anforderungen an ein Navigationssystem stellt. Die vielen Verzweigungen und die großen Flächen in einer wissenschaftlichen Bibliothek machen eine Navigation durch diese meist schwierig und zeitaufwendig. Mit Hilfe des erarbeiteten Wissens wurden Anforderungen an ein System für diesen speziellen Kontext erarbeitet.

Mit diesen Anforderungen als Grundlage konnte der InLiGation Prototyp entwickelt werden. Das InLiGation System nutzt Knotenpunkte, also Stellen, an welchen sich die Nutzer entscheiden müssen, in welche Richtung sie weiter laufen würden. An diesen Punkten sind Lichtpunkte angebracht, welche den Nutzern die gesuchte Richtung zu dem Buch anzeigen. Diese Richtung wird durch das Aufleuchten von einem Teil des Lichtkreises angezeigt. Sobald die Nutzer das richtige Regal gefunden haben, leuchtet der komplette Lichtkreis und das Smartphone der Nutzer vibriert, um zu verdeutlichen, dass das entsprechende Regal gefunden wurde. Durch eine Karte auf dem Smartphone der Nutzer wird anschließend die genaue Position des Buches angezeigt.

Um die Anforderungen möglichst in einem realen Szenario überprüfen zu können, wurde eine Feldstudie durchgeführt. Anhand von neun Teilnehmern wurde das System evaluiert und mit zwei Vergleichssystemen verglichen. Dabei war eines der Systeme das System wie es momentan in der Bibliothek der Universität Konstanz genutzt wird und das andere System eine Kartennavigation, welche ebenfalls im Zuge dieser Arbeit entwickelt wurde. Im Unterschied zu einer analogen Karte, wurde bei dieser Kartennavigation zusätzlich der Standort des Nutzer auf der Karte eingezeichnet.

Die erhobenen Anforderungen wurden in vier allgemeine Forschungsfrage überführt, welche durch die Evaluation beantwortet werden sollten. Dabei ging es um die Effizienz, der Task-Load, das Verständnis des Konzeptes und die Usability des Systemes. Die Ergebnisse haben gezeigt, dass das InLiGation System ähnlich effizient wie die Kartennavigation ist und beide Systeme besser abschneiden als das bisherige System. Das InLiGation System konnte vor allem bei der kognitiven Belastung punkten, welche geringer ausfiel als bei der Kartennavigation und deutlich geringer als bei dem Vergleichssystem. Die restlichen Ergebnisse des Task-Load waren sehr ähnlich zu denen der von der Kartennavigation. Des Weiteren wurden das InLiGation Konzept nach anfänglichen Schwierigkeiten meist schnell verstanden und somit von den Probanden sehr gut bewertet. Nichtsdestotrotz wurde von einem Versuchsteilnehmer berichtet, dass ihm die Kartennavigation besser gefallen hätte als das InLiGation System. Dies könnte auf die persönliche Vorliebe des Teilnehmers zurückzuführen sein. Der SUS-Fragebogen ergab, dass das InLiGation System eine sehr gute Usability aufweist und von den Probanden als positiv empfunden wurde. Diese sehr positiven Ergebnisse dürfen aufgrund der geringen Teilnehmerzahl und dem kleinen Gebiet, auf welchem die Studie stattgefunden hat, jedoch nicht verallgemeinert werden.

### **Weitere Forschungsfragen**

In dieser ersten Studie konnte lediglich ein Teil des Systems überprüft werden. Weder die gleichzeitige Nutzung von mehreren Personen, noch die Navigation über mehrere Ebenen oder sogar Gebäude konnte überprüft werden. Dadurch kann durch die Studie lediglich gesagt werden, dass ein Potenzial des entworfenen Systems aufgezeigt wurde, jedoch die einzelnen Bereiche durch folgende Studien näher untersucht werden sollten. Zusätzlich zu diesen bereits genannten Forschungsthemen könnte untersucht werden, inwieweit diese Form der Benutzerführung das Aufbauen räumlichen Wissens hemmt oder aber unterstützt. Aufgrund der Theorie aus [Kapitel 2](#), insbesondere dem Teil der Lesbarkeit der Umgebung von [Unterabschnitt 2.3.1](#), könnte die Vermutung aufgestellt werden, dass durch die Positionierung der Lichtbeacons an markanten Stellen der Umgebung die Bildung räumlichen Wissens unterstützt wird [30].

### **Mögliche Erweiterungen des Prototyps**

Ein weiterer wichtiger Schritt wäre es, die Lokalisierung zu verbessern. Die momentan genutzte Lokalisierungsmethode mittels Bluetooth brachte einige Schwierigkeiten mit sich. Insbesondere war eines der Probleme, dass durch die variierende Anzahl an Personen und elektrischen Geräten in der Bibliothek die Lokalisierung nicht zuverlässig verlief. Aufgrund dessen mussten für die Studie stets Randzeiten der Bibliothek benutzt werden, um eine verlässlichere Bestim-

mung des Standortes zu erreichen. Dieses Problem könnte entweder durch die Implementierung eines Kalibrierungsalgorithmus behoben werden oder es sollte eine andere, bessere Lokalisierungsmethode benutzt werden.



## LITERATUR

- 
- [1] amazon. *sweets akku Pack 20000mAh*. besucht:01.05.18. URL: [https://images-na.ssl-images-amazon.com/images/I/61R8bqokDxL.\\_SL1500\\_.jpg](https://images-na.ssl-images-amazon.com/images/I/61R8bqokDxL._SL1500_.jpg).
- [2] Katrin Arning, Martina Ziefle, Ming Li, und Leif Kobbelt. "Insights into user experiences and acceptance of mobile indoor navigation devices". In: *Proceedings of the 11th International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia - MUM '12*. New York, New York, USA: ACM Press, Dez. 2012, S. 1. URL: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2406367.2406417>.
- [3] Aaron Bangor, Philip T. Kortum, und James T. Miller. "An Empirical Evaluation of the System Usability Scale". In: *International Journal of Human-Computer Interaction* 24.6 (Juli 2008), S. 574–594. URL: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10447310802205776>.
- [4] Christina Bauer, Manuel Müller, und Bernd Ludwig. "Indoor pedestrian navigation systems". In: *Proceedings of the 15th International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia - MUM '16*. New York, New York, USA: ACM Press, 2016, S. 75–79. URL: <http://dl.acm.org/citation.cfm?doid=3012709.3012728>.
- [5] Lennart Björneborn. "Serendipity dimensions and users' information behavior in the physical library interface". In: 13 (Dez. 2008),
- [6] Daniel Bogenrieder. *Seminararbeit: Indoor Navigation im Kontext Bibliothek*. 2016.
- [7] Daniel Bogenrieder. *Projekt Bericht: Indoor Navigation im Kontext Bibliothek*. 2018.
- [8] Doug A. Bowman, Ernst Kruijff, Joseph J. LaViola, und Ivan Poupyrev. *3D user interfaces : theory and practice*. Addison-Wesley, 2005, S. 478. URL: <https://dl.acm.org/citation.cfm?id=993837>.
- [9] Stephen Brewster und Lorna M. Brown. *Tactons: structured tactile messages for non-visual information display*. 2004. URL: <https://dl.acm.org/citation.cfm?id=976313>.
- [10] John Brooke. *SUS -A quick and dirty usability scale Usability and context*. URL: <https://hell.meiert.org/core/pdf/sus.pdf>.

- [11] Gary E. Burnett und Gary E. "Turn right at the King's Head': drivers' requirements for route guidance information". In: (1998). URL: <https://dspace.lboro.ac.uk/dspace-jspui/handle/2134/27347>.
- [12] Gregory Dean. *Demystifying iOS location-based services to improve accuracy*. besucht:11.04.18. URL: <https://www.techrepublic.com/blog/software-engineer/demystifying-ios-location-based-services-to-improve-accuracy/>.
- [13] Juan V Durá-Gil, Bruno Bazuelo-Ruiz, David Moro-Pérez, und Fernando Mollà-Domenech. "Analysis of different vibration patterns to guide blind people." In: *PeerJ* 5 (2017), e3082. URL: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28348928><http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=PMC5366061>.
- [14] R.G. Golledge. *Wayfinding Behavior: Cognitive Mapping and Other Spatial Processes*. Johns Hopkins University Press, 1999. URL: <https://books.google.de/books?id=TjzxpAWiamUC>.
- [15] GoogleMaps. *Google Maps*. besucht:11.04.18. URL: <https://www.google.de/maps>.
- [16] Luis A Guerrero, Francisco Vasquez, und Sergio F Ochoa. "An indoor navigation system for the visually impaired." In: *Sensors (Basel, Switzerland)* 12.6 (2012), S. 8236–58. URL: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22969398><http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=PMC3436027>.
- [17] Sandra G. Hart und Lowell E. Staveland. "Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of Empirical and Theoretical Research". In: *Advances in Psychology* 52 (Jan. 1988), S. 139–183. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0166411508623869>.
- [18] Theo Herrmann, Karin Schweizer, Gabriele Janzen, und Steffi Katz. "Routen- und Überblickswissen - konzeptuelle Überlegungen". In: 7 (Nov. 1998), S. 145–159.
- [19] Sophie Hinrichs. "Experimentalpsychologische Untersuchungen zu Navigationsstrategien unter Berücksichtigung physiologischer und endokrinologischer Variablen". In: (2008). URL: <https://ediss.uni-goettingen.de/bitstream/handle/11858/00-1735-0000-0006-AD2C-C/hinrichs.pdf?sequence=1>.
- [20] Anuradha Jayakody, Shashika Lokuliyana, Dinusha Chathurangi, und Demini Vithana. "Indoor Positioning: Novel Approach for Bluetooth Networks using RSSI Smoothing". In: *International Journal of Computer Applications* 13713 (2016), S. 975–8887. URL: <http://www.ijcaonline.org/research/volume137/number13/jayakody-2016-ijca-909028.pdf>.

- [21] Thomas King, Thomas Haenselmann, Stephan Kopf, und Wolfgang Effelsberg. "Positionierung mit Wireless-LAN und Bluetooth". In: (2006).
- [22] B. Kling und T. Krüger. *Signaletik: Orientierung in Räumen*. DETAIL Spezial. DETAIL, 2013. URL: [https://books.google.de/books?id=YY%5C\\_TAAAAQBAJ](https://books.google.de/books?id=YY%5C_TAAAAQBAJ).
- [23] Universität Konstanz. *N-Bibliothek*. besucht:01.05.18. URL: <https://www.uni-konstanz.de/fileadmin/informationen/zentral/asbest/Buchbereich-G-02.jpg>.
- [24] Prof. Dr. M. Krebernik. *Ältester Stadtplan der Welt*. besucht:01.05.18. URL: <http://www.uni-jena.de/-p-287337.html>.
- [25] Joseph J. LaViola, Ernst Kruijff, Ryan P. McMahan, Doug A. Bowman, und Ivan Poupyrev. *3D user interfaces : theory and practice*, S. 591. URL: <https://books.google.de/books?>.
- [26] Carol A. Lawton. "Gender differences in way-finding strategies: Relationship to spatial ability and spatial anxiety". In: *Sex Roles* 30.11-12 (Juni 1994), S. 765–779. URL: <http://link.springer.com/10.1007/BF01544230>.
- [27] Seoung-Hyeon Lee, Il-Kwan Lim, und Jae-Kwang Lee. "Method for Improving Indoor Positioning Accuracy Using Extended Kalman Filter". In: *Mobile Information Systems 2016* (Juli 2016), S. 1–15. URL: <https://www.hindawi.com/journals/misy/2016/2369103/>.
- [28] Xin Li, Jian Wang, und Chunyan Liu. "A Bluetooth/PDR Integration Algorithm for an Indoor Positioning System." In: *Sensors (Basel, Switzerland)* 15.10 (2015), S. 24862–85. URL: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26404277>.
- [29] M.E.M. Lijding, Nirvana Meratnia, H.P. Benz, und A. Matysiak Szóstek. "Smart Signs Show You the Way". In: 22.LNCS4549/4 (Aug. 2007), S. 35–38.
- [30] Kevin Lynch. *The image of the city*. MIT Press, 1960, S. 194.
- [31] Epona Marketing. *Beschilderung der Sana Kliniken Duisburg*. URL: [http://epona-marketing.de/?attachment\\_id=989](http://epona-marketing.de/?attachment_id=989) (besucht am 09.03.2018).
- [32] Vladislav Nemeč, Adam J. Sporka, und Pavel Slavik. "Haptic and Spatial Audio Based Navigation of Visually Impaired Users in Virtual Environment Using Low Cost Devices". In: Springer, Berlin, Heidelberg, 2004, S. 452–459. URL: [http://link.springer.com/10.1007/978-3-540-30111-0%7B%5C\\_%7D39](http://link.springer.com/10.1007/978-3-540-30111-0%7B%5C_%7D39).
- [33] notebooksbilliger. *raspberry pi 3*. besucht:01.05.18. URL: <https://www.notebooksbilliger.de/raspberrypi+3+model+b+arm+cortex+a53>.

- [34] Adam Hernod Olevall und Mathieu Fuchs. "Indoor Navigation And Personal Tracking System Using Bluetooth Low Energy Beacons". In: (2017). URL: <https://uu.diva-portal.org/smash/get/diva2:1148761/FULLTEXT01.pdf>.
- [35] OrangeSmile. *Karte von Berlin*. besucht:11.04.18. URL: [http://www.orangesmile.com/common/img\\_city\\_maps/berlin-map-3.jpg](http://www.orangesmile.com/common/img_city_maps/berlin-map-3.jpg).
- [36] Florian Perteneder, Eva-Maria Beatrix Grossauer, Joanne Leong, Wolfgang Stuerzlinger, und Michael Haller. "Glowworms and Fireflies: Ambient Light on Large Interactive Surfaces". In: *Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. New York, New York, USA: ACM Press, Mai 2016, S. 5849–5861. URL: <http://doi.acm.org/10.1145/2858036.2858524>.
- [37] Kamal Saadeddin, Mamoun F. Abdel-Hafez, Mohammad A. Jaradat, und Mohammad Amin Jarrah. "Optimization of Intelligent Approach for Low-Cost INS/GPS Navigation System". In: *Journal of Intelligent & Robotic Systems* 73.1 (2014), S. 325–348. URL: <http://dx.doi.org/10.1007/s10846-013-9943-2>.
- [38] Wilson Sakpere, Michael Adeyeye Oshin, und Nhlanhla BW Mlitwa. "A State-of-the-Art Survey of Indoor Positioning and Navigation Systems and Technologies". In: *South African Computer Journal* 29.3 (Dez. 2017). URL: <http://sacj.cs.uct.ac.za/index.php/sacj/article/view/452>.
- [39] Karin Schweizer, Theo Herrmann, Gabriele Janzen, und Steffi Katz. "The Route Direction Effect and its Constraints". In: (). URL: [https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/3-540-69342-4%7B%5C\\_%7D2.pdf](https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/3-540-69342-4%7B%5C_%7D2.pdf).
- [40] A W Siegel und S H White. "The development of spatial representations of large-scale environments." In: *Advances in child development and behavior* 10 (1975), S. 9–55. URL: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/1101663>.
- [41] Kenny Skagerlund, David Kirsh, und Nils Dahlbäck. "Maps in the Head and Maps in the Hand". In: (). URL: <https://philarchive.org/archive/DAVMIT>.
- [42] Ming-hui Sun, Wen-zhao Gu, Ming Ding, und Xiao-ying Sun. "The Influence of Vibration on Performance of Navigation Tasks". In: Springer, Cham, Juli 2018, S. 307–318. URL: [http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-73317-3%7B%5C\\_%7D36](http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-73317-3%7B%5C_%7D36).
- [43] Faisal Taher, Keith Cheverst, Mike Harding, und Daniel Fitton. "Formative studies for dynamic wayfinding support with in-building situated displays and mobile devices". In: *Proceedings of the 8th International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia - MUM '09*. New York, New York, USA: ACM Press,

- 2009, S. 1–10. URL: <http://portal.acm.org/citation.cfm?doid=1658550.1658555>.
- [44] Edward C. Tolman. "Cognitive maps in rats and men." In: *Psychological Review* 55.4 (1948), S. 189–208. URL: <http://doi.apa.org/getdoi.cfm?doi=10.1037/h0061626>.
- [45] Ishikawa Toru und Daniel R Montello. "Spatial knowledge acquisition from direct experience in the environment: Individual differences in the development of metric knowledge and the integration of separately learned places". In: *Cognitive Psychology* 52.52 (2006), S. 93–129. URL: [www.elsevier.com/locate/cogpsych](http://www.elsevier.com/locate/cogpsych).
- [46] Bibliothek der Universität Konstanz. *Lageplan des Bibliothek Abschnitts N5*. URL: [http://libero.ub.uni-konstanz.de:8080/bibmap/BIBMAP\\_Server?signatur=phy%5C%20628/r47&GRUPPE=phy&LANG=de](http://libero.ub.uni-konstanz.de:8080/bibmap/BIBMAP_Server?signatur=phy%5C%20628/r47&GRUPPE=phy&LANG=de) (besucht am 09.03.2018).
- [47] Tony Shu-Hsien Wang, Dian Tjondronegoro, Michael Docherty, Wei Song, und Joshua Fuglsang. "A recommendation for designing mobile pedestrian navigation system in university campuses". In: *Proceedings of the 25th Australian Computer-Human Interaction Conference on Augmentation, Application, Innovation, Collaboration - OzCHI '13*. New York, New York, USA: ACM Press, Nov. 2013, S. 3–12. URL: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2541016.2541039>.
- [48] Steffen Werner, Bernd Krieg-Brückner, Hanspeter A. Mallot, Karin Schweizer, und Christian Freksa. "Spatial Cognition: The Role of Landmark, Route, and Survey Knowledge in Human and Robot Navigation<sup>1</sup>". In: Springer, Berlin, Heidelberg, 1997, S. 41–50. URL: [http://link.springer.com/10.1007/978-3-642-60831-5\\_7B\\_5C\\_7D8](http://link.springer.com/10.1007/978-3-642-60831-5_7B_5C_7D8).
- [49] Steffen Werner, Christina Saade, und Gerd Lürer. "Relations between the mental representation of extrapersonal space and spatial behavior". In: Springer, Berlin, Heidelberg, 1998, S. 107–127. URL: [http://link.springer.com/10.1007/3-540-69342-4\\_7B\\_5C\\_7D6](http://link.springer.com/10.1007/3-540-69342-4_7B_5C_7D6).
- [50] Wikipedia. *Tontafel mit dem Stadtplan von Nippur*. besucht:11.04.18. URL: [https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Clay\\_tablet\\_containing\\_plan\\_of\\_Nippur\\_\(Hilprecht\\_EBL\\_1903\).jpg](https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Clay_tablet_containing_plan_of_Nippur_(Hilprecht_EBL_1903).jpg).
- [51] Jeff Wilson, Bruce N. Walker, Jeffrey Lindsay, Craig Cambias, und Frank Dellaert. "SWAN: System for Wearable Audio Navigation". In: *2007 11th IEEE International Symposium on Wearable Computers*. IEEE, Okt. 2007, S. 1–8. URL: <http://ieeexplore.ieee.org/document/4373786/>.

- [52] Thomas Wolbers, Cornelius Weiller, und Christian Büchel. "Neural foundations of emerging route knowledge in complex spatial environments". In: *Cognitive Brain Research* 21.3 (Nov. 2004), S. 401–411. URL: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15511655><http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0926641004001880>.
- [53] Jianjun Yin, Ming Gu, und Jianqiu Zhang. "The Expanded State Space Kalman Filter for GPS Navigation". In: *Information Technology Journal* 10.11 (Nov. 2011), S. 2091–2097. URL: <http://www.scialert.net/abstract/?doi=itj.2011.2091.2097>.
- [54] Michael Zöllner, Stephan Huber, Hans-Christian Jetter, und Harald Reiterer. "NAVI - A Proof-of-Concept of a Mobile Navigational Aid for Visually Impaired Based on the Microsoft Kinect". In: *INTERACT 2011: Proceedings of 13th IFIP TC13 Conference on Human-Computer Interaction (Interactive Poster)*. acm In-Cooperation, SpringerLink, Sep. 2011, 584–587 (Part IV).

# Appendices



## INHALTSVERZEICHNIS DER ANHÄNGE

---

A	ERKLÄRUNG ÜBER EINE SELBSTÄNDIG VERFASSTE BACHE- LORARBEIT	68
B	WILLKOMMENSCHREIBEN	69
C	EINVERSTÄNDNIS ERKLÄRUNG	70
D	DEMOGRAPHISCHER FRAGEBOGEN	71
E	AUFGABE 1)	72
F	AUFGABE 2)	73
G	AUFGABE 3)	74
H	POST-FRAGEBOGEN	75
I	BEOBACHTER FRAGEBOGEN	79

A ERKLÄRUNG ÜBER EINE SELBSTÄNDIG VERFASSTE BACHELOR-  
ARBEIT

Ich versichere hiermit, dass ich die anliegende Bachelorarbeit mit dem Thema:

**„InLiGation: Konzeption und Evaluation einer lichtbasierten Indoor-Navigation im Kontext einer wissenschaftlichen Bibliothek“**

(Englisch: „InLiGation: Design and evaluation of a light-based indoor navigation system in the context of a scientific library“)

selbständig verfasst und keine anderen Hilfsmittel und Quellen als die angegebenen benutzt habe.

Die Stellen, die anderen Werken (einschließlich des Internets und anderer elektronischer Text- und Datensammlungen) dem Wortlaut oder dem Sinn nach entnommen sind, habe ich in jedem einzelnen Fall durch Angabe der Quelle bzw. der Sekundärliteratur als Entlehnung kenntlich gemacht.

Weiterhin versichere ich hiermit, dass die o.g. Arbeit noch nicht anderweitig als Abschlussarbeit einer Bachelorprüfung eingereicht wurde. Mir ist ferner bekannt, dass ich bis zum Abschluss des Prüfungsverfahrens die Materialien verfügbar zu halten habe, welche die eigenständige Abfassung der Arbeit belegen können.

Die Arbeit wird nach Abschluss des Prüfungsverfahrens der Bibliothek der Universität Konstanz übergeben und katalogisiert. Damit ist sie durch Einsicht und Ausleihe öffentlich zugänglich. Die erfassten beschreibenden Daten wie z. B. Autor, Titel usw. stehen öffentlich zur Verfügung und können durch Dritte (z. B. Suchmaschinenanbieter oder Datenbankbetreiber) weiterverwendet werden. Als Urheber/in der anliegenden Arbeit stimme ich diesem Verfahren zu.

Eine aktuelle Immatrikulationsbescheinigung habe ich beigelegt.

*Konstanz, Mai 2018*

Daniel Bogenrieder

## Willkommen

Hallo und herzlich willkommen zu meiner Studie! Ich bin sehr froh darüber, dass Sie sich bereit erklärt haben an meiner Studie teilzunehmen und dadurch meine Arbeit zu unterstützen. Bevor es losgeht möchte ich Ihnen kurz erklären, um was es in der Studie gehen soll und welche Rolle Sie darin spielen. In der Studie möchte ich eine neue Art der Navigation testen und mit bestehenden Systemen vergleichen. Durch die Studie möchte ich überprüfen, ob diese Art der Navigation verstanden wird und wie gut sie im Vergleich zu den anderen Systemen abschneidet.

### Ziel der Studie

In meiner Bachelorarbeit habe ich ein System zur Indoor Navigation mithilfe von Licht geschaffen. Ziel dieser Studie ist es zu überprüfen, ob diese Konzepte verstanden werden und wie diese Form der Navigation im Vergleich zu anderen Systemen abschneidet. Bitte beachten Sie, dass zu keiner Zeit der Studie Ihre Leistung sondern lediglich die Leistung des Systems beobachtet werden.

### Vorgehen

Um die während der Studie gesammelten Daten anonym zu speichern und auswerten zu dürfen bitte ich Sie die beigefügte Einverständniserklärung zu unterschreiben. Um Ihre bereits gesammelten Erfahrungen bei der Buchsuche in der Bibliothek zu erfassen, bitte ich Sie den beigelegten Fragebogen auszufüllen. Anschließend wird es 3 Aufgaben geben, in welchen Sie Bücher mithilfe der verschiedenen System suchen und finden müssen. Falls sie Fragen haben, zögern Sie nicht diese zu stellen.

### Zeitumfang und Vergütung

Die Studie wird alles in allem knapp 60 Minuten gehen. Sie haben aber jederzeit die Möglichkeit die Studie vorzeitig zu beenden. Melden Sie sich hierzu einfach beim Versuchsleiter und sagen Sie Ihm Bescheid. Für die Beendigung der Studie erhalten Sie eine Aufwandsentschädigung in Höhe von 10 Euro.

Abschließend wünsche ich Ihnen viel Spaß bei der Studie und bedanke mich nochmals für die Teilnahme!

## C EINVERSTÄNDNIS ERKLÄRUNG

ID: \_\_\_\_\_

# Einverständniserklärung

## Informationen zu Studienleitung

Studienleitung: Daniel Bogenrieder  
Institution: Arbeitsgruppe Mensch-Computer-Interaktion, Universität Konstanz  
Projekt: Bachelorarbeit InLiGation

## Studienablauf

Wir möchten Sie nochmals auf folgende Punkte zu unserem Studienablauf aufmerksam machen:

- Sie können die Studie jederzeit abbrechen! Sollten Sie eine Pause benötigen, scheuen Sie sich nicht, uns dies mitzuteilen.
- Wenn Sie Fragen zum generellen Ablauf oder zum System haben, können Sie diese jederzeit dem Versuchsleiter stellen. Bitte haben Sie jedoch Verständnis dafür, dass wir aufgabenspezifische Fragen erst nach der Studie beantworten können, um eine Verzerrung der Daten zu verhindern.

## Erklärung

Über das Ziel, den Inhalt und die Dauer der Studie wurde ich informiert. Im Rahmen dieser Studie werden durch Fragebögen personenbezogene Daten erhoben. Zusätzlich wird bei dem Interview, welches nach der Studie stattfindet, eine Audioaufzeichnung stattfinden.

Hiermit bin ich darüber aufgeklärt, dass die Daten anonymisiert analysiert werden, vertraulich behandelt werden und nicht an Dritte weitergegeben werden. Audiodaten werden ausschließlich für die Auswertung zu genanntem Zweck verwendet und - mit meinem Einverständnis - für interne Präsentationszwecke genutzt.

Hiermit erkläre ich mich mit den oben genannten Punkten einverstanden:

Name Ort, Datum Unterschrift

Hiermit verpflichtet sich die Untersuchungsleitung, die Audioaufzeichnung sowie sämtliche sonstigen gewonnenen Daten, lediglich zu Auswertungszwecken im Rahmen dieser Untersuchung zu verwenden:

Name Ort, Datum Unterschrift

## D DEMOGRAPHISCHER FRAGEBOGEN

### Fragebogen

Vielen Dank für Ihre Teilnahme an meiner Studie. Bevor die Studie gleich beginnt, bitte ich Sie den unten stehenden Fragebogen auszufüllen. Mit diesem erfasse ich Daten zu Ihrer Person und Ihre Erfahrungen im Umgang mit dem bisherigen System. An diesem Punkt sei nochmal betont, dass die gesammelten Daten anonymisiert und ausschließlich zu Forschungszwecken genutzt werden.

#### Persönliche Daten

- Alter \_\_\_\_\_
- Geschlecht  männlich  weiblich
- Sind Sie erfahren in der Buchsuche? Anfänger      Experte
- Wie oft suchen sie nach einem Buch? Nicht oft      Sehr oft

#### Smartphone Nutzung

- Seit wievielen Jahren benutzen Sie ein Smartphone? \_\_\_\_\_
- Wie viele Stunden am Tag verbringen sie am Smartphone?  Bis zu 1 Stunde  
 Mehr als 1 Stunde, weniger als 2  
 Mehr als 2 Stunden, weniger als 3  
 Mehr als 3 Stunden
- Wie schätzen Sie Ihre Erfahrungen mit einem Smartphone ein? Anfänger      Experte
- Haben Sie bereits eine Indoor Navigations App benutzt? Ja  Nein

E AUFGABE 1)

### Aufgaben Phase 1)

Suchen Sie die untenstehenden Bücher bitte der Reihe nach. Nutzen Sie nun die **Smartphone Suche** und die **Kartennavigation** als Navigationsmöglichkeit

**1. Regulators of G-Protein signaling**

Bitte tragen Sie hier die Regalebene, in welcher sich das gesuchte Buch befindet, ein:

---

**2. Physics of Solar Cells**

Bitte tragen Sie hier die Regalebene, in welcher sich das gesuchte Buch befindet, ein:

---

F AUFGABE 2)

## Aufgaben Phase 2)

Suchen Sie die untenstehenden Bücher bitte der Reihe nach. Nutzen Sie nun die **Smartphone Suche** und die **Lichtnavigation** als Navigationsmöglichkeit

**1. Phonons**

Bitte tragen Sie hier die Regalebene, in welcher sich das gesuchte Buch befindet, ein:

\_\_\_\_\_

**2. Proceedings of the Ninth ACM SIGACT-SIGMOD-SIGART Symposium on Principles of Database Systems**

Bitte tragen Sie hier die Regalebene, in welcher sich das gesuchte Buch befindet, ein:

\_\_\_\_\_

G AUFGABE 3)

### Aufgaben Phase 3)

Suchen Sie die untenstehenden Bücher bitte der Reihe nach. Nutzen Sie nun die **KonSearch** suche und Ihre **übliche Vorgehensweise** ein Buch zu finden

**1. Diagnosis of speech and language disorders**

Bitte tragen Sie hier die Regalebene, in welcher sich das gesuchte Buch befindet, ein:

\_\_\_\_\_

**2. Controlled, living radical polymerization**

Bitte tragen Sie hier die Regalebene, in welcher sich das gesuchte Buch befindet, ein:

\_\_\_\_\_



**Zeitliche Anforderungen**

Wie viel Zeitdruck empfanden Sie hinsichtlich der Häufigkeit oder dem Takt, mit dem Aufgaben oder Aufgabenelemente auftraten? War die Abfolge langsam und geruhsam oder schnell und hektisch?



**Ausführung der Aufgaben**

Wie erfolgreich haben Sie Ihrer Meinung nach die vom Versuchsleiter oder Ihnen selbst gesetzten Ziele erreicht? Wie zufrieden waren Sie mit Ihrer Leistung bei der Verfolgung dieser Ziele?



**Anstrengung**

Wie hart mussten Sie arbeiten, um Ihren Grad an Aufgabenerfüllung zu erreichen?



**Frustration**

Wie unsicher, entmutigt, irritiert, gestresst und verärgert fühlten Sie sich während der Aufgabe?



**Die App wird nachfolgend System genannt:**

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

Haben Sie das Gefühl die Informationen leicht gefunden zu haben?

Hatten Sie Probleme die gesuchten Bücher in der App zu finden? Wenn ja, welche?

Hatten Sie Probleme die gesuchten Bücher in der Bibliothek zu finden? Wenn ja, welche?

(Hatten Sie Probleme damit der Lichtnavigation zu folgen? Wenn ja, welche?)

**Hier haben Sie Platz für Anmerkungen:**

## I BEOBACHTER FRAGEBOGEN

Versuchsperson läuft in falsche Richtung	
Versuchsperson weiß nicht wo hin laufen	
Falsches Tracking wurde angezeigt und verwirrt Versuchsperson	
Versuchsperson versteht etwas nicht	
Licht zeigt in falsche Richtung	
Versuchsperson findet keinen weiteren Lichtpunkt	
Versuchsperson stellt Rückfragen	
Versuchsperson sieht Frustriert aus	
Versuchsperson findet falsches Buch	

Weitere Auffälligkeiten: