

# Risikoanalyse Indoor-Blinden-Navigation

IBN-Team der Uni Leipzig

23. Mai 2021

## Inhaltsverzeichnis

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>Gegenstand der Forschung</b>                           | <b>2</b>  |
| <b>2</b> | <b>Analyse der Technologien und theoretischen Ansätze</b> | <b>3</b>  |
| <b>3</b> | <b>Zyklisches Modell der Wegfindung</b>                   | <b>5</b>  |
| 3.1      | Ortung . . . . .  | 6         |
| 3.2      | Orientierung . . . . .                                    | 6         |
| 3.3      | Navigation . . . . .                                      | 6         |
| 3.4      | Steuerung, Guidance . . . . .                             | 7         |
| 3.5      | Grafische Darstellung . . . . .                           | 7         |
| 3.6      | Gemischte Konzepte . . . . .                              | 8         |
| <b>4</b> | <b>Derzeitiger Stand der Technik</b>                      | <b>8</b>  |
| <b>5</b> | <b>Empirische Übersicht</b>                               | <b>10</b> |
| 5.1      | WLAN-Router . . . . .                                     | 10        |
| 5.2      | Bluetooth . . . . .                                       | 10        |
| 5.3      | Modulierte Wellen . . . . .                               | 11        |
| 5.4      | Wearables . . . . .                                       | 12        |
| 5.5      | Erweiterung der Gebäudedaten . . . . .                    | 12        |
| <b>6</b> | <b>Patternanalyse</b>                                     | <b>14</b> |
| <b>7</b> | <b>Vorteile von BIM</b>                                   | <b>15</b> |
| <b>8</b> | <b>Ausblick auf Requirementsanalyse</b>                   | <b>15</b> |

# 1 Gegenstand der Forschung

*Indoor-Navigation – ein Markt der Zukunft* ist als Aussage zu werten, welche nicht nur von einschlägigen Wirtschaftsmagazinen erhoben wird, sondern auch von Entwicklern und Anwendern jenseits der freien Wirtschaft. Ist doch das erste Merkmal auch das eigentliche Problem: GPS-Tracking ist in einem Gebäude nicht möglich. Dennoch ist eine nutzerfreundliche Navigation sowohl in Fabriken als auch öffentlichen Gebäuden eine Notwendigkeit, die mehr bedeutet als Bequemlichkeit und leichte Anwendung durch moderne und smarte Devices. Dabei überschneiden sich zwei Felder der Entwicklung – den einzelnen Nutzer zu unterstützen, sich im Gebäude zu orientieren, und die Koordinierung smarterer Maschinen in einer weitgehend automatisierten Fabrik. Die Frage der Navigation ist ein wichtiges Teilproblem der Automatisierung unter Einsatz mobiler Roboter, um deren autonomes gefahrloses Agieren an wechselnden Einsatzorten zu organisieren [6].

Hierfür werden technische Infrastrukturen benötigt, welche die dafür erforderlichen geolokalen Informationen generieren oder vorhalten. Üblicherweise erfolgt die Orientierung im Wechselspiel von externer und in den Geräten lokal erzeugter Informationen [3]. Grob lassen sich dabei zwei Arten der Steuerung unterscheiden:

1. Bewegung entlang fester Markierungssysteme (Gehwegleitmarkierungen für Blinde, im Boden verlegte Induktionsschleifen, Triangulierungen gegen feste Referenzpunkte wie Beacons oder GPS) und
2. Bewegung in Erinnerung an frühere Bewegungsabläufe (Einskalieren, Wiedererkennung von Raumsignaturen).

Beide Formen folgen menschlichen Orientierungspraxen, ersteres einer Orientierung nach Karten oder dem Prinzip Schnitzeljagd, zweiteres dem Prinzip der Erinnerung, wobei in vernetzten Infrastrukturen auch auf Formen kollektiver Erinnerung zurückgegriffen werden kann, also intermaschinelles Lernen möglich ist. Während in menschlichen Orientierungspraxen das Sehvermögen eine zentrale Rolle spielt, basieren maschinelle Orientierungssysteme auf wesentlich vielfältigeren Grundlagen, da sie über deutlich mehr Sinne verfügen.

Entsprechend breit aufgestellt sind heute bereits etablierte Technologien für maschinelle Orientierungssysteme. Ein Überblick über die bestehenden Ansätze ermöglicht somit zum einen, die Kontexte verständlich zu machen und einen Weg der technologischen Pfadabhängigkeit zu beleuchten. Zum anderen können so Wege aufgezeigt werden, wie technisch-sensorisches Vermögen auch für Zwecke der menschlichen Navigation genutzt werden kann.

All diese Technologien können heute auch bereits von Menschen für deren bessere Orientierung in unbekanntem räumlichen Umgebungen verwendet werden. Besonders interessant sind derartige Erweiterungen für Menschen mit eingeschränkten sensuellen Fähigkeiten, da sich hier neue Räume der technik-gestützten Kompensation dieser Einschränkungen eröffnen. Allerdings ergibt sich aus diesen Erfahrungen ein technisches Problem und eine größere Hürde für das Design derartiger Anwendungen: Orientierung und Navigation sind zwei verschiedene Dinge. *Orientierung* (Geolokalisierung) kann über sensorische Lösungen aufgefangen werden. Hingegen ist echte *Navigation* (Zielidentifikation und Zielführung) abhängig von der Kenntnis der Wertigkeit und Bedeutung der anzusteuern Ziele (Points of Interest), also von weitergehender semantischer Information. Die Automatisierung von Navigation ist damit nicht nur eine Herausforderung an technisches und gestalterisches Herangehen, sondern auch an die iterative Entwicklung einer solchen semantischen Basis im Abgleich zwischen Nutzern

und Entwicklern. Nicht allein das Produkt hat auf die Wünsche des Kunden zu reagieren, sondern die Wünsche können sich am Gebrauch und an der Verwendung orientieren. Points of Interest auch performativ und im Gebrauchsabgleich zu erstellen, ist dementsprechend nur eine Frage der Entwicklung. In diesem Sinne geht es um die Selbstentwicklung der Umgebung. Die Mischung von Verfahren und pluralen Zugängen zeigt sich als vielversprechender Weg, um Ansprüche an eine automatisierte Orientierung und Navigation umzusetzen. Theoretische Übertragungen auf die Entwicklung automatisierter Systeme und Großanlagen kann als weiterer Schritt der Forschung in den Fokus genommen werden.

Die Beschäftigung mit heutigen Möglichkeiten der maschinellen Orientierung in Gebäuden ist dementsprechend ein Anliegen, das sowohl für die systemische Entwicklung nutzerzentrierter Anwendungen wichtig ist als auch für die lebensweltlichen Möglichkeiten partizipatorischer und integrativer Gestaltung der Gesellschaft. Während solche Instrumente für Sehbehinderte im Outdoor-Bereich auf GPS-Basis bereits existieren und vom Forschungspartner AppPlant hierfür auch eine Smartphone basierte Lösung angeboten wird, ist die Navigation im Indoor-Bereich schwieriger. Hier gibt es bisher keine dem GPS vergleichbare etablierte Standards der Orientierung, sondern es werden Insellösungen auf verschiedener technologischer Basis eingesetzt, die spezielle Instrumentierungen der jeweiligen Gebäude voraussetzen (Beacons, Induktionsschleifen) oder die technischen Signaturen fest verbauter digitaler Geräte (etwa von WLAN-Routern) zur Orientierung nutzen.

Die theoretische Arbeit am Projekt IBN soll zum einen untersuchen, ob und wie ein Mix dieser Technologien, angereichert mit standardisierten BIM-Gebäudeinformationen, für die Indoor-Navigation eingesetzt werden kann. Besondere Zielgruppe sind dabei blinde und sehgeschwache Personen, deren hohe Technikaffinität ihnen auch sonst hilft, die bestehenden sensuellen Beschränkungen im Alltag zu kompensieren. Zum anderen soll die Übertragbarkeit derartiger Ergebnisse auf heutige Anforderungen der Gestaltung smarter Fabrikssysteme reflektiert werden. Die Einsatzmöglichkeiten der zu entwickelnden technischen Lösung reichen damit weit über den Anwendungsbereich der menschlichen Indoor-Navigation hinaus und versprechen auch Anwendbarkeit auf Fragen der Orientierung und Navigation in komplexeren Mensch-Maschine-Systemen [1].

## 2 Analyse der Technologien und theoretischen Ansätze

Unterschiede bestehen allgemein zwischen den Konzepten „autonome Agenten“ und „zentralistische Lösung“ [1]. Im ersten Fall hat jeder Agent sein eigenes „Bild von der Welt“, das durchaus auch aus verschiedenen Quellen zusammengestellt sein kann, im zweiten Fall wird das „Bild der Welt“ zentralistisch vom Anwendungskontext als infrastrukturelle Leistung erstellt [2].

Möglich sind auch gemischte Konzepte: Der Nutzer kann sich in (sowohl technologisch als auch semantisch) verschiedenen Infrastrukturen bewegen. Um dies übergreifend ohne spürbare Medienbrüche zu ermöglichen, ist allerdings eine Standardisierung von (semantischen) Datenstrukturen und Technologien dieser Infrastrukturen erforderlich. Das ist mit BIM in gewisser Weise gegeben.

Das Ganze folgt einem technologischen Schichtenmodell: Orientierung (als Geolokalisierung) benötigt Ortung (Technologien zur geolokalen Ortsbestimmung), Navigation (Wegfindung) braucht Orientierung (und Ziele), Steuerung (Wegführung, Guidance) braucht Navigation

(und Herunterbrechen auf die operationale Prozessebene). Ziel ist, aus den Wegführungsprozessen (Stufe 4) die auf den restlichen Stufen erforderlichen Informationen zu inferieren.

**Ortung.** Technik der Geolokalisierung, Bestimmen des Standorts in einem lokalen oder globalen Koordinatensystem. Global wird weitgehend die bereits standardisierte und in Smartphones verfügbare GPS-Satellitenstruktur verwendet, in lokalen Kontexten wird oft mit Instrumentierungen (Beacons, Verwendung bestehender technischer Infrastrukturen wie etwa WLAN-Router, modulierte Lichtquellen mit bekannten Standorten) gearbeitet. Teilweise wird hier auch mit Bildern der Umgebung gearbeitet, um den Standort aus Perspektivberechnungen zu ermitteln.

**Orientierung.** Einbetten der Ortung in ein Bild der Umwelt, dass im Code „hart verdrahtet“, aber auch als Datenstruktur (etwa Karte) verfügbar sein kann. Über diese Strukturen werden die Umgebungsinformationen auch mit *Points of Interest* (POI) und damit semantischen Umgebungsinformationen angereichert. Teilweise wird hier auch mit Bildern der Umgebung gearbeitet, um durch Vergleich mit eigenen aktuellen Aufnahmen Orte als POI zu identifizieren. Auf dieser Ebene ist auch der zusätzliche Wert von BIM als globale detaillierte Gebäudeinformation einzuordnen.

**Navigation.** Routing, Finden von Wegen zwischen POIs. Hierfür sind nicht nur die POIs erforderlich, sondern auch die Wege zwischen ihnen und mögliche Restriktionen auf den Wegen. Solche Informationen können teilweise aus den BIM-Daten extrahiert werden. Das Ergebnis ist die *Wegbeschreibung*.

**Steuerung, Guidance.** Führung von Personen oder Geräten entlang solcher Wege. Dazu muss die Wegbeschreibung prozessualisiert und in eine Folge von Steueranweisungen umgewandelt werden. Es ist zu berücksichtigen, dass die Wegbeschreibung gegen ein *Bild der Umgebung* erstellt wurde und nicht gegen die realweltliche Umgebung selbst, so dass auf dieser Ebene Korrekturmechanismen erforderlich sind, welche Widersprüche zwischen Bild und Realität auflösen können.

Die technische Herausforderung des Projekts teilt sich damit in zwei Bereiche:

1. Kommunikations- und Interaktionsstrategien im HMI-Bereich speziell für den Zugang blinder und sehbehinderter Personen zu diesen Navigationstechnologien.
2. Indoor-Navigationsverfahren, die auch das Potenzial zur Nutzung in autonomen Robotersystemen haben.

Der Schwerpunkt der meisten vorgestellten Projekte liegt dabei auf Technologien zum zweiten Punkt einschließlich der Anschlussfähigkeit dieser für den ersten Punkt. Eine erste Erkenntnis aus der Rechercharbeit ist, dass die hauptsächliche Entwicklung der Indoor-Navigation im Bereich der freien Wirtschaft stattfindet und im Besonderen im Gebiet der automatisierten Verfahrenstechnik. Dort werden unter dem Aspekt von Usability und Benutzerfreundlichkeit Standardlösungen entworfen, welche zum großen Teil schon zum Einsatz kommen. Dabei wird Orientierung und Navigation selten getrennt betrachtet und Points Of Interest werden in der Regel manuell in die Systeme eingepflegt.

Grundlage aller Anwendungen sind Webtechnologien einer Verbindung zwischen Client und zentralisierter Infrastruktur. In einfachen Webtechnologien liegt die Hauptlast auf dem Server, der Client verfügt nur über einen wenig leistungsfähigen Browser. Später ging die Entwicklung hin zum „Rich Client“, der (heute weitgehend auf Javascript und dessen Weiterentwicklungen) basierende Rechenleistung übernimmt. Die SW-Architektur bleibt noch immer eine Client-Server-Architektur. Dieser Gedanke lässt sich weiter denken bis hin zu einer Master-Slave-Architektur des verteilten Rechnens mit der steuernden Einheit, die noch immer in der Zentrale verbleibt [7]. Höchste Form ist eine komplette Elimination der Zentrale als explizite Steuerungseinheit und die Verlagerung auf eine implizite Steuerung auf höherer Ebene, in der die bisherige Softwarebasis auf miteinander interagierende Instanzen als „autonome Agenten“ verteilt ist.

Im Weiteren wird ein Überblick über bereits bestehende Projekte und Ansätze, geordnet nach der Art der Umsetzung, gegeben. Diese Zusammenstellung dient als Technik- und Konkurrenzanalyse, welche als Vorbereitung und Kontextualisierung der technischen Möglichkeiten heutiger Indoor-Navigations-Lösungen zu verstehen ist. Soweit Daten zu den einzelnen Punkten erhältlich sind, wurden diese entsprechend in listenartiger Form präsentiert. Die Abkürzung „nda“ steht für „not available Data“. Es werden für die Charakterisierung der einzelnen technologischen Möglichkeiten und der entsprechenden Projekte die folgenden methodischen Fragen genutzt:

- Ist die vorliegende Lösung ein Kartensysteme oder ein RTLS = Real Time Location System?
- Wie werden die POI (Points of Interest) in das System eingepflegt, manuell, durch Crowd Sourcing, durch maschinelles Lernen, durch Sensorik?
- Wer kontrolliert wen? Wo sitzt die Intelligenz? Gibt es lokale Verarbeitung beim Akteur oder ist dieser Akteur ein einfacher Kennungssender, der über die Umgebung koordiniert wird?

Die Analyse erfüllt somit zwei Zwecke, sie ist auf der einen Seite eine Vergegenwärtigung der bereits etablierten Standards und auf der anderen Seite eine propädeutische Grundlage für eine weitergehende systematische Kontextanalyse der erforderlichen Innovationsvorgänge.

Nicht untersucht wurden Outdoor-Lösungen, die (meist) auf GPS aufsetzen, rein kartenbasierte Lösungen wie *V:Scout*<sup>1</sup> ohne Ortungskomponente sowie Lösungen wie *Be My Eyes*<sup>2</sup>, die mit nicht-technischen Mitteln arbeiten.

### 3 Zyklisches Modell der Wegfindung

Aus diesen Überlegungen kristallisiert sich ein 4-Phasen-Modell der Wegfindung ähnlich dem im OSI-7-Schichtenmodell heraus, das für alle Konzepte seine Gültigkeit aufweist. Diese vier Phasen werden zyklisch durchlaufen, wobei mit jeder Veränderung der Ausgangsposition diese Abfragen modifiziert oder neu gestellt werden müssen. Als entscheidender Punkt in diesem Modell erscheint die Ermittlung der POIs. Diese müssen, dem derzeitigen Stand der Technik nach, immer im Vorhinein manuell in die Systeme eingepflegt werden. Eine Erkennung und

---

<sup>1</sup>Anzeige von Standorten in einer Bibliothek, <https://vscout.biz/>

<sup>2</sup>Der sensuell eingeschränkte Nutzer wird von einer sehenden Person per Videocall begleitet, <https://www.bemyeyes.com/>

Berechnung aus dem System selbst (wie etwa beim Open-Streetmap-Projekt) ist derzeit noch nicht absehbar. Der wesentliche Zukunftsschritt der Technologie wird demnach in der Weiterentwicklung rein technischer zu sozio-technischen Lösungen und damit einer neuartigen Ermittlung von POIs auf der Basis verteilter sozio-technischer Praxen liegen. An dieser Stelle wird die besondere Miteinbeziehung von Menschen mit sensorischen Einschränkungen eine theoretische Herausforderung und stellt verschiedene Fragen auch an die technische Grundlagenforschung.

### 3.1 Ortung

Zu Beginn jedes Zyklus steht die Beantwortung der Frage: Wo bin ich? Diese kann mittels zweier Ansätze verfolgt werden:

- **Aktiver Client** in passiver Umgebung (Rechenleistung lokal und mobil auf Clientseite, Autonomieansatz, Client hat eigenes Bild der Umgebung), aktive Ortung, und
- **Passiver Client** in aktiver Umgebung (Rechenleistung in der gemeinsamen Infrastruktur, Client wird extern gesteuert, zentralistischer Ansatz, erfordert einheitliches Bild der Umgebung), passive Ortung.

Bei der passiven Ortung sendet der Client ein einfaches Signal, das von der „instrumentierten Umgebung“ erfasst wird. Im Gegensatz zur aktiven Ortung existiert eine einheitliche Infrastruktur, in der alle Orientierungsaufgaben gelöst werden.

Das Prinzip der aktiven Ortung greift auf eine mit Technik ausgestattete Umgebung zurück, über die der User seinen Standort aus den Kennungen der Referenzpunkte und der Kenntnis ihrer Lokation durch Triangulation bestimmt. Dabei werden in den vorgestellten Lösungen Signale unterschiedlichster Art verwendet. Mittels dieser Signale bestimmt das empfangende Gerät seinen Standort, was meist mit einer hohen Rechenleistung einhergeht.

Standardisierte Ortungsrahmen in einer allgemeinen und öffentlich verfügbaren Infrastruktur, wie dies etwa mit GPS im Outdoor-Bereich gegeben ist, gibt es für den Indoor-Bereich bisher nicht.

### 3.2 Orientierung

Die zweite Phase des Zyklus stellt die Frage: In welcher Umgebung befinde ich mich? Dazu werden zusätzlich semantische Information über die Umgebung benötigt. An dieser Stelle wird das Problem der semantischen Anreicherung der Umgebung durch POIs, deren Identifizierung und Anreicherung mit relevanten, allgemein interessierenden Informationen für denkbare Zwecke zum zentralen Anliegen.

In allen von uns untersuchten Projekten erfolgte die semantische Anreicherung mit POI-Informationen manuell durch den Auftraggeber oder Auftragnehmer. Denkbare Community-Ansätze wie etwa bei OpenStreetMap wurden nicht eingesetzt.

### 3.3 Navigation

Diese Phase des Zyklus beschäftigt sich hauptsächlich mit Fragen der Wegfindung- und -beschreibung. Dafür ist zusätzlich Routing erforderlich. Hier werden die POIs versprachlicht und

dem entsprechend modelliert. Dabei tritt erneut die Problematik der Wertigkeitszuweisung auf, jetzt aber im Kontext der *Privatheit der Zwecke einer konkreten Navigationsaufgabe* und damit als Nutzer zentriertes Anliegen.

In diesem Bereich liegt auch der Schwerpunkt der Requirementspezifik unseres Projekts.

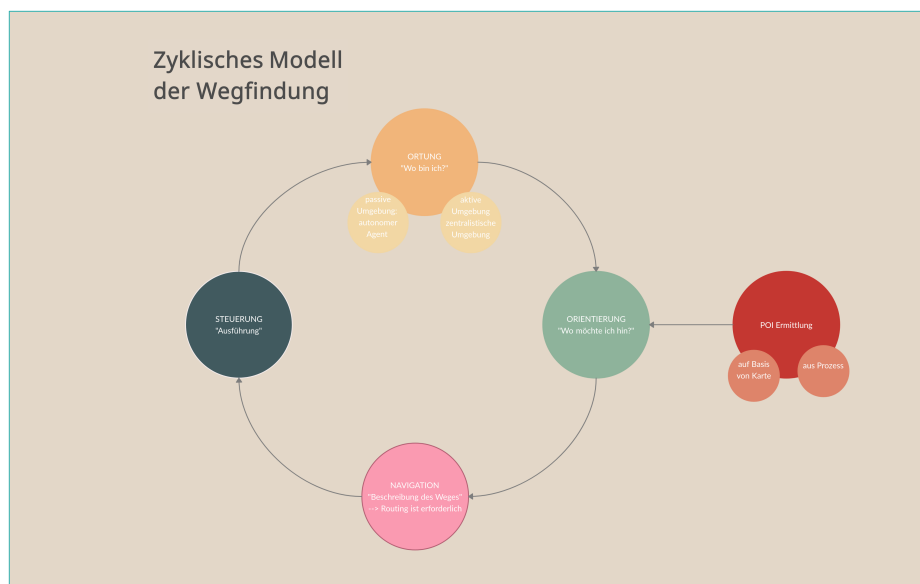
### 3.4 Steuerung. Guidance

Die Phase der Steuerung kann als Ausführung der Navigation verstanden werden. Diese greift wieder auf die erste Phase der Ortung zurück und schließt so das zyklische Modell. Daher muss das Modell als eine zyklische Abfolge ineinandergreifender Phasen gesehen werden und nicht als reine sequentielle „Abarbeitung“ der Schritte.

In diesem Bereich ist die sensorische Spezifik unserer Zielgruppe besonders zu berücksichtigen. Mit Blick auf Benutzbarkeit und Benutzerfreundlichkeit kann und soll dabei auf bewährte barrierearme Technologien und technologische Lösungen zurückgegriffen werden, die in der Zielgruppe bereits bekannt sind.

### 3.5 Grafische Darstellung

Die Darstellung verdeutlicht das Ineinandergreifen der verschiedenen Phasen. Dabei lässt sich sehr gut die Problematik der Wertigkeitszuordnung der POIs erkennen. Zudem wird deutlich, dass diese Zuordnung nicht allein die Phase der Orientierung, sondern auch die Phase der Ortung und der Navigation betrifft.



**Abbildung 1.** Zyklisches Modell der Wegfindung

Diese Darstellung bezieht sich hauptsächlich auf RTLS-Systeme. Ansätze, die auf eine feste Karte zugreifen, enden am Punkt der Orientierung und sind im weitesten Sinne nicht für die Navigation gedacht. Als Beispiel könnte hier das Info-Terminal in einem Einkaufszentrum oder einer Bibliothek dienen. Zur besseren Darstellung wurden solche Konzepte dennoch in die weitere Analyse mit einbezogen.

### 3.6 Gemischte Konzepte

Die meisten der verwirklichten Projekte verwenden eine Mischform verschiedener Technologien, welche sich aus den technischen Anforderungen und dem Abgleich zum Nutzer ergeben.

#### Vorteile:

- Verschiedene Schwächen können durch die Stärken anderer Technologien ausgeglichen werden.
- Fällt eine Technologie aus, kann auf eine andere zurückgegriffen werden.

#### Nachteile:

- Nachvollziehbarkeit und somit Transparenz werden schwieriger.
- Die Nutzung mehrerer Technologien erfordert einen deutlich höheren Programmieraufwand.
- Bei Problemen ist die Suche nach der Fehlerquelle erschwert.

Die folgenden Ergebnisse der Recherche werden anhand des erarbeiteten Punkte dargestellt und eingeordnet. Zur besseren Nachvollziehbarkeit sind die einzelnen Projekte im Anschluss nach der federführenden Technologie geordnet. Die Phase der Steuerung wurde in der Tabelle nicht weiter ausdifferenziert, da diese eine Ausführung der vorangegangenen Phasen erfordert und damit in einer technologischen Abhängigkeit dieser steht.

## 4 Derzeitiger Stand der Technik

Die technische Herausforderung des Projekts teilt sich damit in zwei Bereiche:

1. Indoor-Navigationsverfahren, die auch das Potenzial zur Nutzung in autonomen Robotersystemen haben, und
2. Kommunikations- und Interaktionsstrategien im HMI-Bereich speziell für den Zugang blinder und sehbehinderter Personen zu diesen Navigationstechnologien.

Der Schwerpunkt liegt dabei auf Technologien aus dem ersten Punkt einschließlich der Anschlussfähigkeit dieser für den zweiten Punkt, wo unter Aspekten von Usability und Benutzerfreundlichkeit etablierte Standardlösungen zum Einsatz kommen sollen.

Im Weiteren wird ein Überblick über bereits bestehende Projekte und Ansätze, geordnet nach Art der Umsetzung, gegeben, die wir im Rahmen unserer Technik- und Konkurrentenanalyse gefunden haben.



| <b>Projekt</b>              | <b>Technologie</b>                              | <b>Ortung</b>   | <b>Navigation Usage/<br/>User</b>   |
|-----------------------------|---|-----------------|---|
| Indoor Maps Program (Apple) | WLAN  | Aktives Device  | Individualnavigation  |
| iBeacon                     | BLE   | Aktives Device  | Individualnavigation  |
| Eddystone                   | BLE   | Aktives Device  | Individualnavigation  |
| indoo.rs                    | BLE   | Aktives Device  | Individualnavigation  |
| Right Hear                  | BLE   | Aktives Device  | Individualnavigation  |
| Comarch                     | BLE   | Aktives Device  | Individualnavigation, Cross Selling                                       |
| Navigine                    | BLE   | Gemischt        | Individualnavigation, Monitoring von Mitarbeitern, Waren und Gegenständen |
| Siemens/ SIMATIC            | Gateways, Transponder, Locating Manager         | Gemischt        | Asset Tracking  |
| Localino                    | Anchors Tags, Backend benötigt, WiFi            | Gemischt        | Individualnavigation, Asset Tracking                                      |
| Here                        | BLE; kann offline auf diese Daten zurückgreifen | Aktives Device  | u.a. Individualnavigation   |
| insoft                      | BLE, WLAN, Ultra-Wideband                       | Aktives Device  | Individualnavigation, Asset Tracking                                      |
| Kio/Eliko                   | Ultra-Wideband, WLAN                            | Aktives Device  | Asset Tracking  |
| Telocate                    | Smartphone sendet akustische Signale            | Passives Device | Individualnavigation  |
| Phillips/ Carrefour         | Smartphone empfängt Lichtimpulse                | Aktives Device  | Individualnavigation  |
| Wearables                   | Für Steuerung                                   |                 | Individualnavigation  |
| Google Indoor Maps          | Kartierung durch Bilder, Navigation mittels KI  | Aktives Device  | Individualnavigation  |
| Mobi DEV                    | AR für digitales Mapping                        | Aktives Device  | Individualnavigation, Cross Selling                                       |
| Dent Reality (Apple AR-Kit) | WLAN zur Orientierung (Apple Indoor Maps), AR   | Aktives Device  | Individualnavigation  |
| AcessiBuild                 | BIM   | Aktives Device  | Individualnavigation  |

| Projekt                    | Technologie   | Ortung         | Navigation Usage/User                   |
|----------------------------|---|----------------|---|
| Fraunhofer/<br>qFocus-ASCT | Kamera, Smartphone<br>Sesorik, Magnetfeld                       | Aktives Device | Individualnavigation                    |
| TU Wien (DARGS)            | AR,<br>Helligkeitsabgleich                                      | Aktives Device | Individualnavigation                    |
| Bosch.IO                   | digitales Mapping<br>wird durch andere<br>Verfahren unterstützt | Aktives Device | Individualnavigation,<br>Asset Tracking |

## 5 Empirische Übersicht

In der folgenden empirischen Übersicht sind die untersuchten Projekte nach Technologieklassen sortiert. In der Tabelle oben sind vergleichende Kurzinformationen zu einzelnen Projekten zusammengentragen, die hier nur mit ihrem Namen als Beispiele gelistet sind. Eine ausführlichere Zusammenstellung zu den untersuchten Projekten ist als Semantic-Web-Datei verfügbar<sup>3</sup>.

### 5.1 WLAN-Router

**Was:** Ortung mittels „Fingerprinting“<sup>4</sup> (online tracking) kann auf zwei unterschiedliche Arten verwendet werden. Einerseits dient dies zur Ortung von WLAN-fähigen Geräten im Netzwerk, kann aber auch anders herum mittels einer App zur Navigation durch ein Gebäude verwendet werden. Voraussetzung dafür ist die entsprechende technische Infrastruktur.

Dieser Ansatz kann sowohl genutzt werden, um Einzelpersonen durch ein Gebäude zu lotsen, als auch für Asset Tracking verwendet werden.

#### Vorteile:

- In öffentlichen Gebäuden ist eine WLAN-Infrastruktur mitunter bereits vorhanden.
- Ein WLAN-fähiges Gerät (Smartphone) ist meistens bereits im Besitz des Users.
- Stockwerke können abgebildet werden.

#### Nachteile:

- Ungenauer als Alternativlösungen.
- Latenzzeit ist nicht konstant (abhängig von der Entfernung der WLAN-Quelle).
- iOS Geräte erlauben keine client-seitige Positionsbestimmung (das erlaubt nur Apple Indoor Survey)

**Beispielprojekte:** Indoor Maps Program (Apple)

### 5.2 Bluetooth

**Was:** Verwendet Bluetooth Low Energy (BLE) Technologie; kleine Sender geben Bluetooth-Signale an die Umwelt ab. Dadurch wird eine energiesparende Verbindung von Sendern (Be-

<sup>3</sup><https://graebe.informatik.uni-leipzig.de/IBN-Web/technology.php>

<sup>4</sup><https://www.mozilla.org/de/firefox/features/block-fingerprinting/>

cons), die in einem Gebäude angebracht sind, und den Empfängern (Bluetooth-fähige Endgeräte) hergestellt. Bereits im Jahr 2006 hat Nokia diese Art der Indoor-Navigation vorgestellt<sup>5</sup>.

**Vorteile:**

- Genau Standortbestimmung (bis zu 0,5 Meter genau).
- Pushnachrichten und Audiobotschaften lassen sich versenden.

**Nachteile:**

- Beacon-Infrastruktur muss eingerichtet und finanziert werden.
- Batterien der Beacons müssen gewartet werden.
- Eine Vielzahl von Herstellern erzwingt eine Vielzahl von Apps für die User.
- Die Reichweite der Beacon-Signale ist relativ gering.

**Beispielprojekte:**

- iBeacon (2013)
- Eddystone (2015)
- indoo.rs (Firma wurde 2010 gegründet)
- RightHear (2016)
- Comarch
- Navigine
- Siemens – SIMATIC RTLS
- Localino
- Here
- infsoft
- Kio/Eliko

## 5.3 Modulierte Wellen

### 5.3.1 Akustische Wellen

**Was:** Das Device sendet akustische Signale, die von Sensoren im Gebäude erfasst und in Standortdaten umgerechnet werden.

**Vorteile:**

- Technische Voraussetzungen sind in modernen Smartphones gegeben.
- Niedriger Rechenaufwand für das Device, da Signale nur gesendet und nicht empfangen und verarbeitet werden müssen.

**Nachteile:**

- Infrastruktur für empfangende Sensorik muss eingerichtet werden.
- Rückkopplung der verarbeiteten Signale auf das Gerät muss trotzdem über WLAN oder Mobilfunk gelöst werden.

**Beispielprojekte:** Telocate

---

<sup>5</sup><https://de.ryte.com/wiki/Beacon>

### 5.3.2 Lichtwellen

**Was:** Über LEDs, die sowieso für die Beleuchtung der Gebäude verbaut sind, werden über das Licht Code-Impulse gesendet, die eine Smartphone Kamera aufnimmt und das Device in Ortungsinformationen umwandeln kann.

**Vorteile:**

- Keine zusätzlichen Sensoren in Gebäuden.
- Ortungsimpulse sind für menschliches Auge nicht sichtbar.

**Nachteile:**

- Spezielle Lampen müssen angebracht und programmiert werden.
- Technische Voraussetzungen sind in modernen Smartphones gegeben.

**Beispielprojekte:** Philips für Carrefour

### 5.4 Wearables

**Was:** Über Sensorik, die am Körper getragen wird, können Impulse an den User gegeben werden, um diesen durch ein Gebäude zu navigieren. Diese Wearables können sehr unterschiedlich ausfallen. Denkbar sind Armbänder (Smartwatches), Rucksäcke oder gar Kleidung mit integrierten Sensoren. Technologie dient in erster Linie der Steuerung!

**Vorteile:**

- Device muss nicht sichtbar getragen werden.

**Nachteile:**

- Kosten entstehen nicht nur für die Bereitstellung der Sensorik in Innenräumen, sondern auch für die User durch Anschaffung der Wearables.

### 5.5 Erweiterung der Gebäudedaten

Eine weitere Möglichkeit für die Indoor-Navigation ist es, bereits vorhandene Gebäudedaten, etwa Grundrisse oder ähnliches, digital für die Navigation zu nutzen. Hierbei gibt es eine Vielzahl von Projekten.

#### 5.5.1 Vorher erfasste Gebäudedaten

**Was:** Bei diesem Ansatz wird die Umgebung im Vorhinein digital erfasst und daraus entsprechende Ortungs- und Navigationsinformationen erzeugt.

**Vorteile:**

- Offline Modus ist bedingt möglich.
- Berechnung erfolgt nicht in Echtzeit und ist somit sparsamer.

**Nachteile:**

- Änderungen im Gebäude müssen aktiv nachgepflegt werden, da keine automatische Erfassung durch das Endgerät erfolgt.

**Beispielprojekte:** Google Indoor Maps

**5.5.2 Augmented Reality**

**Was:** Aus der Position des Users können standortbezogene Informationen auf das Endgerät gesendet und in ein Bild der Umgebung eingeblendet werden.

**Vorteile:**

- Informationen können gebündelt angezeigt und müssen nicht einzeln zusammengesucht werden.

**Nachteile:**

- Richtet sich eher an eine sehende Zielgruppe, kann aber mittels Voice-Over auch für blinde und sehbehinderte Personen zugänglich gemacht werden.

**Beispielprojekte:** Mobi DEV, Dent Reality (Apple AR-Kit)

**5.5.3 IFC und BIM**

**Was:** Auch hier werden bereits vorhandene Daten genutzt. Der Unterschied besteht bei der BIM-Technologie darin, dass auf bereits strukturierten Daten aufgebaut wird.

**Vorteile:**

- Vorhandene Daten werden wiederverwendet.
- Unabhängig von Bluetooth.

**Nachteile:**

- Änderungen im Gebäude müssen aktiv nachgepflegt werden.

**Beispielprojekte:** AccessiBuild, IBN AppPlant

**5.5.4 Gemischte Technologie**

Einige Projekte verwenden einen experimentellen Ansatz, der die Miteinbeziehung bereits vorhandener Smartphone Sensorik forciert. Die angestrebten Lösungen konzentrieren sich auf Mischformen der Technologie.

**Beispielprojekte:**

- Fraunhofer/Focus-ASCT
- TU Wien DARGS (Dynamic AR Guiding for Indoor Environments)
- Bosch.IO

## 6 Patternanalyse

Die vorausgehende Analyse zeigte zum einen eine relative Breite an Projekten und Lösungen. Die Analyse bleibt lückenhaft, da ein gemeinsames Merkmal der analysierten Projekte deren mangelnde Transparenz ist. Dennoch zeigen sich übergreifende Muster, welche in der Entwicklung wiederkehren. Im Folgenden sollen diese Muster extrahiert und für die weitere Auswertung fruchtbar gemacht werden. Derartige Muster oder Pattern können als Analyse sowohl Vorgaben als auch Richtungen deutlich machen [8]. Eine derartige Pattern-Analyse zeigt somit Schwächen und Stärken sowie Anschlussmöglichkeiten.

### Extrahierte Pattern:

- Transparenzproblem – je größer das Unternehmen, desto weniger ist über dessen Projekte zu finden.
- Marktorientierung statt Technologieführung – Wie offen werden neue Technologien entwickelt? Welche Bedeutung hat „Open Innovation“?
- Geschlossene Entwicklung, obwohl es um eine Infrastrukturtechnologie mit dezentralen und pluralen Erfordernissen geht.
- Die meisten Lösungen verwenden automatisierte Verfahrenstechnik.
  - Speziell Asset Tracking und gewerbliche Orientierung.
- Meistens wird eine Kleindeviceinfrastruktur eingesetzt (Problematik Client und Umgebung)
  - Navigation in Umgebung oder durch Umgebung, RTLS.
  - Zusatzkosten für physische Infrastruktur als Hauptnachteil.
- Kreislauf von Ortung und Steuerung.
- Manuelle Ermittlung und Einpflege von semantischer Information über Points Of Interest.
- Dadurch Auseinanderfall von Orientierung und Navigation, Navigation und Steuerung.
- Das Zukunftspotenzial sozio-technischer Ansätze der Wertigkeitssetzung der POIs wird kaum erkannt.

Normalerweise ist die Anwendung auf den Nutzer zugeschnitten. Dabei ist die Koevolution von Kunde und Technologie entscheidend. Ein Abgleich zwischen den Kundenwünschen und den technischen Möglichkeiten ist erforderlich. Dem entsprechend ergeben sich folgende Anforderungen:

- Kombination aus Lösungen.
- Anpassung sowohl von Orientierung als auch Navigationsgrundlagen.
- Kombination von Gebäudeaufbau, digitalen Datensätze und Usability.
- Entwicklung in enger Userabstimmung, Koevolution durch iteratives Prototyping.
- Versetzte Sprints mit Abgleich durch qualitative Sozialforschung, mixed Methods als Möglichkeit interaktiver Wertigkeitszumessung für POIs.
- Mögliche Einarbeitung in automatisierte Normierung.

## 7 Vorteile von BIM

Der Vorteil des IBN Projektes ist von Anfang an eine auf kombinierte Technologien ausgerichtete Lösungsfindung. Aus dieser anvisierten Methode ergeben sich folgende **Vorteile**:

- Kombination von Gebäudeaufbau, digitalen Datensätzen und Usability.
- Der Nutzer hat eine veränderte Sensomotorik, dem entsprechend stehen höhere Anforderungen an den Gebrauch-Nutzer-Abgleich.
- Diese Anpassung als Wertigkeitszumessung für POI-Festsetzung, folglich Orientierungsauch als Navigationsgrundlagen abgestimmt.
- Entwicklung in enger Userabstimmung, Koevolution durch iteratives Prototyping.
- Versetzte Sprints mit Abgleich durch qualitative Sozialforschung und mixed Methods.

Im Gegensatz zu vorherigen Ansätzen wird hier mit einer Koevolution von Nutzer und bestehenden statisch betrachteten Gebäudedaten gearbeitet. Somit können Informationen aus der längerfristigen Perspektive der Gebäudeentwicklung einbezogen werden. Eine Nachnutzung bereits vorhandener strukturierter Daten ist möglich. Der Abgleich zwischen Gebrauch und Nutzer wird durch eine stetige iterative Abfolge verbessert. Unklar bleibt allein, welche Datentransformationen für die neuen Zwecke genau ausgeführt werden müssen und wie diese Bestandsdaten (orientierungsgetrieben) mit spezifischen Nutzerdaten (navigationsgetrieben) zu verschränken sind.

## 8 Ausblick auf Requirementsanalyse

In der vorherigen Analyse wurde deutlich, dass ein Unterschied zwischen Ortung, Orientierung, Navigation und Steuerung gesehen werden muss. Doch ist nicht allein die Abgrenzung ein analytisches Problem, sondern auch ein praktisches, insoweit diese Ebenen sich notwendigerweise verschränken und aufeinander aufbauen.

Indoor-Navigation muss dementsprechend Fragen der Ortung, Orientierung und Steuerung ernst nehmen. Die wissenschaftliche Bewertung und Rückkoppelung zu einer am User orientierten Entwicklung ist zum einen Hilfsmittel der Klärung der Grundlagen, zum anderen aber auch integraler Bestandteil für eine effiziente Ausrichtung des Gebrauchs der zu erstellenden Anwendung. Diese bezieht sich auf die Bedürfnisse und Anforderungen der Nutzergruppe. Zur Verdeutlichung dieses Zusammenhanges und zur Einbindung systematischer Innovationsmethoden ist eine interdisziplinäre und problemorientierte Sichtweise aus den Pattern der Entwicklung und der bereits bestehenden Marktpositionen zu gewinnen. Diese wird auf den besonderen Gegenstand der Blindennavigation angewendet. Auf der einen Seite soll ein Usage-User-Abgleich verständlich und verwendbar gemacht werden, welcher ganz besondere Anforderungen an sensorische Rückbindungen der Ortung und Orientierung verlangt. Auf der anderen Seite wird der Navigation und insbesondere der Steuerung erheblich mehr abverlangt, als eine einfache manuelle Bestimmung von Points Of Interest gewährleisten kann. Gerade die Anwendung auf die Navigation von Blinden im Indoor-Bereich bietet somit Einsichten in die sensorischen Anforderungen der Ortung und Orientierung sowie Einblicke in Möglichkeiten der adaptiven Navigation und Steuerung.

In der Pattern-Analyse wurde deutlich, dass die Dependenz von Ortung, Orientierung, Navigation und Steuerung einen engen Abgleich von Methoden und Prototyping benötigt. Eine

enge Verschränkung von Gebrauch und Nutzern ist gefordert. Zudem ist eine Kombination von Gebäudeaufbau, digitalen Datensätzen und Usability verlangt. Insbesondere der gezeigte Zusammenhang von Orientierung und Navigationswertigkeitszuweisung machen eine enge Abstimmung von theoretischen, explorativen und praktischen Methoden und Verfahren notwendig. Die Zuweisung von Points Of Interest kann gerade bei einer sehr spezifischen Nutzergruppe mit komplizierten Anforderungen nicht einfach ohne genauere Interessenanalyse umgesetzt werden. Gerade hier ist aufgrund fehlender automatischer Methoden der Wertigkeitszuweisung ein intensiver Kontakt zu den Anforderungen und Bedürfnissen der Nutzer unumgänglich. Dementsprechend muss zum einen eine enge Nutzerabstimmung erreicht werden und zum anderen eine hohe adaptive Flexibilität durch iteratives Prototyping. Sprints mit qualitativer Sozialforschung erscheinen als vielversprechender Weg, um am Wertigkeitsproblem der Points Of Interest anzusetzen. Ein Abgleich der Nutzungs- und Nutzeranforderungen ist durch Mixed Methods zu erreichen.

Heutige Entwicklungen im Bereich der Indoor-Navigation haben folglich eine Mischung von technologischen Möglichkeiten und Nutzerabweichungen sowie Innovationsmethoden in den Fokus zu nehmen. Diese müssen in ein abgestimmtes, agiles und flexibles Arbeiten eingebettet sein, um den iterativen Ansprüchen genügen zu können. Hierfür ist eine Kombination aus verschiedenen Ansätzen der Innovationsmethodik als vielversprechend anzusehen. Häufig werden dabei Methoden des Design Thinking verwendet, die allerdings im Beginn der Projektarbeit mit erheblichen Schwierigkeiten verbunden sind [5]. Das oft genutzte Brainstorming am Beginn der iterativen Prozesse ist zwar eine Möglichkeit, den Verschränkungen des Gebrauchs und der Nutzeranforderung begegnen zu können, aber auch eine Limitierung, wenn es um komplexere Anforderungen der Nutzern geht.

Sensorisch eingeschränkte Menschen sind folglich eine Herausforderung besonders an die Grundlagenbestimmung für den jeweiligen Sprint. Um hier eine systematische Kontextualisierung der Anforderungen an die Software und an die jeweilige Umgebung zu erarbeiten, ist eine systematische Kontextualisierung ein gangbarer Weg. Für eine derartige Grundlagenkontextualisierung empfehlen sich systematische Innovationsmethoden, die besonders die Frage der Bestimmung von Wertigkeiten im Bezug auf die Festlegung von Points Of Interest praktikabel machen.

TRIZ als systematische Innovationsmethode und Forschungsansatz [4] kann als eine Möglichkeit in Betracht gezogen werden und empfiehlt sich durch die lange Ausarbeitung sowie durch die Möglichkeit des Anschlusses an qualitative Sozialforschungsmethoden. Widersprüche können hier erkannt und aufgedeckt werden. Dies ermöglicht nicht nur ein Problemlösen, sondern auch eine Widerspruchsvergegenwärtigung, die im iterativen Prozess zu weiteren Einsichten und Ansätzen führt. In diesem Sinne kann eine sehr enge Verbindung zu den Bedürfnissen und Anforderungen der Nutzer generiert werden; ein Prosumeransatz lässt sich systematisch in die Entwicklung einbeziehen. Somit gibt die Indoor-Navigation für Blinde nicht nur Einblicke in ein komplexes methodisches Arbeiten, sondern auch eine Möglichkeit entscheidende Anknüpfungspunkte für die Entwicklung des technischen Feldes selbst.

Eine Verbesserung der „Roboter-Infrastruktur“ ist möglich durch die Sichtweise und methodische Herangehensweise, welche hier entwickelt werden soll. Diese erkennt, dass eine automatisierte Navigation die Anforderungen des semantisch technologischen Agenten ernst nehmen muss. Dementsprechend bietet die Blinden Indoor-Navigation nicht nur eine partizipatorische Gestaltung moderner Soft- und Hardware, sondern auch methodische sowie inhaltliche Einsichten in technische Möglichkeiten eines wachsenden und kapitalträchtigen Bereiches der Digitalisierung.



## Literatur

- [1] Hans-Gert Gräbe, Ken Pierre Kleemann, Yaoli Du. Interdisziplinarität. Die Mühsal der Verständigung. Protokollband des DFG-Symposiums „Digitalität in den Geisteswissenschaften“ 13.-15.02.2019 in Bayreuth. <https://hg-graebe.de/EigeneTexte/Bayreuth-19.pdf>
- [2] Hans-Gert Gräbe. TRIZ und Transformationen sozio-technischer und sozio-ökologischer Systeme. LIFIS Online, 27.06.2020. [http://dx.doi.org/10.14625/graebe\\_20200627](http://dx.doi.org/10.14625/graebe_20200627)
- [3] Indoor-Navigation ermöglicht den Einsatz neuer Technik für Mensch und Maschine. Whitepaper des Instituts für Integrierte Produktion Hannover, 2018. [https://www.iph-hannover.de/\\_media/files/downloads/Whitepaper\\_IndoorNavigation.pdf](https://www.iph-hannover.de/_media/files/downloads/Whitepaper_IndoorNavigation.pdf)
- [4] Karl Koltze, Valeri Souchkov. Systematische Innovation. Hanser, München 2017.
- [5] Christoph Meinel, Ulrich Weinberg, Timm Krohn (Hrsg.). Wie man Ideen entwickelt und Probleme löst. Murmann Verlag, Hamburg 2015.
- [6] Peter Mertens, Dina Barbian, Stephan Baier. Digitalisierung und Industrie 4.0 – eine Relativierung. Springer, Wiesbaden 2017.
- [7] Kristian Regenstien. Modulare, verteilte Hardware-Software-Architektur für humanoide Roboter. KIT Scientific Publishing, Karlsruhe 2010.
- [8] Christof Wolf, Henning Best (Hrsg.). Handbuch der sozialwissenschaftlichen Datenanalyse. VS Verlag für Sozialwissenschaften, Wiesbaden 2010.

Das Projekt wird unter dem Förderkennzeichen 16KN089428 als ZIM-Kooperationsprojekt gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie.

