

# Implementierung des Internet of Things (IoT) auf Basis von Radio-Frequency Identification (RFID) in das Building Information Modeling (BIM)

Abduaziz Juraboev<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Fachbereich Bauwesen an der Technischen Hochschule Mittelhessen, <sup>2</sup>5D Institut GmbH

E-Mail: Abduaziz.Juraboev@bau.thm.de

**Abstract:** Die digitale Transformation im Bauwesen ist im permanenten Fortschritt begriffen. Ein wichtiges Instrument in diesem Zusammenhang stellt die kooperative Arbeitsmethodik Building Information Modeling (BIM) dar. Hierbei können durch objektorientierte, dreidimensionale, digitale Bauwerksmodelle jederzeit ganzheitlich projektrelevante Informationen auf den aktuellen Planungsstand gebracht werden. Zudem können diverse Werkzeuge, Sensoren und Apps für die Nutzung während der Planung, des Bauens und des Betriebs in zahlreichen Anwendungsgebieten eingesetzt werden. Im Mittelpunkt steht dabei immer der Mensch. Der folgende Beitrag beschäftigt sich mit der Einbindung von Sender-Empfänger-Systemen (RFID) und dem Internet of Things (IoT) in digitale Gebäudemodelle (BIM), womit die Verknüpfung von digitalen Bauwerksmodellen mit realen Bauelementen hergestellt wird. Der Fokus der Untersuchung liegt dabei auf einem wichtigen Anwendungsfall in diesem Zusammenhang: „Entwicklung eines barrierefreien digitalen Leitsystems für Blinde und Sehbehinderte auf Basis von RFID&BIM“. Die physische Realisierung des Blindenleitsystems erfolgt über ein RFID-System, das aus RFID-Tags und einem elektronischen Blindenstock besteht, in den eine RFID-Sende- und Leseantenne integriert ist. Die passiven RFID-Tags werden in textile und mineralische Bauelemente am Boden integriert. Die in den RFID-Tags enthaltenen Informationen werden durch das Lesegerät am Blindenstock ausgelesen und auf Basis des BIM-Modells weiterverarbeitet. Die BIM-Modelle enthalten sämtliche Bauwerksinformationen in Form von Attributen, die mit Hilfe einer App an die Nutzer übermittelt werden. Insbesondere werden durch die Verknüpfung der RFID-Tags mit BIM-Daten zur Navigation erforderliche Informationen weitergegeben. Über eine App und akustische Elemente wie Audiospuren wird der Nutzer zu seinem gewünschten Zielort geleitet. Weiterhin können Umgebungsinformationen zum aktuellen Standort, z.B. zu Gegenständen wie Feuerlöscher, Hindernisse oder Räumlichkeiten etc., übermittelt werden. Gebäude und Städte werden somit auch akustisch erlebbar.

**Keywords:** Building Information Modelling (BIM), elektronisches Blindenleitsystem, modellbasierte Ortungs- und Navigationssystem, UHF Radio Frequency Identification (RFID), mobile App

## 1 Einleitung

Ein wichtiger Baustein der Inklusion sehgeschädigter und mobilitätseingeschränkter Menschen für die Teilhabe an gesellschaftlichen und beruflichen Aktivitäten ist die eigenständige Mobilität und Informationsbeschaffung. In Deutschland gab es laut statischem Bundesamt 2019 ca. 600.000 blinde und sehgeschädigte Menschen. Laut einer Hochrechnung auf Basis der Daten der WHO wird von 1,2 Mio. blinden und sehgeschädigten Menschen in Deutschland ausgegangen [1]. Die Zahl der sehbehinderten Personen ist viermal so hoch wie die Zahl blinder Personen. Einer von drei Senioren über 65 ist von Sehkraftverlust betroffen, dies entspricht 90 % der sehbehinderten Personen [2].

Blinde und sehgeschädigte Menschen orientieren sich im Allgemeinen mit Hilfe eines Blindenstocks in ihrer Umgebung, mit welchem sie Hindernisse erkennen. Sie orientieren sich im öffentlichen Bereich mit Hilfe taktiler Bodenindikatoren, sofern diese vorhanden sind. Im Bereich der taktilen Bodenplatten sind Aufmerksamkeitsfelder vorhanden, mit deren Hilfe sich blinde und sehgeschädigte Personen auch in komplexeren Umgebungsbereichen orientieren können. Weitere taktile Orientierungsmöglichkeiten für sehbehinderte Personen bieten in Brailleschrift gehaltene Schilder, z.B. Tür- und Handlaufschilder. Auch akustische Signale, wie bei Ampelanlagen oder an Bushaltestellen kommen in der Praxis häufig zum Einsatz [3]. Die genannten Leitsysteme haben allerdings den Nachteil, dass sie

- sehgeschädigte Personen nur leiten, keine genaueren Umgebungsinformationen liefern,
- im Indoor-Bereich relativ selten verbaut werden,
- in Notsituationen ungeeignet sind, wenn es z.B. darum geht, im Brandfall sehgeschädigte Personen schnell und zielsicher aus Gebäuden zu führen.

Besonders problematisch wird die Orientierung für sehgeschädigte Menschen in fremden Umgebungen (Straße, Gebäude) aufgrund der Ungenauigkeit der bereits vorhandenen Systeme. Ein Betroffener, der sich in der unbekanntenen Umgebung befindet, hat es schwer sich zurechtzufinden, da die Informationen über die vorher beschriebenen taktilen Hilfsmittel begrenzt sind. Die Nutzbarkeit von Gebäuden, insbesondere solchen mit komplexen Aufbauten ist für Menschen mit Beeinträchtigung, aber auch für Menschen ohne Einschränkungen, dadurch limitiert, dass eine Navigation innerhalb des Gebäudes ohne fremde Hilfe nur schwer möglich oder sehr mühsam ist. In Notfällen kann dies gravierende Folgen haben. Vor diesem Hintergrund gibt es im Sinne des barrierefreien Bauens dringenden Entwicklungsbedarf [4]. Um eine verbesserte Navigation zu ermöglichen, kommen elektronische Blindenleitsysteme zum Einsatz. Für die Entwicklung eines elektronischen, zentimetergenauen Blindennavigationssystems eignen sich z.B. RFID-Systeme. Durch Verknüpfung von elektronischen Blindenleitsystemen mit digitalen Bauwerksmodellen (BIM) wird eine präzise Navigation von blinden und sehbehinderten Personen im Innenbereich beliebiger Bauwerke möglich, ähnlich wie bei der Navigation über google maps im Außenbereich.

Ziel von Untersuchungen an der Technischen Hochschule Mittelhessen (THM) war es, ein zentimetergenaues Innen- und Außennavigationssystem für blinde und sehgeschädigte Menschen durch den kombinierten Einsatz innovativer Technologienkomponenten (Building Information Modeling (BIM), Radio Frequency Identification (RFID), Internet of Things (IoT) und cloud-basierter mobiler Anwendungen (App)) zu entwickeln (Abbildung 1). Durch die Zusammenführung der einzelnen Bausteine (Technologien und Methoden) auf dem jeweils neuesten Stand der Technik wird ein ganzheitliches System geschaffen, das dem Benutzer ermöglicht, sich präziser in unbekannter Umgebung zu bewegen und auditive Informationen aus den Bauteilen zu empfangen. Die RFID-Systeme werden bereits heute aufgrund ihrer einfachen Architektur und ihrer vielseitigen Erfassungsbereiche in vielen Branchen und bei groß angelegten IoT-Anwendungen eingesetzt. Es wurden passive RFID-Transponder im Ultrahochfrequenzbereich (865-928 MHz) verwendet. Sie sind batterieelos, haben eine lange Lebensdauer, sind klein und kostengünstig [5], [6]. In Abbildung 1 ist das kombinierte RFID- & BIM-gestützte Blindenleitsystem in veranschaulichter Form dargestellt.

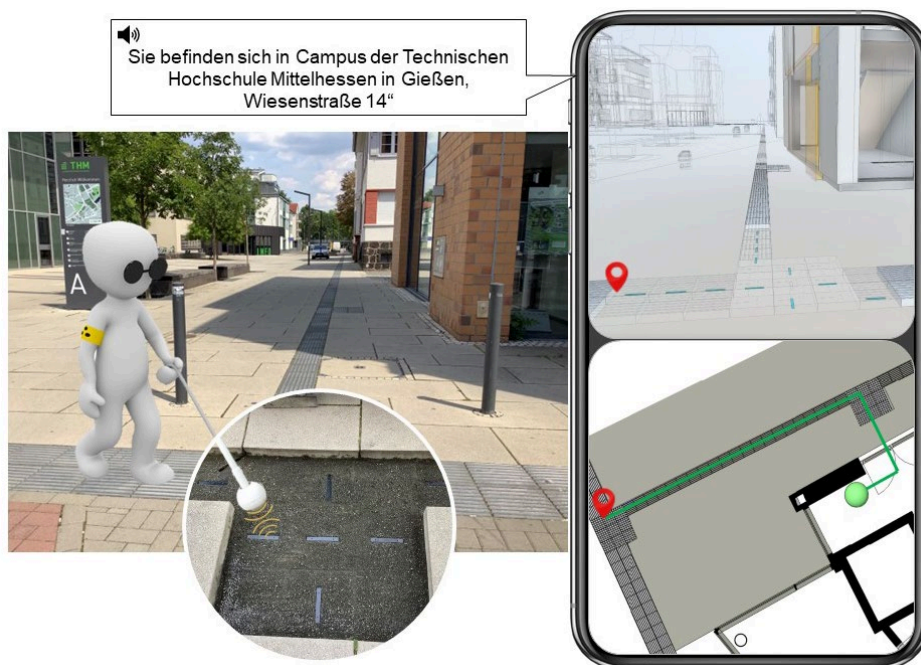


Abbildung 1: RFID- & BIM-Modell-gestütztes, präzises Indoor- & Outdoornavigationssystem auf Basis von Bauelementen

Im Rahmen der Untersuchungen wurden das o.g. Blindenleitsystem durch die Einbindung des RFID-Systems in die BIM-Planung mit Hilfe geeigneter Softwareprodukte auf Basis des openBIM-Ansatzes weiterentwickelt, um eine optimierte Navigation im Innenbereich zu ermöglichen. In diesem Beitrag wird die Implementierung der RFID-gestützten Blindenleitsysteme in die BIM-Planung vorgestellt. Grundlage für den Datenaustausch ist der openBIM-Standard Industry Foundation Classes (IFC), ein offener, herstellerneutraler, internationaler Standard nach ISO 16739-1:2018, [7].

## 2 Grundlagen und Stand der Technik

Das elektronische Blindenleitsystem, das im Rahmen der Untersuchungen in diesem Projekt entwickelt wurde, beruht auf dem kombinierten Einsatz folgender drei Technologienkomponenten: Building Information Modeling (BIM), Internet of Things (IoT) / Radio Frequency Identification (RFID), cloud-basierter mobiler Anwendungen (App) zur Navigation.

Building Information Modeling bezeichnet eine Arbeitsmethodik, bei der auf Grundlage eines digitalen, dreidimensionalen Gebäudemodells alle für den gesamten Lebenszyklus relevanten Daten und Informationen eines Bauwerks erfasst, verwaltet und verarbeitet werden [8]. Diese Informationen werden transparent unter den Beteiligten ausgetauscht und für die weitere Bearbeitung zur Verfügung gestellt. Die erfassten Daten und Informationen werden sowohl für die Planung und die Ausführung als auch für den Betrieb und Rückbau des Bauwerks genutzt [9], [10]. Ein BIM-Bauwerksmodell stellt in der digitalen Welt den digitalen Zwilling zum realen Bauwerk dar und kann durch die Integration von RFID-Tags in unterschiedlichen Bauteilen im realen Bauwerk (z.B. in textile- oder mineralische- Bodenbeläge) mit diesem verknüpft werden. Die Verknüpfung von BIM-Daten mit den physischen Bauwerken auf Basis von RFID, Sensoren und/oder weiteren drahtlosen IoT-Technologien in einer Multi-Plattform-Applikation ermöglicht die Nutzung und Nachverfolgung einzelner Bauwerksobjekte. Einer der vielfältigen Anwendungsbereiche ist die Einbindung eines Real Time Locating Systems (RTLS) in die BIM-Planung.

RTLS [11] werden zur automatischen Bestimmung und Verfolgung des Standorts von Objekten oder Personen in Echtzeit eingesetzt. RTLS kann z. B. zur Verfolgung von Paletten in Lagern, zur Lokalisierung medizinischer Geräte in einer Klinik oder zur Verfolgung von Personen zu Sicherheitszwecken eingesetzt werden. Zu den gängigsten Ortungstechnologien neben GPS gehören Wi-Fi, Bluetooth Low Energy (BLE) Beacon, Ultrabreitband (UWB) sowie die drahtlosen RFID-Sender-Empfängersysteme. Die heute auf dem Markt befindlichen GPS-Systeme eignen sich im Allgemeinen aufgrund der relativ ungenauen Positionsbestimmung für die Fußgängernavigation sehbehinderter Menschen im Innenbereich nicht [12], da im Innenbereich eine sehr hohe Dichte an Aufmerksamkeitsfeldern im Vergleich zum Außenbereich notwendig ist. Betrachtet man z.B. einen Korridor in einem Verwaltungsgebäude mit mehreren Büroeingängen, Treppen und Aufzügen auf beiden Seiten, würde dies zu einem Bereich von vielen sehr nahe beieinander liegenden Feldern (teilweise < 1 m) führen. Es müssen zielgerichtet Räume, Gänge, Feuerlöscher, Defibrillatoren, Schalter etc. ohne größere Suchaktionen gefunden werden können. Ein geeignetes Positionierungssystem muss hierbei eine sehr hohe Genauigkeit besitzen, damit keine falschen Felder erkannt werden.

RFID ist eine Technologie für Sender-Empfängersysteme, mit deren Hilfe ein automatisches und berührungsloses Identifizieren und Lokalisieren von Objekten mithilfe von Radiowellen möglich ist [5]. Während mithilfe von RFID die Gegenstände eindeutig identifiziert werden können, bietet die IoT

darüber hinaus die Möglichkeit über das Internet bzw. andere Kommunikationsnetze Daten mit anderen Geräten und Systemen mithilfe von Soft- und Hardware auszutauschen.

Die Web-Anwendung ist die stabile und bewährte weltweite universelle Laufzeitumgebung. Heute unterstützt das Web eine vielfältige und ständig wachsende Anzahl an Anwendungen von traditionellen mobilen Desktop-Anwendungen bis hin zu progressiven Web-Apps und IoT-Geräten. Die in diesem Projekt entwickelte Prototyp-App beruht auf den open-source Webtechnologien HTML, CSS, JavaScript und kann in einer Cloud-Plattform hochgefahren werden. Dazu zählen u.a. Heroku, Azure, Digital Ocean.

### 3 Untersuchungen

#### 3.1 Überblick und Workflow

Ein Überblick & Workflow bzgl. der durchgeführten Untersuchungen ist in Abbildung 2 dargestellt.

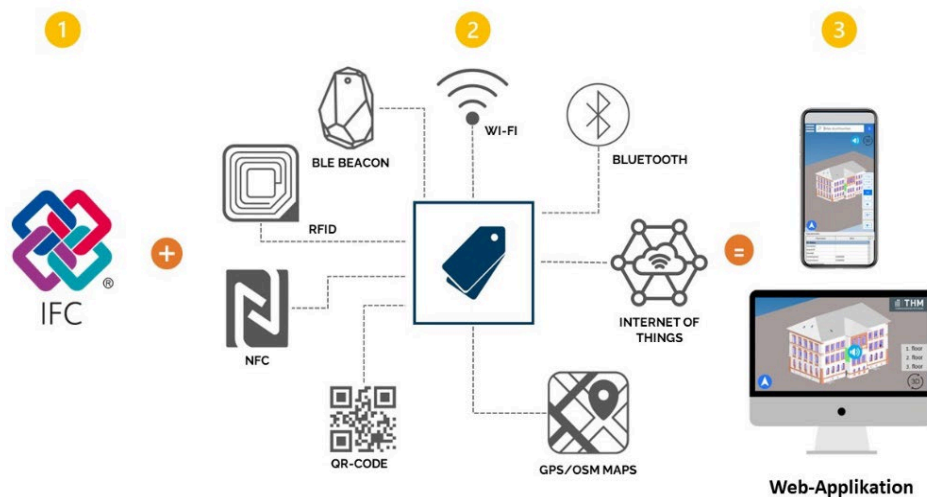


Abbildung 2: Workflow zur Integration von RTLS- und IoT-Technologien in digitale Bauwerks-Informations-Modellen und physische Bauelementen

1. BIM-Modelle werden zur Planung von Navigationspfaden mit sämtlichen Informationen in Form von Attributen definiert. Da RFID-Elemente in der aktuellen Ausgabe des IFC-Standards noch nicht abgebildet sind [13], werden sie in diesem Projekt in das bestehende IFC-Dateiformat durch Verwendung von Proxy-Elementen (*IfcBuildingElementProxy*) und Eigenschaftssätzen (*Property sets*) integriert [14]. Die Seriennummern von RFID-Tags (UID) werden in Revit als Attribute definiert und in das *.ifc*-Dateiformat exportiert. Dadurch wird die Verknüpfung des physischen Objekts mit dem virtuellen BIM-Modell über die im Rahmen des Projektes entwickelte App ermöglicht.

2. Die passiven RFID-Tags wurden in unterschiedliche Baustoffe (Betonplatten, Pflastersteine und Teppichfliesen) an wichtigen Orten (Ein- und Ausgang, Kreuzungen, Abzweigungen) in taktile Aufmerksamkeitsfelder (Point of Interests) eingebracht. Die Untersuchungen zeigten, dass die optimale Empfangsreichweite für die Entwicklung eines lückenlosen RFID-gestützten Navigationssystems durch das Scannen mit dem elektronischen Blindenstock bei max. 15 cm beträgt. Daher wurde in jeden taktilen Bodenindikator jeweils 1 Stück passiver RFID-Tag verbaut. Es wurden unterschiedliche RFID-Tags in die Untersuchung einbezogen und deren Verlegeanordnung (z.B. kreuzförmig, linienförmig) variiert mit dem Ziel die Empfangsreichweite des RFID-Systems zu optimieren. Das im Blindenstock integrierte RFID-Lesegerät kann beim Scannen der Tags mit Hilfe der Bluetooth-Funktion mit der entwickelten App gekoppelt werden. Die physischen realen Bauwerksobjekte werden durch die App mit den virtuellen digitalen Bauwerksmodellen und -daten (BIM) beim Scannen der RFID-Tags verknüpft.

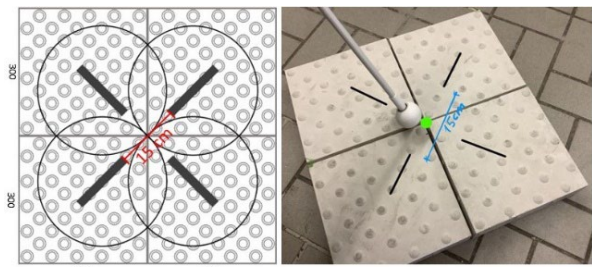


Abbildung 3: Einbringung von passiven RFID tags in die taktilen Bodenindikatoren durch das Scannen mit dem elektronischen Blindenstock bei max. 15 cm beträgt. Daher wurde in jeden taktilen Bodenindikator jeweils 1 Stück passiver RFID-Tag verbaut. Es wurden unterschiedliche RFID-Tags in die Untersuchung einbezogen und deren Verlegeanordnung (z.B. kreuzförmig, linienförmig) variiert mit dem Ziel die Empfangsreichweite des RFID-Systems zu optimieren. Das im Blindenstock integrierte RFID-Lesegerät kann beim Scannen der Tags mit Hilfe der Bluetooth-Funktion mit der entwickelten App gekoppelt werden. Die physischen realen Bauwerksobjekte werden durch die App mit den virtuellen digitalen Bauwerksmodellen und -daten (BIM) beim Scannen der RFID-Tags verknüpft.

3. Eine mobile Web-App für Smartphones wurde als Multi-Plattform-Lösung implementiert, die mit Hilfe von Bluetooth und Wi-Fi mit dem elektronischen Blindenstock gekoppelt wird. Beim Scannen eines RFID-Tags werden die Audio-Informationen abgespielt, die in der gemeinsamen Datenumgebung (CDE) in den BIM-Modellen abgelegt wurden.

### 3.2 Architektur des entwickelten Systems

**Peripheriegeräte:** Hierzu gehören das RFID-System incl. dem Blindenlangstock (1) mit integrierter Lese- und Sende-Einheit sowie die Middleware. In den Bodenbelag wurden passive RFID-Transponder (2) jeweils in 15 cm Abständen (Außenkante Tag) eingebracht.

**Frontend und Backend:** Sobald der Blindenstock ein oder mehrere RFID-Tags ausgelesen hat, wird die Seriennummer an die entwickelte App (3) über eine Bluetooth-Verbindung weitergeleitet. Die hybride App ermöglicht es einerseits dem Planer und Betreiber BIM-Modelle jederzeit zu prüfen und anzupassen und andererseits dem Nutzer alle notwendigen Bauwerksinformationen abzurufen und sich präzise navigieren zu lassen. Zum Laden, Anzeigen und Bearbeiten von open-source IFC-Modellen wurde Ifc.JS [15], eine JavaScript BIM-Toolkit (4) verwendet. Damit können die BIM-Modell-gestützten Daten in jedem Browser zur Verfügung gestellt werden. Die Seriennummern der RFID-Tags mit den entsprechenden Raumpositionen (Koordinaten) sind in BIM als Objekte und Attribute eingetragen (5) und werden beim Scannen des Tags aus dem Modell extrahiert. Daraufhin wird eine Audio-Datei abgespielt. In der Datenbank MongoDB und dem Cloud-Speicher Digital Ocean (6) werden die IFC-Modelle gespeichert und dem Nutzer zur Verfügung gestellt. Das BIM-Modell (5) wurde mit der Software Revit erstellt und als IFC-Datei exportiert.

Die Architektur des entwickelten Blindenleitsystems wird in Abbildung 4 beschrieben.

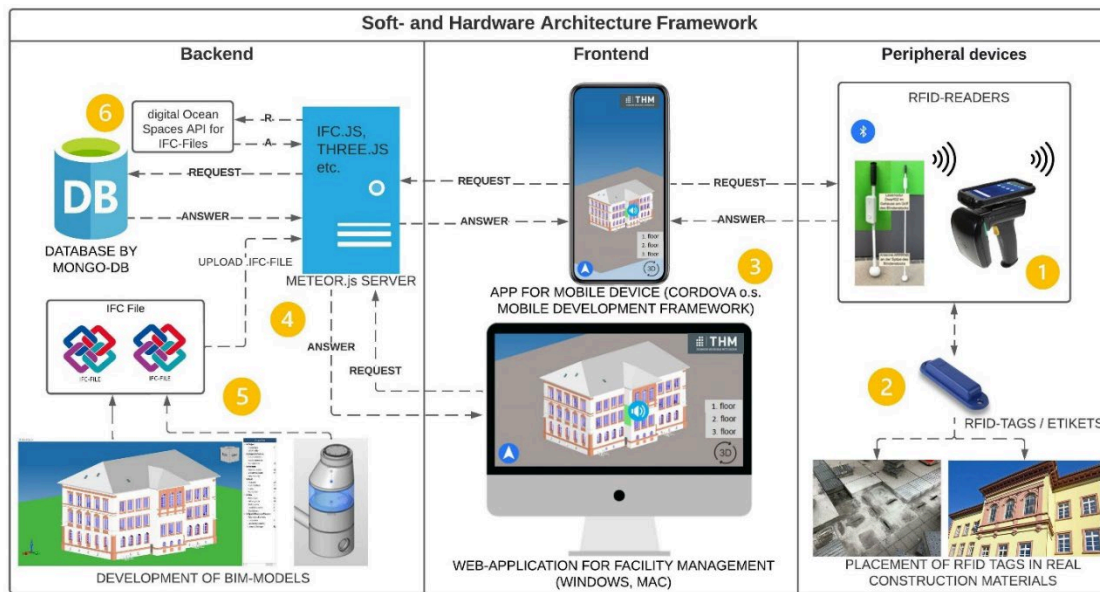


Abbildung 4: Die Architektur von RFID- und drahtlosen IoT-Technologien in BIM für die Entwicklung einer Multi-Plattform-Applikation für verschiedene Anwendungsgebiete. Die im Rahmen dieses Projektes entwickelte Prototyp-App „openNaviBIM“ kann unter dem Link <https://opennavibim.herokuapp.com/> abgerufen werden und ist in der Weiterentwicklung.

## 4 Ergebnisse und Ausblick

Die Implementierung des IoT auf Basis von RFID in das digitale Bauwerksmodell liefert einen Beitrag zur barrierefreien Planung und zur präzisen Orientierung in der Umgebung. Zusätzlich schafft sie einen Mehrwert beim Zusammenwirken von Menschen, Werkzeugen und Prozessen in der langen Betriebs- und Nutzungsphase der Bauwerke für die Öffentlichkeit. Die taktilen Blindenleitsysteme sind bereits heute etabliert [3]. Ein audio-basiertes Blindenleitsystem auf Basis von BIM, IoT und RFID ist ein ganzheitlicher Ansatz, um die Bauwerkelemente mit den zugeordneten Informationen der Tags zu kennzeichnen und diese für den Planungsprozess und für eine präzise Navigation zu nutzen. Des Weiteren stellt BIM die Metadaten zur Verfügung, die zur Etablierung eines Leitsystems in Bauwerken notwendig sind. Um die reale Welt mit den digitalen Bauwerksmodellen auf Basis von BIM verknüpfen zu können, wurden RFID und drahtlose IoT-Technologien eingesetzt.

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass physische Bauwerksobjekte mit BIM-Modellen und RFID-Systemen verknüpft werden können. Für die akustische und visuelle Darstellungen aller wichtigen Bauwerksinformationen steht die entwickelte App zur Verfügung. Auf dieser Grundlage können sehbehinderte Personen präzise durch ein Gebäude geleitet werden.

Die Verknüpfung digitaler Modelle mit realen Bauobjekten kann für weitere innovative Anwendungen einen Mehrwert darstellen, beispielhaft seien die modellbasierte Ortungs- und Instandhaltung von Objekten oder die Unterstützung von Managementprozessen und Logistik genannt.

## Literatur

- [1] Deutscher Blinden- und Sehbehindertenverband e.V: DBSV-Stellungnahme zum Regierungsentwurf eines Gesetzes zur Modernisierung des Personenbeförderungsrechts (PBefG) - Deutscher Blinden- und Sehbehindertenverband e.V, 2021. <https://www.dbsv.org/stellungnahme/PBefG-RegE.html>, abgerufen am: 29.10.2021
- [2] European Blind Union: Facts and figures about Blindness and partial sight, 2021. <https://www.euroblind.org/about-blindness-and-partial-sight/facts-and-figures>, abgerufen am: 05.12.2021
- [3] nullbarriere: DIN 32984 - Bodenindikatoren im öffentlichen Raum, 2021. <https://nullbarriere.de/din32984.htm>, abgerufen am: 26.12.2021
- [4] Bundesministerium für Verkehr u. Bau und Stadtentwicklung: Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB) Büro- und Verwaltungsgebäude. 3.2.1 Barrierefreiheit, 2015. [https://www.bnb-nachhaltigesbauen.de/fileadmin/steckbriefe/verwaltungsgebaeude/neubau/v\\_2015/BNB\\_BN2015\\_321.pdf](https://www.bnb-nachhaltigesbauen.de/fileadmin/steckbriefe/verwaltungsgebaeude/neubau/v_2015/BNB_BN2015_321.pdf), abgerufen am: 26.12.2021
- [5] Finkenzeller, K.: RFID-Handbuch. Grundlagen und praktische Anwendungen von Transpondern, kontaktlosen Chipkarten und NFC. München: Hanser 2015
- [6] Schatz, G.: Active Vs. Passive RFID For Location Tracking, 2022. <https://www.link-labs.com/blog/active-vs-passive-rfid>, abgerufen am: 24.01.2022
- [7] ISO 16739-1:2018 16739-1:2018:2021-12. *ISO 16739-1:2018. Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries — Part 1: Data schema*. <https://www.iso.org/standard/70303.html>, abgerufen am: 23.12.2021
- [8] Jens Minnert, Joaquin Diaz, Christian Baier: Einführung in die statische Berechnung von Bauwerken. WIT. Köln: Reguvis 2020
- [9] Bundesministerium für Verkehr und Digitale Infrastruktur: Handreichungen BIM4INFRA2020. Grundlagen und BIM-Gesamtprozess, 2019. [https://bim4infra.de/wp-content/uploads/2019/07/BIM4INFRA2020\\_AP4\\_Teil1.pdf](https://bim4infra.de/wp-content/uploads/2019/07/BIM4INFRA2020_AP4_Teil1.pdf), abgerufen am: 29.12.2021
- [10] Borrmann, A., König, M., Koch, C. u. Beetz, J.: Building Information Modeling. Technologische Grundlagen und industrielle Praxis. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden 2021
- [11] RFID JOURNAL: The Differences Between RFID and RTLS, 2017. <https://www.rfidjournal.com/the-differences-between-rfid-and-rtls>, abgerufen am: 05.01.2022
- [12] Elektronik Kompendium: GPS - Global Positioning System, 2022. <https://www.elektronik-kompendium.de/sites/kom/1201071.htm>, abgerufen am: 24.01.2022



- [13] buildingSMART International Ltd.: 7 Domain specific data schemas of IFC. IfcSensor, 2022.  
[https://standards.buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4/ADD2\\_TC1/HTML/](https://standards.buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4/ADD2_TC1/HTML/), abgerufen am:  
10.02.2022
- [14] Motamedi, A., Soltani, M. M., Setayeshgar, S. u. Hammad, A.: Extending IFC to incorporate  
information of RFID tags attached to building elements. *Advanced Engineering Informatics* 30  
(2016) 1, S. 39–53
- [15] Perdigao, B.: A new browser IFC viewer is released in IFC.js. *OSArch* (2020)