



Master Thesis

im Rahmen des

Universitätslehrganges „Geographical Information Science & Systems“
(UNIGIS MSc) am Interfakultären Fachbereich für GeoInformatik (Z_GIS)
der Paris Lodron-Universität Salzburg

zum Thema

Connected Workplace Campus-Routing-Informationssysteme für Bürogebäude

vorgelegt von

Rouven C. Hampe

104324, UNIGIS MSc Jahrgang 2016

Betreuer/in:

Dr. Manfred Mittlboeck

Zur Erlangung des Grades

„Master of Science (Geographical Information Science & Systems) – MSc(GIS)“

Ehrenwörtliche Erklärung

„Hiermit versichere ich, Rouven C. Hampe, ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Masterarbeit mit dem Titel: „Connected Workplace Campus-Routing-Informationssysteme für Bürogebäude“ selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe. Die Stellen der Arbeit, die dem Wortlaut oder dem Sinn nach anderen Werken entnommen wurden, sind in jedem Fall unter Angabe der Quelle kenntlich gemacht. Die Arbeit ist noch nicht veröffentlicht oder in anderer Form als Prüfungsleistung vorgelegt worden.“

Düsseldorf, 25.05.2020

Kurzfassung

Bei größeren Gebäudekomplexen ist es oftmals schwierig und zeitaufwändig, den richtigen Weg zum gewünschten Gebäudeteil oder Raum zu finden. Zudem werden Gebäude fortwährend größer und komplexer. Die Orientierung in Innenräumen wird somit immer mehr zum Problem. Campus-Routing-Informationssysteme (CRIS) sollen die Innennavigation vereinfachen.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wird mit Hilfe einer spezifischen Fallstudie untersucht, inwieweit sich eine von Wilkening et al. entworfene Methodik zur Implementierung eines CRIS auch für Bürogebäudekomplexe eignet. Dabei werden auch besondere Anforderungen an ein CRIS herausgestellt, die im Kontext Bürogebäudekomplexe auftreten.

Schlagwörter: Innenraumnavigation, Campus Routing Informationssystem, CRIS, ArcGIS Indoors Information Model; 3D-Netzwerkanalysen

Abstract

In larger building complexes it is often difficult and time-consuming to find the right way to the desired part of the building or room. In addition, buildings are constantly becoming larger and more complex. Orientation in interior spaces is therefore becoming more and more of a problem. Campus Routing Information Systems (CRIS) are designed to simplify indoor navigation.

In the context of the present thesis, a specific case study is used to investigate the extent to which a methodology described by Wilkening et al. for implementing a CRIS is also suitable for office building complexes. In doing so, special requirements for a CRIS which arise in the context of office building complexes are also highlighted.

Keywords: Indoor navigation, Campus routing information system, CRIS, ArcGIS indoors information model; 3D network analysis

Inhaltsverzeichnis

Ehrenwörtliche Erklärung	1
Kurzfassung	2
Abstract	2
Inhaltsverzeichnis	3
Abbildungsverzeichnis	6
Tabellenverzeichnis	8
Abkürzungsverzeichnis	9
1 Einführung	10
1.1 Motivation	10
1.2 Indoor-Navigation in der Forschung.....	12
1.3 Forschungsziel	12
1.4 Aufbau der Arbeit	14
2 Theoretischer Hintergrund	16
2.1 Indoor-Navigation.....	16
2.1.1 Indoor-Modellierung für Navigationsmodelle	17
2.1.2 Algorithmen zur Berechnung von Innenwegen.....	22
2.1.3 Positionierung und Lokalisierung	25
2.1.4 Menschliche räumliche Wahrnehmung und Orientierung	26
2.1.5 Anweisungen für die Wegführung in Innenräumen.....	28
2.2 Campus-Routing-Informationssystem.....	31
2.2.1 Begriffsklärung.....	31
2.2.2 Anwendungsbeispiel: Campus Röntgenring der FHWS.....	32
2.3 Werkzeuge zur Innenraumnavigation	33
3 Methodik	36
3.1 Workflow zur Erstellung eines CRIS nach Wilkening et al.	36
3.2 Werkzeuge und Datenmodell.....	38
3.2.1 AutoCAD	39
3.2.2 ArcGIS Indoors	39
3.2.3 ArcGIS Indoors Information Model	41
3.3 Datenvorverarbeitung	48
3.3.1 Sichtung der CAD-Dateien	49
3.3.2 Generalisierung	50

3.3.3	Generierung neuer CAD-Dateien.....	50
3.3.4	Projektion	50
3.4	Datenverarbeitung	51
3.4.1	Erstellung und Veröffentlichung einer Campus-Grundkarte	51
3.4.2	Erstellen von Gebäudeinnenräumen.....	51
3.4.3	Erstellung einer Campus-Szene	53
3.4.4	Erstellung und Veröffentlichung eines Campus-Netzwerks.....	54
3.4.5	Veröffentlichung der Campus-Szene und des Locator Layers.....	56
3.5	Webanwendung	57
3.6	Evaluierung	57
4	Fallstudie	60
4.1	Bürokomplex 1-2 im Servicepark Emscherschnellweg, Gelsenkirchen.....	60
4.2	Datenvorverarbeitung	62
4.2.1	Sichtung der CAD-Daten	62
4.2.2	Generalisierung	66
4.2.3	Generierung neuer CAD-Daten	68
4.2.4	Topologische Korrekturen	69
4.2.5	Projektion	70
4.3	Datenverarbeitung	71
4.3.1	Erstellung und Veröffentlichung einer Campus-Grundkarte	71
4.3.2	Anlegen des ArcGIS Indoors Information Models	72
4.3.3	Erstellung einer Campus-Szene	77
4.3.4	Erstellung und Veröffentlichung eines Campus-Netzwerks.....	78
4.3.5	Veröffentlichung der Campus-Szene.....	83
4.4	Webanwendung	84
4.4.1	ArcGIS Indoors Webanwendung für den Bürokomplex 1-2.....	84
4.4.2	Routenberechnung.....	87
4.5	Evaluierung	89
4.5.1	Testdesign.....	89
4.5.2	Exemplarisch berechnete Routen	91
4.5.3	Ergebnis	96
5	Fazit.....	104
6	Ausblick.....	109
Anhang A: CAD-Pläne	112	
A.1	CAD-Pläne des Bürokomplexes 1-2	112
A.2	Vorverarbeitete CAD-Dateien des Bürokomplexes 1-2.....	115

Anhang B: AIIM	118
Anhang C: Fragebogen.....	120
Glossar	144
Quellenverzeichnis	145
Stichwortverzeichnis	150

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Modellierungsansätze für Innenräume in Gebäudemodellen	19
Abbildung 2: Die fünf LODs von CityGML 2.0 mit LOD4, das auch Innenräume modelliert [3]	21
Abbildung 3: Beispiel eines CAD-Plans [1]	22
Abbildung 4: Barrierefreie Gestaltung von Türen entsprechend ASR V3a.2 [5]	24
Abbildung 5: Kürzester Pfad mit Unsicherheit im Vergleich zum sichersten Pfad entlang von Wegpunkten nach [11]	27
Abbildung 6: Mercedes-Benz-Museum, Stuttgart	30
Abbildung 7: Komplexe Architektur in der Firmenzentrale der Otto GmbH & Co KG ...	30
Abbildung 8: Firmencampus der Otto GmbH & Co KG	32
Abbildung 9: Campus-Informationssystem für den Campus Röntgenring der FHWS [44]	33
Abbildung 10: Innenraumnavigation mit Google Maps im Gebäude der Naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Salzburg	35
Abbildung 11: Schritte zum Entwurf eines Campus Routing Information System (CRIS) basierend auf Wilkening et al. [43]	37
Abbildung 12: Datenvorverarbeitung der verfügbaren CAD-Daten mit AutoCAD	39
Abbildung 13: ArcGIS Komponenten zur Bereitstellung eines CRIS	40
Abbildung 14: Gefahr der Startpunktverschiebung beim ausgedünnten Wegenetz	55
Abbildung 15: Kürzeste Route durch benachbarte Büroräume	56
Abbildung 16: Gewünschte Route mit Meidung von Büroräumen	56
Abbildung 17: Bürogebäudekomplex "Servicepark Emscherschnellweg"	61
Abbildung 18: CAD-Daten zum Erdgeschoß des Bürokomplexes 1-2	63
Abbildung 19: CAD-Darstellung von Innenräumen des Bürokomplexes 1-2 mit Annotationen für Raumnamen und Raumtypen	68
Abbildung 20: Tür und Wand liegen nicht aneinander (<i>unbearbeitet</i>)	69
Abbildung 21: Tür und Wand berühren sich (<i>korrigiert</i>)	69
Abbildung 22: Angrenzende Räume berühren sich nicht (<i>unbearbeitet</i>)	70
Abbildung 23: Angrenzende Räume liegen aneinander (<i>korrigiert</i>)	70
Abbildung 24: Projizierte CAD-Daten des Bürokomplexes 1-2	70
Abbildung 25: Servicepark Emscherschnellweg in der OpenStreetMap-Grundkarte	71
Abbildung 26: Benutzeroberfläche des Werkzeugs <i>Floorplans To Indoors</i> in ArcGIS Pro	72
Abbildung 27: Gebäudemodell des Bürokomplexes 1-2 auf Basis des AIIM mit farblicher Differenzierung unterschiedlich kategorisierter Innenräume	74
Abbildung 28: Ausschnitt aus dem Gebäudemodell für den Bürokomplex 1-2 auf Basis des AIIM mit kategorisierten Innenräumen	75
Abbildung 29: Campus-Szene des Bürokomplexes 1-2 mit kategorisierten POIs	78
Abbildung 30: Vorläufiges Wegenetz im Gebäudemodell für den Bürokomplex 1-2	79

Abbildung 31: Transition entlang einer Treppe im Bürokomplex 1-2 auf Basis des AIIM	80
Abbildung 32: Transition in einem Aufzug im Bürokomplex 1-2 auf Basis des AIIM	80
Abbildung 33: Dreidimensionale Repräsentation der Transitionen (blau)	80
Abbildung 34: Ausschnitt des ausgedünnten Wegenetzes für den Bürokomplex 1-2 auf Basis des AIIM	82
Abbildung 35: Auszug des Wegenetzes für den Bürokomplex 1-2 auf Basis des AIIM mit hierarchischer Kategorisierung (rot: primäre Wege; orange: sekundäre Wege)	82
Abbildung 36: Um Außenwege erweitertes Wegenetz für den Bürokomplex 1-2 auf Basis des AIIM	83
Abbildung 37: Campus-Szene in der <i>WebApp BK 1-2</i>	84
Abbildung 38: Campus-Map mit eingeblendeten POIs in der <i>WebApp BK 1-2</i>	85
Abbildung 39: Campus-Map mit spezifisch ausgewählter Grundkarte (Luftbild)	85
Abbildung 40: Suchleiste	86
Abbildung 41: Benutzeroberfläche zur Berechnung von Routen in der <i>WebApp BK 1-2</i>	88
Abbildung 42: Berechnete Route in der <i>WebApp BK 1-2</i>	89
Abbildung 43: Konfiguration der Route 1 (F1.09 – EE.16)	92
Abbildung 44: Kartendarstellung der Route 1 (F1.09 – EE.16) mit Fortbewegungsart <i>Wheelchair</i>	92
Abbildung 45: Kartendarstellung der Route 1 (F1.09 – EE.16) mit Fortbewegungsart <i>Walking</i>	93
Abbildung 46: Konfiguration der Route 2 (B1.05 – C1.43)	93
Abbildung 47: Kartendarstellung der Route 2 (B1.05 – C1.43)	94
Abbildung 48: Konfiguration der Route 3 (DE.07 – F1.09)	94
Abbildung 49: Kartendarstellung der Route 3 (DE.07 – F1.09)	95
Abbildung 50: Konfiguration der Route 4 (FE.37 – AE.06)	95
Abbildung 51: Kartendarstellung der Route 4 (FE.37 – AE.06)	96
Abbildung 52: Verteilung ob und seit wann die Probanden einen Arbeitsplatz im Bürokomplex 1-2 haben	97
Abbildung 53: Anzahl der Tage einer typischen Arbeitswoche die die Probanden im Bürokomplex 1-2 sind	97
Abbildung 54: Selbsteinschätzung der Probanden bzgl. ihrer Ortskenntnis innerhalb von Bürokomplex 1-2	98
Abbildung 55: Aussagen zur Zielfindung ohne Wegbeschreibung	99
Abbildung 56: Aussagen zur Zielfindung ohne Wegbeschreibung bei der Meidung von Stufen und Treppen	99
Abbildung 57: Einschätzung des Nutzens der Wegbeschreibungen	100
Abbildung 58: Bewertung eines Informationssystems ohne Routingfunktionalität oder mit statischer oder dynamischer Routingfunktionalität für die eigene Arbeit	102

Abbildung 59: Interesse an einem Informationssystem ohne Routingfunktionalität oder mit statischer oder dynamischer Routingfunktionalität	103
Abbildung 60: CAD-Plan des Erdgeschosses des Bürokomplexes 1-2	112
Abbildung 61: CAD-Plan des 1. OG des Bürokomplexes 1-2	113
Abbildung 62: CAD-Plan des 2. OG des Bürokomplexes 1-2	114
Abbildung 63: Aufbereiteter CAD-Plan des Erdgeschosses des Bürokomplexes 1-2 ...	115
Abbildung 64: Aufbereiteter CAD-Plan des 1. OG des Bürokomplexes 1-2	116
Abbildung 65: Aufbereiteter CAD-Plan des 2. OG des Bürokomplexes 1-2	117
Abbildung 66: Darstellung des AIIMs des Erdgeschosses des Bürokomplexes 1-2.....	118
Abbildung 67: Darstellung des AIIMs des 1. OG des Bürokomplexes 1-2	119
Abbildung 68: Darstellung des AIIMs des 2. OG des Bürokomplexes 1-2	119
Abbildung 69: Undershoot.....	144
Abbildung 70: Overshoot.....	144

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Mögliche Innenwege nach Zlatanova et al. [49]	23
Tabelle 2: Workflow und Prozesse nach Wilkening et al. [43]	38
Tabelle 3: Feature-Datasets des ArcGIS Indoor Information Model	41
Tabelle 4: AIIM-Feature-Classes	42
Tabelle 5: Network-Feature-Classes	43
Tabelle 6: Bewertung des AIIM anhand der Anforderungen an den topografischen Raum für die Innennavigation in Bürokomplexen	46
Tabelle 7: Anforderungen an CAD-Gebäudepläne nach Wilkening et al. [43]	49
Tabelle 8: Anwendungsfälle nach Brown et al. [4] (angepasst auf Bürokomplexe).....	58
Tabelle 9: Erfüllungsgrad der Anforderungen an die CAD-Daten von Bürokomplex 1-2 gemäß Wilkening et al.	63
Tabelle 10: Erweiterte Anforderungen an CAD-Gebäudepläne	64
Tabelle 11: Erfüllungsgrad der erweiterten Anforderungen an die CAD-Daten von Bürokomplex 1-2.....	65
Tabelle 12: Verbleibende Layer der CAD-Daten nach der Generalisierung	67
Tabelle 13: Vertikale Reihenfolge der Etagen	73
Tabelle 14: Zuordnung von Features aus CAD-Layern zu AIIM Feature-Classes	73
Tabelle 15: Zuordnung von Annotationen aus CAD-Layern zu AIIM Unit-Attributen	74
Tabelle 16: Funktionsschaltflächen der <i>WebApp BK 1-2</i>	86
Tabelle 17: Schaltflächen und Eingabefelder zur Navigation der <i>WebApp BK 1-2</i>	87

Abkürzungsverzeichnis

AIIM	ArcGIS Indoors Information Model
BIM	Building Information Modeling
BetrVG	Betriebsverfassungsgesetz
CityGML	City Geographic Markup Language
CAD	Computer-aided Design
CRIS	Campus Routing Information System
EU-DSGVO	EU-Datenschutz-Grundverordnung
FHWS	Hochschule für angewandte Wissenschaft Würzburg-Schweinfurt
IFC	Industry Foundation Classes
IPS	Indoor Positioning System
LOD	Level of Detail
GIS	Geo Information System
GNNS	Global Navigation Satellite System
GPS	Global Positioning System
POI	Point of Interest
REST	Representational State Transfer
RFID	Radio-frequency Identification
WLAN	Wireless Local Area Network
WMAS	Web Mercator Auxiliary Sphere

1 Einführung

Dieses Kapitel bietet eine Einführung in diese Masterarbeit. In Kapitel 1.1 erfolgt eine Einleitung in die Motivation dieser Arbeit. Kapitel 1.2 gibt einen ersten Einblick in die Indoor-Navigation als Feld der GIS Forschung. Kapitel 1.3 beschreibt die Forschungsfragen, definiert das Forschungsziel und grenzt den Umfang dieser Arbeit ein. Kapitel 1.4 gibt schließlich einen Überblick über den weiteren Aufbau der Masterarbeit.

1.1 Motivation

In neuen, unbekanntenen Umgebungen kann Orientierung problematisch sein und viel Aufmerksamkeit erfordern [11], [25]. Einen Lösungsansatz hierfür bieten Navigationssysteme. Für Autos gehören Navigationssysteme schon lange zu unserem Alltag und auch die Routenfindung zu Fuß, mit dem Fahrrad oder öffentlichen Verkehrsmitteln etabliert sich mehr und mehr. In der Regel endet die Route aber an einer angegebenen Postadresse – vor einem Gebäude. Gerade bei größeren Gebäudekomplexen ist es aber keineswegs trivial, den richtigen Weg zum gewünschten Gebäudeteil oder gar Raum zu finden [43]. Dies gilt insbesondere, wenn man mit der Gebäudestruktur und -aufteilung nicht vertraut ist. Darüber hinaus unterscheiden sich Innenräume erheblich von Außenräumen und erschweren die menschliche Orientierung, etwa durch fehlende Orientierungsmöglichkeiten wie dem Sonnenstand oder durch die Unübersichtlichkeit von mehreren Ebenen und relativ kleinen Räumen [49].

Bereits 2009 schreiben Dudas et al., dass ein System zur Indoor-Navigation in Gebäuden mit komplexen Strukturen gerechtfertigt ist, insbesondere wenn die Benutzer mit deren Struktur nicht vertraut sind [9].

Wegfindung in Innenräumen

Eine erste Orientierungshilfe können hier schematische Karten des Gebäudekomplexes geben. Darüber hinaus bietet heute fast jeder universitäre oder außeruniversitäre Campus eine interaktive Campus Map [31]. Dabei handelt es sich um digitale Lagepläne, die der Orientierung dienen. Inhalte und Funktionalität können sich jedoch von Karte zu Karte stark unterscheiden. Diese interaktiven Campus Maps reichen aber oftmals nicht aus, um einen konkreten Weg zu finden, da sie in der Regel keine Funktionalität zur Routenberechnung umfassen [31], [44].

Doch selbst wenn die Räumlichkeiten bekannt und Routen durch ein Gebäude etabliert sind, können sich die äußeren Umstände schnell ändern. Ursache dafür können im einfachen Fall Umbauten oder sonstige Baumaßnahmen und Renovierungsarbeiten sein.

Aber auch Unfälle oder Katastrophen wirken sich unmittelbar und häufig kurzfristig auf die Zugänglichkeit in Innenräumen aus. Daher sind Methoden und Systeme erforderlich, die die Lokalisierung und Navigation in sich dynamisch verändernden Innenräumen ermöglichen, auch in Umgebungen, mit denen Menschen vertraut sind [45].

Im Gegensatz zur Fortbewegung im Außenbereich finden die meisten Bewegungen in Innenräumen in nicht-öffentlichen Räumen statt. Hierdurch ergibt sich für die Navigation auch ein besonderer Fokus auf besondere bzw. eingeschränkte Zugangsmöglichkeiten. So haben beispielsweise verschiedene Personengruppen oft nur Zugang zu bestimmten Teilen eines Gebäudes und benötigen daher maßgeschneiderte Informationen, die ihren jeweiligen Navigationsanforderungen entsprechen [45]. Des Weiteren können Menschen mit kognitiven oder körperlichen Einschränkungen auf Hilfssysteme angewiesen sein, um ihnen die sichere und effiziente Navigation in unbekanntem Umgebungen zu ermöglichen, ohne sich zu verlaufen [11]. Benutzer von Rollstühlen beispielsweise müssen Stufen und Treppen meiden und können in Gebäudekomplexen damit nur ein eingeschränktes Wegenetz nutzen.

Da zudem auch die durchschnittliche Größe von Gebäuden und insbesondere von Nicht-Wohngebäuden stetig ansteigt [7], [31], besteht ein wachsender Bedarf an Indoor-Navigation – besonders in komplexen Gebäuden, für Zwecke wie Arbeit, Einkaufen, Freizeit, Essen, Sport usw. [28].

Connected Workplace

Ein besonderes Themenfeld in diesem Kontext sind komplexe Bürogebäude, in denen zahlreiche Menschen in Teams mit oftmals wechselnder Zusammensetzung arbeiten und dabei Besprechungsräume und Kollegen aufsuchen, diese also schnell und einfach innerhalb des Gebäudes finden müssen. An dieser Stelle könnten sogenannte Campus-Routing-Informationssysteme bei Orientierung und Navigation helfen. Ein Campus-Routing-Informationssystem (CRIS) ist ein IT-System, das verschiedene Benutzergruppen bei der Navigation in komplexen, im Allgemeinen aus mehreren separaten, aber in einem Zusammenhang stehenden Gebäuden, wie etwa Universitäten, Flughäfen, Bürokomplexen oder Einkaufszentren, unterstützt [43]. In Bürokomplexen könnte somit durch den Einsatz eines CRIS ein *Connected Workplace* geschaffen werden, in dem die Wegführung zwischen verschiedenen Gebäudeteilen, Büros und Seminarräumen erleichtert wird, sich somit Menschen leichter finden und besser zusammenarbeiten oder gemeinsame Infrastrukturressourcen effizienter nutzen können.

1.2 Indoor-Navigation in der Forschung

Schon seit einigen Jahren ist Indoor-Navigation ein wichtiges Thema in der GIS Forschung. Als solches wurde es beispielsweise bereits 2013 von Brown et al. beschrieben [4]. Indoor-Navigation als Forschungsfeld umfasst – analog zu dem bereits etablierten Forschungs- und Anwendungsumfeld Outdoor Navigation - die fünf Hauptthemen Positionierung und Lokalisierung, Navigationsmodelle, Algorithmen zur Berechnung von Innenwegen, menschliche räumliche Wahrnehmung und Orientierung sowie Anweisungen für die Wegführung [28] – nur eben mit dem Fokus auf Innenräume. Fellner sieht für die Innennavigation allerdings besondere Herausforderungen, wie häufigere Richtungswechsel, eine geringere Auswahl an Orientierungspunkten, mehr Freiflächen ohne definierte Wege und das Fehlen von Straßennamen als Referenz für Routenanweisungen [12].

Zwar wurden bereits über die letzten Jahrzehnte Systeme zur Indoor-Navigation entwickelt [11], doch diese Systeme befanden sich noch in einem frühen Entwicklungsstadium [21]. Zahlreiche aktuelle Produkte zielen nun mehr und mehr auf eine baldige Etablierung in der Breite des Marktes. Hier sind jedoch noch Fragen bezüglich der Umsetzbarkeit und der Anwendung offen.

Vor diesem Hintergrund wurde bereits durch Wilkening et al. [43] eine Methodik zur Implementierung eines CRIS entworfen und anhand einer Fallstudie evaluiert. Dabei ergab die Fallstudie, dass die von Wilkening et al. entworfene Methodik für die Implementierung eines CRIS geeignet ist und damit die konzeptionellen und technischen Voraussetzungen für die Realisierung von Campus-Routing-Informationssystemen vorliegen.

Diese Fallstudie behandelte allerdings ausschließlich den universitären Kontext. Grundsätzlich solle sich diese Methode laut Wilkening et al. aber auch auf andere Umgebungen wie Einkaufszentren, Flughäfen oder eben auch Bürokomplexe – also auf Gebäudekomplexe, die einen sehr großen Teil des potenziellen Anwendungsfeldes für Indoor-Navigation ausmachen – übertragen lassen. Der Nachweis für eine solche Übertragbarkeit wurde jedoch bislang noch nicht geführt.

1.3 Forschungsziel

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wird nun – ebenfalls mit Hilfe einer spezifischen Fallstudie – untersucht, inwieweit sich die von Wilkening et al. entworfene Methodik zur Implementierung eines CRIS auch für moderne Bürogebäudekomplexe eignet, also ob

die Übertragung der Methodik vom universitären Umfeld auf einen Bürokomplex funktioniert. Daraus ergibt sich die zentrale Fragestellung dieser Arbeit:

- Ist die von Wilkening et al. vorgestellte Methodik für die Implementierung eines CRIS vom universitären Umfeld auf Bürokomplexe übertragbar?

Folgende Nebenfragstellungen werden hierfür bei der Validierung der Methodik von Wilkening et al. für den Einsatz eines CRIS in Bürogebäuden berücksichtigt:

- Welche Anforderung an ein CRIS bestehen insbesondere bei Bürokomplexen?
- Inwieweit ist das von Wilkening et al. verwendete Navigationsmodell insbesondere für die Navigation in Bürokomplexen geeignet?
- Ist die Methodik ausgereift oder besteht Bedarf die Methodik zu verbessern?

Zur Beantwortung dieser Fragen wird im Rahmen einer Fallstudie auf Basis von CAD-Gebäudeplänen eines beispielhaft ausgewählten Bürokomplexes und eines ausgewählten am Markt verfügbaren Werkzeugs ein geeignetes Navigationsmodell erstellt. Hierbei werden Geometrie, Topologie, Semantik und andere Kontextinformationen für Innenumgebungen berücksichtigt, um geeignete Routing-Ergebnisse für potenzielle Benutzer bereitzustellen. Dazu müssen zum einen bestehende Modelle des Gebäudes für diesen Zweck abstrahiert werden, zum anderen ausreichende Informationen für die Durchführung von Navigationsaufgaben erhalten bleiben oder gar ergänzt werden.

Abgrenzung der Arbeit

Das Thema Positionierung und Lokalisierung wird dabei weitestgehend ausgespart. Im Gegensatz zur Außenortung und -navigation, wo Navigations-satellitensysteme wie GPS oder Galileo zur Verfügung stehen, steht in Innenräumen kein globales System für die Lokalisierung und somit kein Referenzrahmen für die Navigation zur Verfügung [34], [45]. Daher müsste zunächst ein Positionierungssystem für die Innenraumumgebung ausgewählt und implementiert werden. Dies würde den Umfang dieser Arbeit aus den folgenden Gründen sprengen:

- Bereits die Erstellung eines Überblicks über bestehende Methoden und die anschließende Auswahl und Erprobung würde zu umfangreich werden.
- Darüber hinaus sind zur Umsetzung auch umfassende Infrastrukturen erforderlich, die in Bürogebäuden aktuell nicht vorausgesetzt werden können und entsprechende Investitionen (etwa für die Ausstattung mit RFID-Tags) verlangen würden. Obwohl die Kosten beispielsweise für einen einzelnen RFID-Tag niedrig sind, ist die Installation in großem Maßstab, beispielsweise in einer Campusumgebung, häufig kostspielig [11] und arbeitsintensiv.

Die Ausgrenzung des Themas Positionierung und Lokalisierung im Rahmen der vorliegenden Arbeit ist damit notwendig und sinnvoll. Trotz dieser Abgrenzung behalten die Ergebnisse der Studie praktische Relevanz. Denn Positionierung und Lokalisierung bilden zwar eine entscheidende Grundlage für die Echtzeitnavigation, doch auch ohne die Möglichkeit zur Echtzeitnavigation kann das Indoor-Routing beispielsweise für Planungszwecke sinnvoll eingesetzt werden [9]. Entsprechend kann auch ohne Berücksichtigung von Positionierung und Lokalisierung die Eignung der Methodik von Wilkening et al. für Bürogebäude überprüft werden.

Die für die Fallstudie notwendigen Algorithmen zur Berechnung von Innenwegen werden durch das bereits von Wilkening et al. genutzte Werkzeug ArcGIS Indoors gemeinsam mit dem Navigationsmodell vorgegeben. Ähnliches gilt für die Themenkomplexe menschliche räumliche Wahrnehmung und Orientierung sowie Anweisungen für die Wegführung. Auch hier wird auf die durch ArcGIS Indoors verfügbaren Ausgabeformate zurückgegriffen. Diese Themenfelder werden auf den Kontext Bürokomplexe angewendet und diskutiert.

Auch wenn mit Indoor-Navigationssystemen ebenso nicht-menschliche Agenten wie Roboter oder Drohnen navigiert werden können [10], [47], [49], konzentriert sich diese Arbeit auf die Navigation von Menschen.

1.4 Aufbau der Arbeit

Zunächst wird in *Kapitel 2* ein Überblick über den theoretischen Hintergrund zum Thema Innenraumnavigation gegeben, ausgehend von Indoor-Navigationsmodellen bis hin zum Campus-Routing-Informationssystem. Außerdem werden aktuell verfügbare Werkzeuge zur Innenraumnavigation vorgestellt.

In *Kapitel 3* wird das konkrete Vorgehen zur Implementierung eines CRIS für den Anwendungsfall Bürokomplexe auf Basis der von Wilkening et al. entworfene Methodik entwickelt. Hierfür wird zunächst die von Wilkening et al. entworfene Methodik zur Erstellung eines Campus-Routing-Informationssystems vorgestellt. Anschließend wird auf verwendete Werkzeuge und das Indoor-Navigationsmodell eingegangen, wie es auch in der Methodik von Wilkening et al. verwendet wird. Außerdem werden die Einzelschritte der Methodik im Detail diskutiert und die grundsätzliche Übertragbarkeit auf Bürokomplexe überprüft.

Um die in Kapitel 1.3 aufgestellten Forschungsfragen zu beantworten, wird ein qualitativer Ansatz gewählt – also die Umsetzung und Analyse einer konkreten, beispielhaften CRIS Implementierung für ein Bürokomplex-Campus im Rahmen einer Fallstudie. *Kapitel*

4 widmet sich dieser Fallstudie und beschreibt sowohl das Szenario als auch die konkrete Umsetzung des CRIS. Die Eignung der exemplarischen Umsetzung wird überprüft, indem beispielhafte Routen erstellt und dazu passende Wegbeschreibungen generiert werden. Mit Hilfe der generierten Wegbeschreibungen werden die unterschiedlichen Routen dann durch Probanden evaluiert. Aus den Evaluierungsergebnissen werden Schlüsse auf die praktische Tauglichkeit des CRIS und damit letztlich auf die Praxistauglichkeit der eingesetzten Methoden und Modelle gezogen.

In *Kapitel 5* erfolgt eine Zusammenfassung der durch diese Arbeit gewonnenen Erkenntnisse und eine Darstellung, inwieweit die in Kapitel 1.3 aufgestellten Forschungsfragen durch diese Arbeit beantwortet werden konnten.

Zuletzt folgt in *Kapitel 6* ein Ausblick über mögliche Erweiterungen des für diese Arbeit exemplarisch entwickelten CRIS und über Forschungsfragen, die in zukünftigen Arbeiten beantwortet werden müssen.

2 Theoretischer Hintergrund

Im folgenden Kapitel werden die relevanten theoretischen Hintergründe näher erläutert. Hierfür wird der gesamte Themenkomplex Indoor-Navigation näher beleuchtet und in seine einzelnen Themenfelder aufgeschlüsselt. Anschließend wird der Begriff Campus-Routing-Informationssystem geklärt und anhand von Beispielen veranschaulicht. Abschließend wird in Kapitel 2.3 ein kurzer Überblick über existierende Werkzeuge zur Innenraumnavigation gegeben.

2.1 Indoor-Navigation

Auf der Grundlage eines geeigneten topografischen Raummodells überträgt Indoor-Navigation (oder Innenraumnavigation) den vertrauten Vorgang der Wegführung vom Wegenetz der Außenwelt in die Innenräume von Gebäuden. Liu definiert entsprechend Innenraumnavigation als eine Aktivität, bei der Benutzer zu bestimmten Orten innerhalb einer Innenraumumgebung navigieren [28]. Benutzer sind dabei in der Regel Menschen, können aber beispielsweise auch Roboter, Fahrzeuge oder Drohnen sein.

Ein großer Vorteil bei der Verwendung eines Navigationssystems zum Planen eines Pfades zwischen Start- und Zielpunkt besteht darin, dass der Pfad basierend auf verschiedenen Benutzeranforderungen optimiert werden kann [11]. So kann beispielsweise je nach Bedarf entweder der kürzeste Pfad oder aber der sicherste Pfad berechnet werden. Eine Funktion, die etwa für Personen mit ständigen oder vorübergehenden Einschränkungen ihrer Mobilität von Bedeutung ist.

Liu [28] unterteilt das Forschungsgebiet Indoor-Navigation in fünf Hauptthemen:

1. *Indoor-Modellierung für Navigationsmodelle* behandelt das Erstellen von Modellen von Innenumgebungen, die als Basis zur Routenberechnung dienen können.
2. *Algorithmen zur Berechnung von Innenwegen* ermitteln auf diesen Navigationsmodellen Routen, um den optimalen oder benutzerdefinierten Pfad zum Zielort zu finden.
3. *Positionierung und Lokalisierung in Innenräumen* stellen Benutzerpositionen bereit.
4. *Menschliche räumliche Wahrnehmung und Orientierungshilfe* betrachtet, wie menschliche Nutzer ihre Umgebung wahrnehmen und dabei Orientierungshilfen nutzen.
5. *Anweisungen für die Wegführung in Innenräumen* interpretieren den berechneten Pfad als Anweisungen, denen ein Benutzer folgen kann.

In den folgenden Kapiteln werden diese Hauptthemen nun eingehender betrachtet.

2.1.1 Indoor-Modellierung für Navigationsmodelle

In dem folgenden Unterkapitel wird zunächst erläutert, was unter Indoor-Navigationsmodellen zu verstehen ist und warum diese für die Innenraumnavigation benötigt werden. Anschließend wird in Kapitel 2.1.1.2 die Unzulänglichkeiten klassischer Gebäudemodelle für die Indoor-Navigation beschrieben und erklärt, warum klassische Gebäudemodelle daher im Allgemeinen nicht ohne eine weitere Verarbeitung als Indoor-Navigationsmodell genutzt werden können.

2.1.1.1 Indoor-Navigationsmodelle

Indoor-Navigationsmodelle stellen Gebäude, beziehungsweise das Innere von Gebäuden, abstrakt dar und setzen dabei die für Navigationsaufgaben relevanten Gebäudebestandteile miteinander in Verbindung. Sie können damit als ein besonderer Typ von Gebäudemodellen angesehen werden. Sie bilden die Grundlage für Indoor-Navigation und stellen ein umfassendes und detailliertes topografisches Raummodell dar, welches um spezifische, für eine Navigation wesentliche Informationen erweitert wurde. Zu den spezifischen Erweiterungen gehören Semantik und Hemmnisse, Hindernisse oder Barrieren [4]. Dabei bezeichnet

- *Semantik* eine Art Metainformation wie beispielsweise den gewünschte Nutzungszweck von Räumen, wie Büro, Flur oder Aufzug. Hierunter zählen auch spezielle Metainformationen zu komplexen Innenräumen, die unregelmäßige Formen, Freiräume, Nebenräume, komplizierte Hindernisse und verschiedene Arten von Verbindungen umfassen können (z. B. Treppen und Rolltreppen, große Hallen, lange schmale Korridore oder gar Sky Bridges) [28]. Innenräume können sogar ineinander geschachtelt sein (z. B. Besprechungsräume innerhalb von Großraumbüros in Bürokomplexen). Auch diese Information muss in Systemen zur Indoor-Navigation verfügbar sein.

Zusätzliche semantische Informationen zu Innenräumen (Kapazität, zugehörige Personen, usw.) [43] oder Gebäudeteilen (z.B. Etagenhöhen) müssen in einem Indoor-Navigationsmodell enthalten sein, sofern sie potentielle Anwendungsfälle unterstützen.

- *Hemmnisse, Hindernisse und Barrieren* bezeichnen Nutzungs- oder Zugangsbeschränkungen und beschreiben, ob und inwieweit ein Raum für verschiedene Fortbewegungsarten und Anwendungsfälle nutzbar ist. Normale Treppen haben z.B. die Einschränkung, nicht (ohne besondere Unterstützung) von Rollstuhlfahrern genutzt werden zu können, aber auch Räume können physische oder auch

organisatorische Beschränkungen aufweisen, die den Zugang einschränken oder gar verhindern.

Außerdem kann für die Innenraumnavigation auch eine dreidimensionale Modellierung eine Rolle spielen. So etwa bei komplexen unregelmäßigen Strukturen oder in Fällen, in denen vertikale Informationen für den jeweiligen Anwendungsfall berücksichtigt werden müssen (z.B. Höhe von Hindernissen, Bodenfreiheit) oder um eine Navigation von fliegenden Objekten, wie Drohnen zu ermöglichen [49]. Aus solchen dreidimensionalen Modellen kann gegebenenfalls auch automatisch eine beträchtliche Menge nützlicher Informationen extrahiert werden, z. B. die Neigung einer Rampe oder eine niedrige Decke [11]. Informationen dieser Art spielen allerdings nicht in allen Anwendungsfällen eine Rolle, so dass auch nicht für jeden Anwendungsfall 3D-Daten benötigt werden [49].

In Abgrenzung zu anderen Gebäudemodellen abstrahiert ein Indoor-Navigationsmodell von allen unnötigen Informationen, die für die Navigationsaufgabe nicht relevant sind. Ein gut entwickeltes Indoor-Navigationsmodell enthält entsprechend nur die Informationen zur Innenraumumgebung, die für die Durchführung von Navigationsaufgaben wichtig sind [28]. Schon dies erfordert das Speichern erheblich größerer Informationsmengen als eine einfache Karte [18]. Art und Umfang der gespeicherten Informationen hängen dabei von den Bedürfnissen der Benutzer ab. Während beispielsweise Personen mit Sehbehinderungen von detaillierten Informationen über die Öffnungsrichtung einer Tür profitieren können, kann es ebenso hilfreich sein, wenn Rettungskräfte die Position des Hauptgasventils im Gebäude oder ältere Menschen die Position von Bänken finden können [11]. Zur Erstellung von Indoor-Navigationssystemen ist es also von zentraler Bedeutung, auf ein geeignetes Datenmodell aufzusetzen, das die Geometrie, Topologie, Semantik und andere Kontextinformationen für Indoor-Umgebungen darstellt [28] und das auf die erwarteten Nutzergruppen ausgerichtet ist.

Modellierung für die Fußgängernavigation

Für die Modellierung des Innenraums definieren Mortari et al. [32] auf Basis von Afyouni et al. [1] und Li [27] zwei Hauptklassen von Modellierungsansätzen: symbolische und geometrische Raummodelle.

- *Symbolische Raummodelle* modellieren den Raum mittels topologischer Beziehungen oder Graphen, indem sie die Konnektivität und Erreichbarkeit zwischen räumlichen Einheiten erfassen.
- *Geometrische Raummodelle* modellieren den Raum kontinuierlich oder diskret.

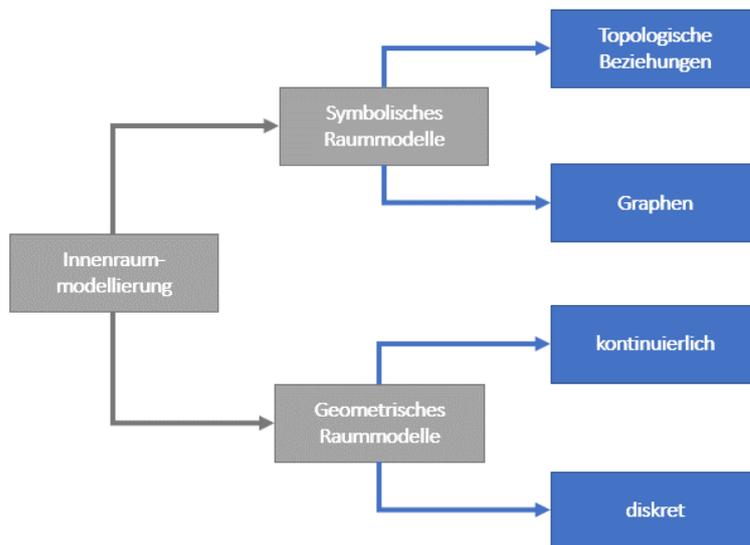


Abbildung 1: Modellierungsansätze für Innenräume in Gebäudemodellen

Um die Navigation zu ermöglichen, benötigt das Indoor-Navigationsmodell insbesondere ein Datenmodell für den navigierbaren Raum. Wie bereits bei der Navigation im Außenbereich sind in der Indoor-Fußgängernavigation Graphen-basierte Netzwerkmodelle die am häufigsten verwendeten Ansätze [32], [48], während in der Roboternavigation diskrete Rastermodelle vorherrschen [28]. Da sich diese Arbeit auf Fußgängernavigation fokussiert, werden im Folgenden die Netzwerkmodelle näher betrachtet.

Netzwerkmodelle basieren auf der Graphentheorie und bestehen im Allgemeinen aus Kanten und Knoten, wobei Kanten Wege und Knoten Kreuzungspunkte repräsentieren [42]. Im Falle eines Navigationsmodells für Innenräume treten Kanten zwischen Knoten nur auf, wenn eine physikalische Verbindung zwischen ihnen besteht [46].

Auch wenn in Innenräumen ein Netzwerk ähnlich zu dem eines Wegenetzes im Außenbereich modelliert wird, unterscheiden sich Innenräume erheblich von Außenräumen. Im Gegensatz zu Straßennetzen im Außenbereich, die in den meisten Fällen einfach strukturiert sind, können Wegenetze für Gebäude aufgrund unterschiedlicher Strukturen und Ebenen nicht standardisiert werden [9]. So sind in Innenräumen Wege weniger strukturiert als Wege im Außenbereich wie Straßen und Fahrspuren, wodurch es in Innenräumen eine größere Anzahl von Optionen gibt, um von einem Punkt zu einem anderen zu gelangen [49]. Navigationsnetzwerke für Innenräume müssen daher die Flexibilität aufweisen, sich an die Bedürfnisse und Aufgaben der Benutzer anzupassen [28].

Nach Liu [28] lassen sich Indoor-Netzwerkmodelle in zwei grundlegende Gruppen einteilen:

1. Netzwerke, die die geometrischen Formen von Gebäuden beibehalten. Die Länge der Pfade kann in diesen Netzwerken gemessen werden.

2. Netzwerke, die sich nur auf die Konnektivität von Gebäuden konzentrieren, also angeben, welche Gebäudeteile wie miteinander verbunden sind, ohne Entfernungen und Geometrien maßstabs- und formgerecht darzustellen.

Allerdings kommen auch Kombinationen der beiden oben genannten Typen in Hybridmodellen vor [28].

2.1.1.2 Unzulänglichkeiten klassischer Gebäudemodelle für die Indoor-Navigation

Wie bereits in Kapitel 2.1.1.1 beschrieben, enthalten Indoor-Navigationsmodelle für einen Gebäudekomplex unter anderem dessen topografische Rauminformationen (vgl. [2], [26]). Topografischen Rauminformationen liegen für viele Gebäude bereits in Form von klassischen Gebäudeplänen vor. Allerdings wurden diese zumeist zum Zwecke der Stadtplanung oder Gebäudemodellierung erfasst oder dienen lediglich als Unterstützung einer singulären Navigationsaufgabe [4] (z. B. „wo bin ich?“). Die Verwendung von Gebäudeplänen für die Indoor-Navigation wurde bei der Erstellung herkömmlicher Pläne in der Regel nicht berücksichtigt [18]. Dieser eingeschränkte Zweckhintergrund bei der Erstellung von verfügbaren Gebäudeplänen führt bei ihrer Verwendung für die Indoor-Navigation zu einer Reihe potenzieller Probleme, einschließlich einer unvollständigen oder inkonsistenten Erfassung der erforderlichen topografischen Raummerkmale für die Innenraumnavigation [4].

Die in klassischen Gebäudeplänen enthaltenen topografischen Rauminformationen müssen demnach für Systeme zur Indoor-Navigation erweitert werden. Entsprechend müssen Indoor-Navigationsmodelle beispielsweise nicht nur Grundkarten für Visualisierungszwecke enthalten, sondern gemäß Brown et al. auch eine Reihe von Attributdaten, wie Semantik und Hemmnisse, Hindernisse und Barrieren (siehe Kapitel 2.1.1.1).

Betrachtung verschiedener Formen von Gebäudemodellen

Des Weiteren liegen verfügbare Gebäudepläne im Allgemeinen nicht in standardisierten Formen und Formaten vor. So schreiben Mittlboeck et al., dass heute die meisten Universitäten, Krankenhäuser, Kongress- und Messezentren über eine Art „Campusplan“, eine „Campus Map“, einen „Lageplan“ oder ähnliches verfügen [31], es aber schon hier keine klare Definition gibt, wie diese Begriffe hinsichtlich Umsetzung, Funktionalität und Inhalt abgegrenzt werden können. Diese Aussage lässt sich vermutlich für die meisten komplexen Gebäude bzw. für größere Gebäudekomplexe – auch im Sinne von Bürogebäuden – verallgemeinern. Auch müssen die Gebäudepläne danach differenziert werden, ob sie digital oder analog vorliegen. So kann beispielsweise die Verwendung von

eingescannten CAD-Zeichnungen für die Mehrheit der Benutzer unlesbar sein und nur ein begrenzter Zoombereich kann sinnvoll dargestellt werden [18].

Auch wenn immer mehr Gebäude nicht nur anhand ihrer Außenhülle modelliert werden, sondern auch die Innenräume eine immer wichtigere Rolle spielen [23], lässt sich zusammenfassend feststellen, dass die heute im Allgemeinen zur Verfügung stehenden Gebäudepläne oder auch Gebäudemodelle nicht für die unmittelbare Verwendung in Systemen zur Indoor-Navigation geeignet sind. Dies gilt sogar für Gebäudemodelle, die auf der Grundlage bestehender semantischer Gebäudemodelle mit Innenraumdarstellung wie IFC oder CityGML LOD4 (siehe Abbildung 2) erstellt wurden. Denn auch diese wurden nicht speziell für die Navigation in Innenräumen konzipiert [28].



Abbildung 2: Die fünf LODs von CityGML 2.0 mit LOD4, das auch Innenräume modelliert [3]

All dies führt dazu, dass für die Verwendung in Indoor-Navigationssystemen Änderungen an bestehenden oder gar die Neuerfassung kartografischer Modelle von Gebäuden mit Hilfe von GIS-Methoden und der Theorie der kartografischen Darstellungen erforderlich sind [18]. So schreiben auch Brown et al., dass ein strukturierter Prozess entwickelt werden muss, um ein maßgeschneidertes Gebäudemodell zu entwickeln, das für die Verwendung in der Innennavigation geeignet ist [4].

Da Gebäudestrukturen häufig in CAD oder BIM dargestellt werden, ist eine Technik, die CAD- oder BIM-Darstellungen eines Gebäudes in ein Wegenetz des Gebäudes umwandeln kann, oftmals der grundlegende Ansatz in der Prozessentwicklung hin zur Innenraumnavigation [9].

Studien zeigen, dass die Verwendung eines Standards wie BIM dazu beitragen kann, den Übergang von der repräsentativen Ontologie von Gebäuden hin zur Implementierung zu erleichtern [9]. Aufgrund seiner Komplexität und des Fehlens topologischer Beziehungen ist es jedoch nicht möglich, dass BIM selbst als Indoor-Navigationsmodell verwendet wird [26]. Bestehende Methoden haben zudem Probleme, Funktionsbereiche des Innenraums in zweidimensionalen Grundrissen oder auch dreidimensionalen BIM-Daten zu ermitteln und zu extrahieren [36].

Auch Gebäudemodelle in Form von CAD-Daten müssen für die Verwendung für die Indoor-Navigation aufbereitet werden, schon deshalb, weil CAD-Pläne insbesondere der visuellen Darstellung dienen und entsprechend bei ihnen keine topologische Korrektheit angenommen werden kann. CAD-Daten werden jedoch in der Architektur häufig verwendet, wo sie eine geometrische Darstellung von Bauelementen bereitstellen, und werden damit zu einer wichtigen Datenquelle für Indoor-Navigationssysteme [26]. Abbildung 3 zeigt beispielhaft einen CAD-Plan mit verschiedenen architektonischen Elementen von Innenraumumgebungen wie Treppen, Wände und Türen.

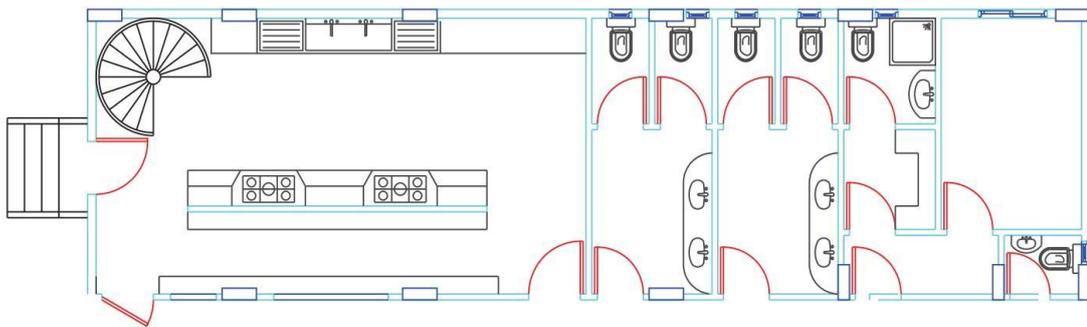


Abbildung 3: Beispiel eines CAD-Plans [1]

Liu [28] führt demgegenüber IndoorGML, einen neueren Standard des Open Geospatial Consortium (OGC), als einen guten Anfang an, um die Semantik von Innenräumen für die Navigation in Innenräumen zu strukturieren. Für diesen Standard wurden mittlerweile diverse Ansätze zur Indoor-Navigation entwickelt (vgl. [22], [30], [32], [37]). Es kann jedoch nicht davon ausgegangen werden, dass bereits Gebäudepläne auf der Grundlage dieses Standards vorliegen.

Zusammenfassend ist zu sagen, dass als erste Grundvoraussetzung für die Konzeption und Implementierung eines CRIS aus verfügbaren (klassischen) Gebäudeplänen oder -modellen zunächst mit Hilfe eines strukturierten Prozesses ein topografisches Raummodell erzeugt werden muss, das auch Semantik und Einschränkungen umfasst. Erst der so erzeugte topografische Raum repräsentiert dann die reale Innenumgebung von Gebäuden (und deren semantische Zerlegung in Gebäudeelemente) in einer Form, die für den Prozess der Indoor-Navigation notwendig ist.

Im folgenden Kapitel werden weitere notwendigen Aspekte eines CRIS für eine erfolgreiche Innenraumnavigation betrachtet.

2.1.2 Algorithmen zur Berechnung von Innenwegen

Für die Berechnung von geeigneten Wegen innerhalb eines Indoor-Navigationsmodells, stehen zahlreiche Algorithmen zur Verfügung, mit deren Hilfe jeweils optimal geeignete

Wege zwischen Start- und Zielpunkten berechnet werden können. Sie berücksichtigen sowohl die Modellierung des Raums als auch Kontext, Benutzertyp, Anwendungsfall usw. [46]. Verbreitete Algorithmen für die Routenplanung sind beispielsweise der Dijkstra-Algorithmus oder der heuristische A*-Algorithmus [11].

Eine Route kann mittels dieser Algorithmen hinsichtlich verschiedener Kriterien optimiert werden, wie etwa zur Minimierung der Entfernung, der für den Weg erforderlichen Zeit oder hinsichtlich eines anderen Kriteriums wie der Einfachheit des Weges. Hintergrund ist, dass eine intelligente Pfadplanungstechnik insbesondere die Anforderungen der Benutzer für die Berechnung des jeweils am besten geeigneten Weges berücksichtigen muss [11].

Tabelle 1: Mögliche Innenwege nach Zlatanova et al. [49]

Pfadtyp	Vorteil	Nachteil
Kürzeste Entfernung	Minimale Distanz	Wenn Hindernisse berücksichtigt werden, kann dies dazu führen, dass die Wegbeschreibung kompliziert ist
Kürzeste Dauer	Kürzeste geschätzte Wegzeit	Die Fortbewegungsgeschwindigkeit muss berücksichtigt werden
Einfachster Pfad	Minimales Abbiegen	Kann lange dauern / weit sein
Am wenigsten besuchter Raum	Geringste Anzahl an durchquerten Räumen	Kann lange dauern / weit sein
Am wenigsten behindert	Geringster Grad an Behinderungen/Hindernissen	Benötigt genaue Informationen zu (dynamischen) Hindernissen
Sicherster Pfad	Vermeidet bestimmte Areale	Kann lange dauern / weit sein
Strategisch (bestimmte Bereiche durchlaufen)	Bessere Performance bei der Wegführung hinsichtlich der Zeit, ähnlich zu Kürzeste Dauer	Möglicherweise nicht die kürzeste Route

Derzeit konzentriert sich die Forschung über Algorithmen zur Berechnung von Innenwegen aber noch auf geometrische Merkmale (Entfernung, Zeitaufwand und die geringste Anzahl an Abzweigungen) [28]. Die am häufigsten verwendeten Strategien sind also die kürzeste Entfernung und die kürzeste Dauer [49]. Der kürzeste Weg hat in Innenräumen jedoch nicht die gleiche Bedeutung wie in Außenräumen [28]. Vielmehr stehen hier bei der Pfadplanung die speziellen Bedürfnisse der Benutzer in Verbindung mit den in Innenräumen oft gegebenen Unsicherheiten bei der Lokalisierung im Vordergrund [11]. Entsprechend hat bei der Navigation in Innenräumen häufig weniger die Optimierung von Wegzeit und Distanz Priorität als vielmehr die Maximierung von

Benutzerfreundlichkeit und Erfolgsquote, also die Minimierung der Wahrscheinlichkeit, dass sich der Benutzer verläuft [11].

Bedürfnisse von Benutzern in Bürogebäuden

Spezielle Bedürfnisse von Benutzern, die bei der Navigation in Bürogebäuden von Bedeutung sind, sind beispielsweise die Berücksichtigung von räumlichen Ausmaßen von Wegen und Durchgängen, wie die Deckenhöhe oder die Breite von Türen. Dies ist zum einen im Kontext von Anlieferungen, wie Büromöbeln oder Serverschränken, relevant, aber auch für die Barrierefreiheit.

So ist beispielsweise nach den Technischen Regeln für Arbeitsstätten (ASR) eine barrierefreie Gestaltung der Arbeitsstätte gegeben, „wenn bauliche und sonstige Anlagen [...] für Beschäftigte mit Behinderungen in der allgemein üblichen Weise, ohne besondere Erschwernisse und grundsätzlich ohne fremde Hilfe zugänglich und nutzbar sind“ [5]. Für Beschäftigten, die einen Rollstuhl benutzen, ist gemäß ASR V3a.2 eine lichte Durchgangsbreite von Türen von mindestens 90 cm (siehe Abbildung 4) erforderlich und für Verkehrswege eine Mindestbreite zwischen 100 und 180 cm.

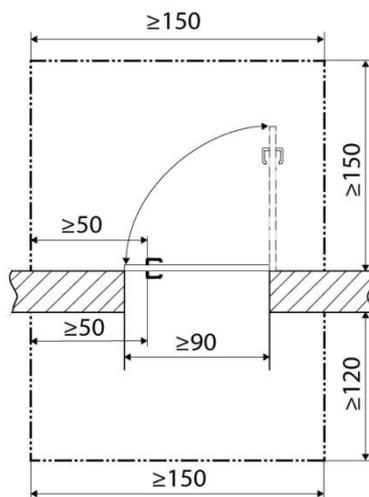


Abbildung 4: Barrierefreie Gestaltung von Türen entsprechend ASR V3a.2 [5]

Auch sollten für Beschäftigte, die einen Rollstuhl oder auch einen Rollator benutzen oder eine Fußhebeschwäche haben, Stufen und Treppen vermieden werden können. Ein weiteres Beispiel bezieht sich auf Besucher eines Bürogebäudes, denen es gegebenenfalls nicht gestattet ist, sich ohne Anmeldung im Gebäude zu bewegen, so dass der Zugang für noch nicht angemeldete Gäste zum Gebäude immer über den Empfang führen muss.

Des Weiteren kann der Zugang zu den Bürogebäuden oder einzelnen Raumbereichen beispielsweise auf die Mitarbeiter beschränkt sein oder sogar nur für bestimmte Mitarbeiter freigegeben sein. Der eingeschränkte Zugang zu diesen Orten (z. B. Tür nur mit

einer RFID-Karte passierbar) muss für die Routenberechnung entsprechend parametrisiert werden können [14].

Der eingesetzte Algorithmus zur Berechnung des Weges in Bürogebäuden muss solche Anforderungen berücksichtigen und Nutzer entsprechend ihren Bedürfnissen durch den Campus führen. Da ein Bürogebäude im Allgemeinen von verschiedenen Personengruppen besucht wird, die unterschiedliche Anforderungen an die Navigation haben, muss es sich bei den verwendeten Algorithmen zur Innenraumnavigation um ein flexibles System handeln, das es den verschiedenen Benutzern ermöglicht, spezifische Einstellungen gemäß ihren akuten Anforderungen festzulegen [11].

2.1.3 Positionierung und Lokalisierung

Positionierung und Lokalisierung bezeichnet die Bestimmung der sich ändernden Position eines Objekts (oder einer Person) in einem Bezugssystem [46]. Positionierung bezeichnet dabei die Änderung der Position eines Objekts und Lokalisierung (auch Ortung) die Bestimmung des Ortes des Objekts.

Zur Funktionalität eines Navigationssystems muss es laut Fallaha et al. gehören, den Benutzer beim Navigieren in der Umgebung zu orten und ihm zu folgen [11]. Dabei kann der jeweilige Standort nicht nur zum dynamischen Planen des Pfades, sondern auch zum Bereitstellen von Umgebungsinformationen verwendet werden [11].

Im Außenbereich können zur Positionierung und Lokalisierung globale Navigationssatellitensysteme (GNSS - Global Navigation Satellite Systems) genutzt werden, [48]. In Innenräumen ist das GNSS-Signal allerdings zu schwach, um eine dynamische Navigation innerhalb von Gebäuden zu ermöglichen [15], [18]. Zumindest wären aufwendig umzusetzende Erweiterungen nötig [8], [46]. Entsprechend müssen in Innenräumen andere Ortungstechnologien verwendet werden. Hier kommen in der Regel Sensoren zum Einsatz, um die Lokalisierung eines Benutzers im Kontext des topografischen Raums zu unterstützen [4]. Damit stehen auch in Innenräumen unterschiedliche Techniken zur Lokalisierung zur Verfügung.

Das Thema Positionierung und Lokalisierung spielt insbesondere bei der dynamischen Navigation, mit Hilfe derer der Weg zum Ziel immer vom aktuellen Standort dynamisch (neu)berechnet wird, eine hervorgehobene Rolle.

Für die Indoor-Navigation ist eine dynamische Navigation nicht zwingend erforderlich. So kann auch ein statisches Indoor-Routing ohne dynamischen Navigation bereits sinnvoll eingesetzt werden [9]. In diesem Fall werden Start- und Zielpunkte manuell vom Nutzer ausgewählt und somit eine sehr einfache Form der Lokalisierung bereitgestellt.

Kapaj [25] kommt sogar zum Schluss, dass Benutzer in Innenräumen auch ohne die Hilfe von Positionierungstechniken für Innenräume navigieren können, indem der Benutzer strukturelle Merkmale (Türen, Wände, Treppen usw.) zur Orientierung nutzt, um sein Ziel zu erreichen.

Vor dem Hintergrund, dass

- Bürogebäude heutzutage nicht mit der zur Positionierung und Lokalisierung erforderlichen Infrastruktur ausgestattet sind
- deren Nachrüstung auch Fragen zur Wirtschaftlichkeit von Indoor-Navigation aufwirft, die im Rahmen dieser Arbeit nicht behandelt werden können,
- und gemäß Kapaj Systeme zur Indoor-Navigation auch ohne dynamische Navigation sinnvoll eingesetzt werden können

werden die Bereiche Positionierung und Lokalisierung sowie dynamische Navigation in Bürogebäuden im Rahmen dieser Arbeit nicht weiter dargestellt und untersucht. Stattdessen beschränkt sich diese Arbeit in diesem Kontext auf die Mechanismen der menschlichen räumlichen Wahrnehmung und Orientierung.

2.1.4 Menschliche räumliche Wahrnehmung und Orientierung

Insbesondere bei Systemen zur Indoor-Navigation ohne automatisierte Positionierung und Lokalisierung spielt die räumliche Wahrnehmung und Orientierung im Zusammenhang mit der Navigation eine wichtige Rolle. Eine aufkommende Sichtweise der Navigation von Menschen ist, dass es zwei verschiedene Mittel gibt, um Position und Ausrichtung zu verfolgen [16]:

- Orientierungspunkt-basierte Navigation
- Pfadintegration

Im Allgemeinen erfolgt die Navigation des Menschen in Innen- und Außenbereichen durch Messen des Abstands und der Ausrichtung in Bezug auf einen oder mehrere Referenzpunkte [11] und damit mittels *Orientierungspunkt-basierter* Navigation. Dabei liefern visuelle, akustische, haptische und olfaktorische Orientierungspunkte direkte sensorische Informationen über die aktuelle Position und Orientierung, häufig in Verbindung mit einer externen Karte oder auch einer kognitiven Karte [29], welche sich Kopf entwickelt. Orientierungspunkte zeichnen sich dadurch aus, dass sie im speziellen Kontext der Wegfindung unverwechselbar, erkennbar und einprägsam sind [48].

Bei der *Pfadintegration* wird demgegenüber die eigene Bewegung erfasst, um die aktuelle Position und Orientierung relativ zu einem Startpunkt zu aktualisieren [29].

Insbesondere in unübersichtlichen Bürogebäuden-Komplexen ohne automatisierte Positionierung und Lokalisierung wird im Allgemeinen die menschliche Orientierungspunkt-basierte Navigation im Vordergrund stehen. Entsprechend sind hier bei der Gestaltung von Systemen zur Indoor-Navigation vor allem die Möglichkeiten und Grenzen von menschlicher Orientierung anhand von Orientierungspunkten zu berücksichtigen. Dies kann beispielsweise erfolgen, indem Systeme zur Indoor-Navigation

- Pfade entlang leicht identifizierbarer Orientierungspunkte, wie z.B. Durchgängen und Türen, planen,
- bei der Pfadgenerierung große offene Innenräume ohne markante Orientierungspunkte (insbesondere für Benutzer mit Sehbehinderungen) meiden, und
- Benutzer mit Sehbehinderungen stattdessen soweit wie möglich entlang von Wänden mit taktilen Orientierungspunkten führen.

Abbildung 5 nach Fallaha et al. stellt dazu beispielhaft einen kurzen, aber unsicheren Pfad einem längeren, aber sichereren Pfad entlang leicht identifizierbarer Orientierungspunkte gegenüber.

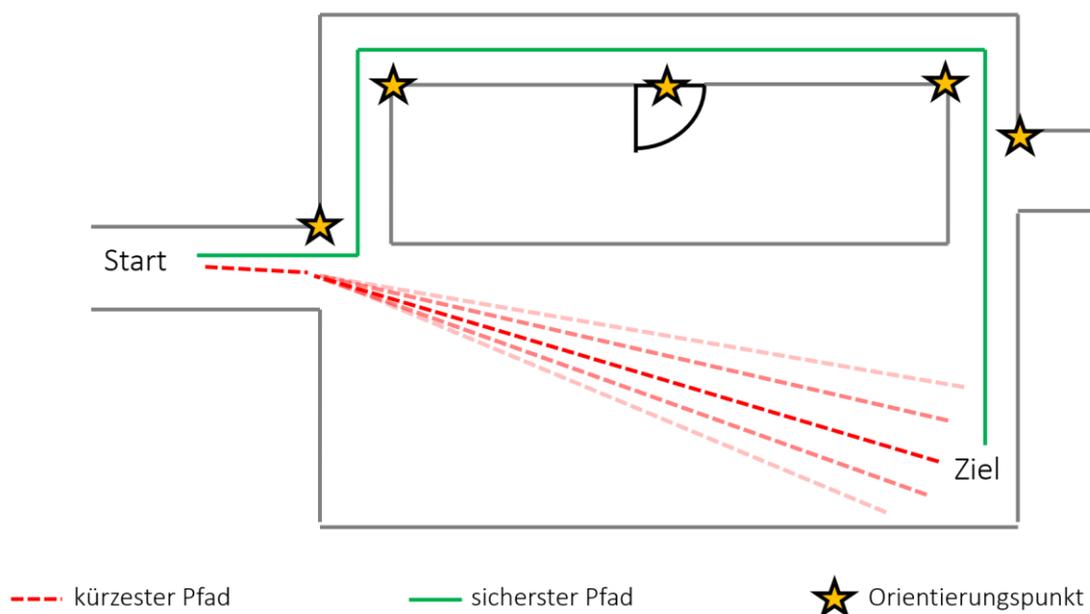


Abbildung 5: Kürzester Pfad mit Unsicherheit im Vergleich zum sichersten Pfad entlang von Wegpunkten nach [11]

Der kürzeste Pfad führt in diesem Beispiel quer durch einen großen, leeren Raum ohne Orientierungspunkte, so dass der Benutzer leicht von der gewünschten Richtung abkommen kann und das Ziel verfehlt. Der sichere Pfad führt immer an einer Wand entlang. Orientierungspunkte erleichtern dabei die Wegfindung zusätzlich.

2.1.5 Anweisungen für die Wegführung in Innenräumen

Um den Benutzer auf dem für ihn berechneten optimalen Pfad vom Stand- bzw. Startort zum Zielort zu leiten, wird der Pfad in eine Reihe von sequenziellen Anweisungen konvertiert, die dann dem Benutzer zur Verfügung gestellt werden. Die drei Haupttechniken zum Bereitstellen dieser Anweisungen für den Benutzer können unterschieden werden in visuelle, akustische, haptische Anweisungen [11].

Displays als Benutzerschnittstelle

Während akustische und haptische Anweisungen bei der Fußgängernavigation lediglich eine geringere Rolle spielen, ist gebräuchlichste Technik zum Bereitstellen von Anweisungen laut Fallaha et al. die visuelle Darstellung von Karteninformationen und Anweisungen mit Hilfe eines Displays [11]. Aufgrund der weitgehenden Verfügbarkeit von mobilen Geräten (auch und besonders bei Besuchern von Bürogebäuden) bieten sich Displays als Maschine-Mensch-Schnittstelle zwischen Systemen zur Indoor-Navigation und Benutzern an. Zumal diese Interaktion zwischen Mensch und Gerät sich auch auf die Ergebnisse der Erforschung der menschlichen räumlichen Wahrnehmung und Sprache sowie auf die Bereitstellung visueller Hilfsmittel wie Karten auf Mobilgeräten stützen kann [46].

Das Display von mobilen Geräten bietet dabei zahlreiche Vorteile. So können der Karte Informationen zu Orientierungspunkten entlang des Pfades hinzugefügt werden, die verwendet werden können, um dem Benutzer präzise und nachvollziehbare Anweisungen zu geben [11]. Abhängig von der Vorgehensweise des Systems können diese Informationen Grundrisse, die Position und Beschreibung von Objekten, Positionen von Kennzeichnungsschildern oder mit Sensoren erfasste Daten umfassen [11]. Allerdings sind Informationen, aus denen sich Orientierungspunkte ableiten lassen, wie visuelle, semantische und strukturelle Eigenschaften einzelner räumlicher Objekte, die für Außenumgebungen häufig beispielsweise in Form von georeferenzierten Bildern oder digitalen Katasterkarten verfügbar sind, normalerweise nicht für räumliche Objekte in Innenräumen verfügbar oder schwer zu erhalten [13]. Sie müssen daher im Allgemeinen manuell dem Indoor-Navigationsmodell hinzugefügt werden.

Bei der Verwendung eines Displays als Mensch-Maschine-Schnittstelle im Bereich Indoor-Navigation ist darüber hinaus folgendes zu beachten:

- Grundsätzlich kann die Interaktion mit einem Display die Sicherheit beeinträchtigen. So kann die Konzentration z.B. auf ein Smartphone Display während des Gehens mit einem gewissen Unfallrisiko verbunden sein [40]. Außerdem kann

die zusätzliche Verwendung von Sprache in lauten Umgebungen (z. B. einem Flughafen oder Theater) schwierig sein [11]. In Bürogebäuden ist es jedoch meist nicht laut und die Umgebung ist in der Regel relativ sicher, so dass hier zunächst keine Einschränkungen zu erwarten sind, allerdings könnte hier eine Audioausgabe in ruhigen Büroräumen als störend wahrgenommen werden. Durch die allgemeine Vertrautheit im Umgang mit Smartphones von typischen Nutzern in Bürogebäuden, scheint diese Methode dennoch als Mensch-Maschine-Schnittstelle zur Innenraumnavigation in Bürogebäuden geeignet zu sein.

- Etwas anders liegt der Fall bei Benutzern, die ein Display oder Audiosignale aufgrund einer sensorischen Beeinträchtigung nicht verwenden können [11]. Hier müssen geeignete Formen der Kommunikation zwischen Systemen zur Indoor-Navigation gefunden werden, die auch für Menschen mit Beeinträchtigungen erfolgreich verwendet werden können. Dieser Sonderfall wird in dieser Arbeit allerdings nicht näher betrachtet.

Ausgestaltung und Darstellung der Anweisungen

Von besonderer Bedeutung für die Qualität der Mensch-Maschine-Schnittstelle eines Systems zur Indoor-Navigation ist – unabhängig von der Form der physikalischen Schnittstelle – auch die Gestaltung der Anweisungen. So können komplexe und mithin schwer verständliche Anweisungen den Benutzer über Gebühr ablenken und seine kognitive Belastung erheblich negativ beeinflussen, seine Merkfähigkeit überstrapazieren und ihn entsprechend überfordern. Andererseits sind zu viele kürzere Anweisungen möglicherweise auch nicht effizient [11].

Ganz besondere Anforderungen werden an die Gestaltung der Benutzeroberfläche von Systemen zur Indoor-Navigation in komplexeren mehrstöckigen Gebäuden wie Flughäfen, Museen, Konzertsälen, Einkaufszentren oder eben auch komplexen, mit modernen architektonischen Möglichkeiten konstruierten Bürogebäuden gestellt. Eine pragmatische und benutzerfreundliche Darstellung vieler Stockwerke in einem einzigen Gebäude ist nach der gegenwärtigen kartographischen Erfahrung noch schwierig. Hier können einfache, geschichtete 2D-Grundrisse Verwirrung stiften und zu Fehlinterpretationen führen [49]. Abbildung 6 zeigt als Beispiel das Mercedes-Benz-Museum in Stuttgart. Das Gebäude ist spiralförmig aufgebaut, so dass es schwierig ist, (zweidimensionale) Etagen zu definieren.

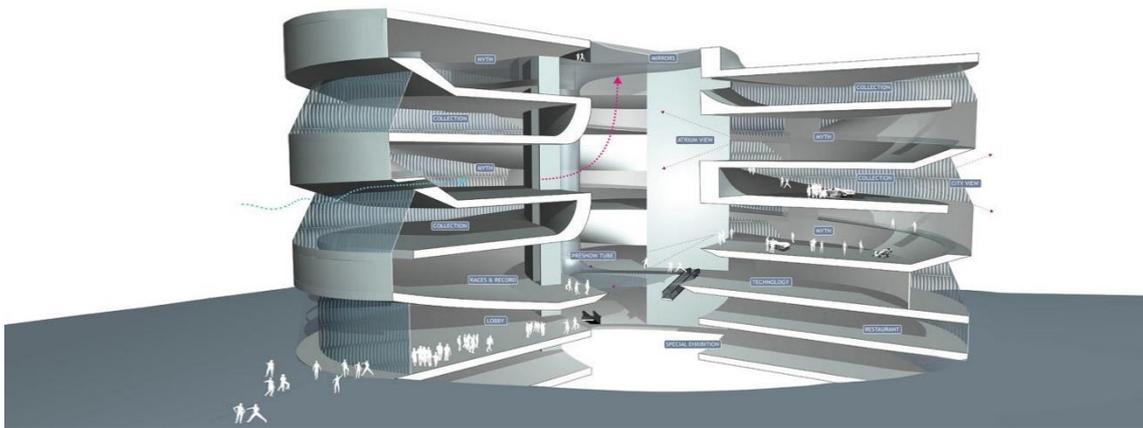


Abbildung 6: Mercedes-Benz-Museum, Stuttgart¹

Die Darstellung komplexer, mehrstöckiger Gebäude wird zusätzlich durch Räume erschwert, die vertikal über Ebenen bestimmter Stockwerke hinausgehen, wie Zwischengeschosse, Innenhöfe, Atrien, Treppenhäuser, Verbinder oder Terrassen. Solche Strukturen spielen auch in Bürogebäuden eine Rolle (siehe Abbildung 7). Dies wirft eine Reihe von Fragen auf, die sich nicht nur auf 2D-, sondern auch auf 3D-Geovisualisierung beziehen [18].



Abbildung 7: Komplexe Architektur in der Firmenzentrale der Otto GmbH & Co KG²

Zusammenfassend ist also zu sagen, dass in Bezug auf die Interaktion zwischen System und Benutzer ein System zur Indoor-Navigation die Fähigkeiten und besonderen

¹ <https://www.mercedes-benz.com/en/classic/museum/exhibition/>

² <https://www.otto.de/unternehmen/de/news-presse/otto-investiert-in-plattform-baut-neue-firmenzentrale-und-waechst-weiter>

Bedürfnisse des Benutzers berücksichtigen und sowohl die kognitive Belastung als auch Störungen durch die Umgebung weitestgehend minimieren muss [11].

Dabei sind insbesondere neue Arten von Visualisierungen erforderlich, um Daten komplexer Gebäude zusammen mit Routing-Informationen zu verwenden [23]. Es bleibt eine Herausforderung für Kartografen, Systeme zur Indoor-Navigation zu entwerfen, die die Navigation der Benutzer in komplexen Innenräumen erleichtert [25]. Trotz ihrer Bedeutung befindet sich beispielsweise selbst die Forschung zur automatischen Erstellung von Routenanweisungen basierend auf Orientierungspunkten hier noch in einem frühen Entwicklungsstadium [13].

2.2 Campus-Routing-Informationssystem

Nachdem nun die Indoor-Navigation ausführlich diskutiert wurde, wird in diesem Kapitel dieses Konzept auf das Campus-Routing-Informationssystem (CRIS) übertragen. Hierzu wird insbesondere darauf eingegangen, wie der Begriff Campus in diesem Zusammenhang genutzt wird.

2.2.1 Begriffsklärung

Gebäudemodelle werden oftmals losgelöst von ihrer Umgebung als „Insellösungen“ behandelt [31]. Dieses Konzept stößt an seine Grenzen, wenn man eine Navigationslösung über mehrere zusammengehörige Gebäude, also über einen so genannten Campus hinweg, realisieren möchte. Ursprünglich nur im Rahmen von Universitäten oder Forschungseinrichtungen benutzt, wird der Begriff Campus heute weiter gefasst und wird zunehmend auch ganz allgemein für die Bezeichnung eines zusammengehörenden Komplexes mehrerer Gebäude und dem dazugehörenden Gelände verwendet [31].

Campus bezeichnen heute also aus verschiedenen Gebäuden bestehende Komplexe nicht nur von Universitäten und Forschungseinrichtungen, sondern auch beispielsweise von öffentlichen Verwaltungen, Krankenhäusern oder auch privaten Unternehmen. Ein Beispiel für einen Firmencampus bietet der Campus der Zentrale der Otto GmbH & Co KG in Hamburg (Abbildung 8).



Abbildung 8: Firmencampus der Otto GmbH & Co KG³

Wilkening et al. definieren entsprechend ein Campus-Routing-Informationssystem als ein System, „das verschiedene Benutzergruppen bei der Navigation in komplexen Innenräumen unterstützt“ [43]. Auf Basis des Begriffs Campus, der wie oben beschrieben mehrere, nicht notwendigerweise miteinander verbundene Gebäude umfassen kann und auch das zwischen- und umliegende Gelände mit einbezieht, wird allerdings klar, dass ein Campus-Routing-Informationssystem zum einen alle in Kapitel 2.1 genannten Spezifika eines einfachen Indoor-Navigationssystems aufweisen muss. Zum anderen muss es neben der Navigation in Innenräumen einzelner Gebäude aber auch die Wegfindung zwischen den einzelnen Gebäuden eines Campus unterstützen.

2.2.2 Anwendungsbeispiel: Campus Röntgenring der FHWS

Ein öffentlich verfügbares, konkretes Anwendungsbeispiel für ein CRIS, ist das webbasiertes Campus-Informationssystem des Campus Röntgenring⁴, das durch den Studienbereich Geo der Hochschule für angewandte Wissenschaft Würzburg-Schweinfurt (FHWS) im universitären Umfeld entwickelt wurde [44].

Der Campus besteht aus fünf Gebäudeteilen, die strukturell miteinander verbunden sind und jeweils eine unterschiedliche Anzahl von Etagen besitzen. Es existieren mehrere Treppen und Aufzüge, die diese Etagen miteinander verknüpfen. Der Campus kann sowohl über öffentliche als auch nicht öffentliche Eingänge betreten werden. Für die nicht öffentlichen Eingänge sind entsprechende Berechtigungen erforderlich.

³ <https://www.otto.de/unternehmen/de/news-presse/otto-investiert-in-plattform-baut-neue-firmenzentrale-und-waechst-weiter>

⁴ http://gis.fhws.de/campus/campus_roeri_3D.html

Das so realisierte Campus-Routing-Informationssystem bietet die Möglichkeit nach Zieladressen (Personen oder Räumen) zu suchen und stellt einen interaktiven 3D-Routenplaner bereit, mit dem statische Routen durch die Gebäude beziehungsweise über den umliegenden Außenbereich berechnet werden können. Dabei wird die Möglichkeit geboten, bei der Routenberechnungen verschiedene Parameter anzupassen. So ist es möglich, Aufzüge und Treppen zu vermeiden, Wege innerhalb der Gebäude und Verkehrsflächen wie Flure zu bevorzugen und es kann der beschränkte Zugang von nicht öffentlichen Wegen berücksichtigt werden.

Abbildung 9 zeigt exemplarisch eine berechnete Route vom Erdgeschoss in die 5. Etage eines angrenzenden Gebäudes. Dabei wurde angegeben, dass Aufzüge vermieden und Wege im Gebäude sowie Verkehrsflächen bevorzugt werden sollen. Außerdem werden beschränkte Zugänge berücksichtigt.

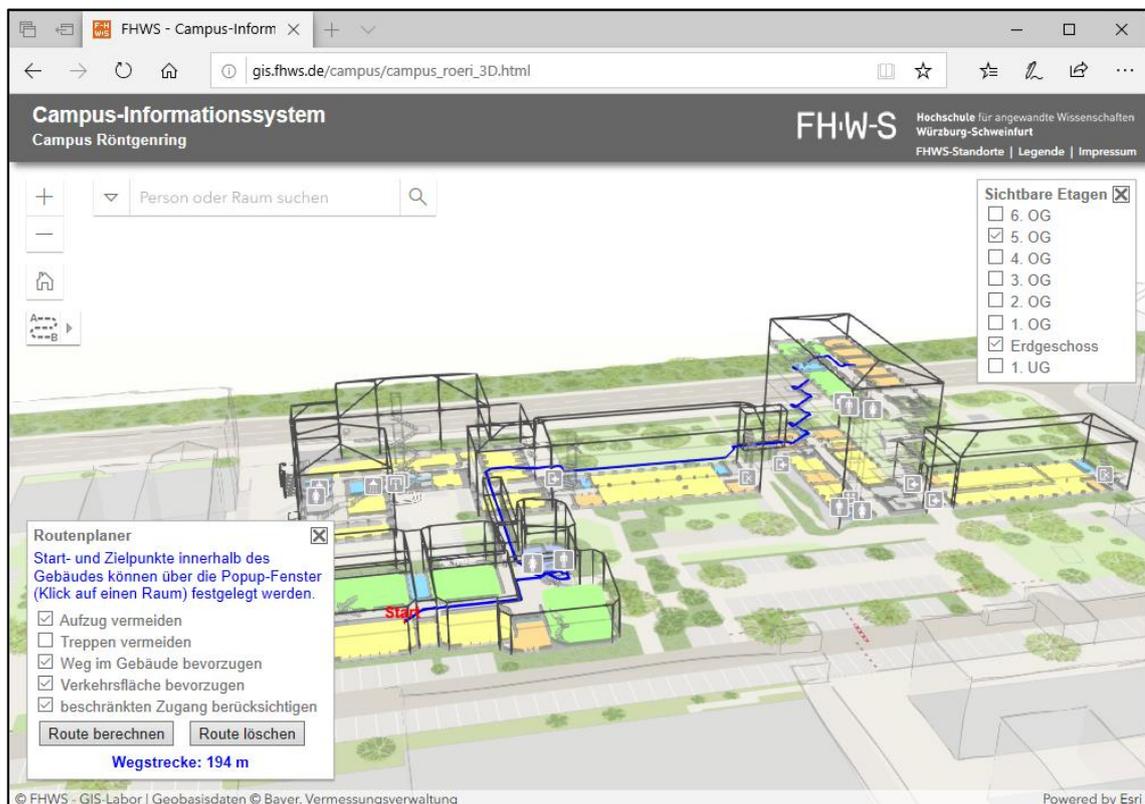


Abbildung 9: Campus-Informationssystem für den Campus Röntgenring der FHWS [44]

2.3 Werkzeuge zur Innenraumnavigation

Wie bereits in Kapitel 2.1.1.2 erläutert wurde, kann die herkömmliche Art der Darstellung von Indoor-Gebäudemodellen bzw. Gebäudeplänen die Anforderungen von Navigationsanwendungen nicht erfüllen, da sie nicht für solche Zwecke konzipiert wurden.

Es bedarf also spezieller Werkzeuge, um Gebäudemodelle speziell für die Innentraumnavigation zu erstellen.

Entsprechend wurden bereits von verschiedenen Forschungseinrichtungen und kommerziellen Herstellern solche Werkzeuge entwickelt. Sie verfolgen verschiedene Ansätze und unterscheiden sich in Zielsetzung, Funktionalität, Bedienung und Marktreife. Daher ist es schwierig, einen strukturierten und vollständigen Überblick über am Markt verfügbare Werkzeuge zur Innenraumnavigation zu geben, zumal es schon nicht trivial ist, diese Werkzeuge zu kategorisieren und abzugrenzen. Auch wäre eine solche Darstellung hinsichtlich der Fragestellungen der vorliegenden Arbeit nicht zielführend. Daher wird im Folgenden nur qualitativ und beispielhaft auf die im diesem fachlichen Umfeld tätigen Hersteller und die von ihnen realisierten Werkzeuge zur Innenraumnavigation verwiesen:

Verschiedenste wissenschaftliche Einrichtungen und kommerzielle Unternehmen, wie zum Beispiel das Fraunhofer Institut für Offene Kommunikationssysteme (FOKUS)⁵ oder die Firmen Esri⁶, HERE⁷, IndoorAtlas⁸, Infsoft⁹, mapspeople¹⁰, NavVis¹¹ und Wifarer¹², bieten speziell auf Innenraumnavigation ausgerichtete Werkzeuge an. Zudem beschrieben bereits 2015 Pereira et al. [38], wie ein System zur Innenraumnavigation allein mit Open Source Werkzeugen wie PostGIS¹³ und Geo Server¹⁴ erstellt werden kann.

Auch haben mittlerweile Unternehmen wie Google¹⁵ und Apple¹⁶ damit begonnen, genaue Karten für Innenräume in ihren Web Mapping Services bereitzustellen. Google Indoor Maps beispielsweise wird bereits vor allem von Einkaufszentren zur räumlichen Darstellung ihrer Geschäfte genutzt [31]. Auch sind dort schon erste Ansätze für eine Innenraumnavigation erkennbar (siehe Abbildung 10).

⁵ <https://www.fokus.fraunhofer.de/go/indoor-navigation/>

⁶ <https://www.esri.com/en-us/arcgis/products/arcgis-indoors/>

⁷ <https://indoor.here.com/>

⁸ <https://www.indooratlas.com/>

⁹ <https://www.infsoft.com/de/>

¹⁰ <https://www.mapspeople.com/>

¹¹ <https://www.navvis.com/>

¹² <http://www.wifarer.com/>

¹³ <https://postgis.net/>

¹⁴ <http://geoserver.org/>

¹⁵ <https://www.google.com/maps/about/partners/indoormap/>

¹⁶ <https://www.apple.com/ios/maps/>

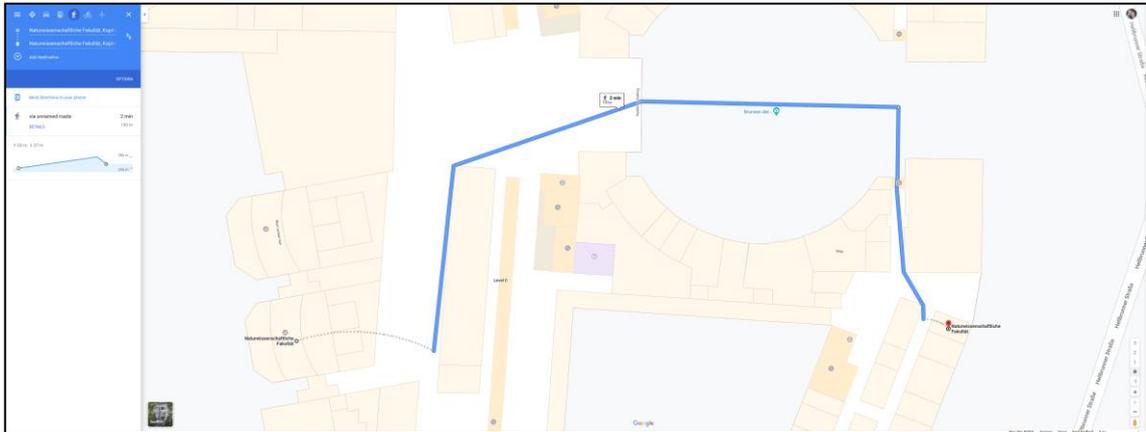


Abbildung 10: Innenraumnavigation mit Google Maps im Gebäude der Naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Salzburg

Für ein CRIS für Bürogebäude eignen sich solche Web Mapping Services, wie Google und Apple sie aktuell anbieten, jedoch nur bedingt, also etwa nur für diejenigen Bereiche der Bürogebäude, die öffentlich eingesehen werden dürfen.

3 Methodik

In diesem Kapitel wird der methodische Rahmen dieser Arbeit erläutert.

In Kapitel 3.1 wird zunächst die von Wilkening et al. entworfene Methodik zur Erstellung eines Campus-Routing-Informationssystems vorgestellt, die ab Kapitel 4 im Rahmen einer Fallstudie hinsichtlich der in Kapitel 1.3 aufgeworfenen Fragestellungen überprüft wird.

In Kapitel 3.2 wird anschließend auf die in der Fallstudie verwendeten Werkzeuge eingegangen und das damit verbundene Indoor-Navigationsmodell, wie es auch in der Methodik von Wilkening et al. verwendet wird, vorgestellt und hinsichtlich seiner Eignung für Bürokomplexe evaluiert.

In den folgenden Kapiteln 3.3 bis 3.6 werden die Einzelschritte der Methodik von Wilkening et al. im Detail vor dem in Kapitel 2 vorgestellten theoretischen Hintergrund diskutiert und die Übertragbarkeit auf Bürokomplexe überprüft. Die so in den neuen Kontext übertragene Methodik bildet die Ausgangsbasis der sich anschließenden Fallstudie.

3.1 Workflow zur Erstellung eines CRIS nach Wilkening et al.

Um den Anwendungsbereich von GIS auf den Innenraum auszudehnen und integrierte Dienste wie die Navigation anzubieten, ist es erforderlich, neue Methoden, Datenmodelle und Anwendungen für den Innenraum zu etablieren [27]. Dies gilt auch für die Übertragung von Systemen zur Navigation im Außenbereich auf Campusbereiche mit Innenräumen. So sind verschiedene, spezifische Schritte erforderlich, um vorhandene Rohdaten (z. B. CAD-Daten der Gebäude) mit Hilfe geeigneter Methoden und Werkzeuge in ein Campus-Routing-Informationssystem umzuwandeln. Denn durch die im Allgemeinen verschachtelte und geschlossene Struktur eines Gebäudes, die sich von der typischen Außenumgebung unterscheidet, ist es laut Krisp et al. unmöglich, dafür die für die Navigation im Außenbereich entwickelten Datenmodellierungsmethoden zu verwenden [26].

Wilkening et al. [43] entwarfen daher im Jahr 2019 eine auf Innenraumumgebungen angepasste Methodik für einen Workflow zur Transformation von Rohdaten in Form von CAD-Gebäudeplänen bis hin zum fertigen CRIS und evaluierten diese Methodik im Rahmen einer Fallstudie für einen Teilbereich des Universitätscampus der Technischen Universität München.

Die grundlegenden Arbeitsschritte dieses Workflows werden dabei in vier Hauptgruppen eingeteilt:

1. Datenvorverarbeitung
2. Datenverarbeitung
3. Webanwendung
4. Evaluierung

Abbildung 11 veranschaulicht den Ablauf des Workflows: Zunächst werden im Rahmen der *Datenvorverarbeitung* verfügbare konventionelle Gebäudepläne aufbereitet, um sie anschließend in der *Datenverarbeitung* so weit zu bearbeiten, dass sie in eine *Webanwendung* zur Innenraumnavigation eingebunden werden können. Als letzter Schritt wird das so erstellte System im Rahmen einer *Evaluation* geprüft, bevor es als CRIS veröffentlicht und Benutzern zur Anwendung bereitgestellt wird.

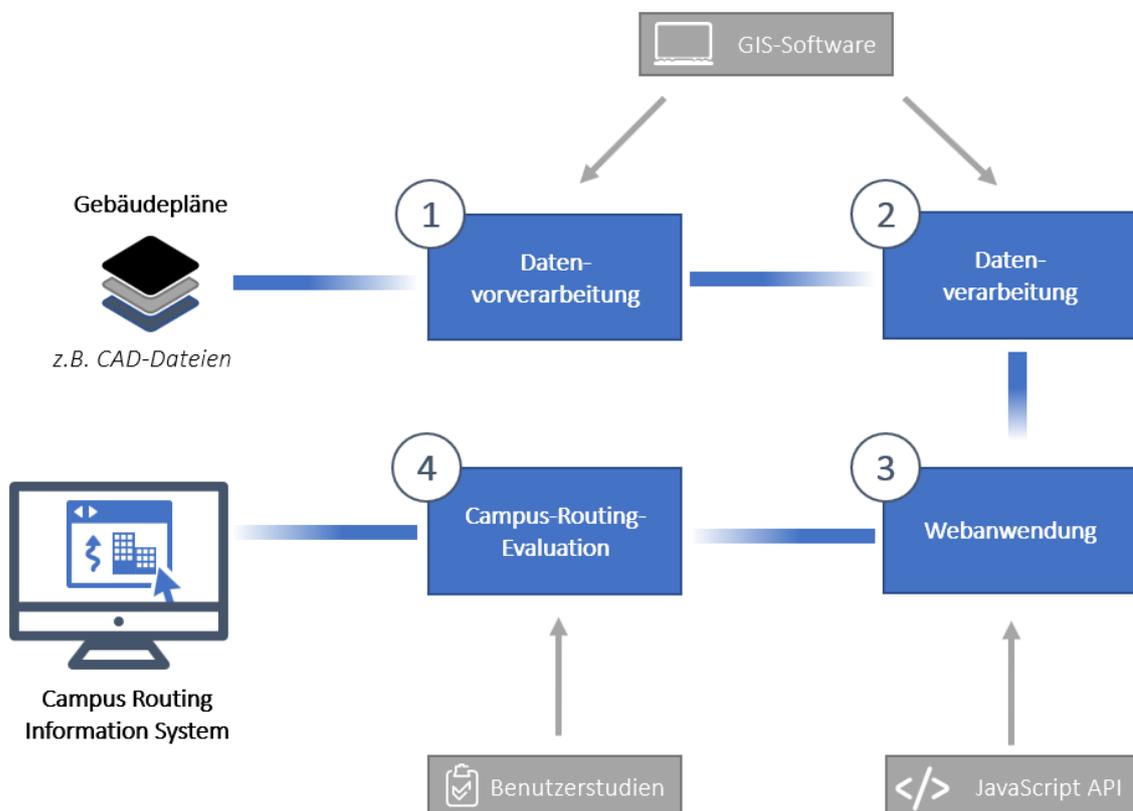


Abbildung 11: Schritte zum Entwurf eines Campus Routing Information System (CRIS) basierend auf Wilkening et al. [43]

Die vier Hauptgruppen des Workflows werden durch Wilkening et al. jeweils in mehrere Prozessschritte untergliedert (siehe Tabelle 2), auf die in den Kapiteln 3.3 bis 3.6 näher eingegangen wird.

Tabelle 2: Workflow und Prozesse nach Wilkening et al. [43]

Workflow	Prozess
Datenvorverarbeitung	Generalisierung & Sichtung der CAD-Dateien (siehe Kapitel 3.3.1 und 3.3.2)
	Generierung neuer CAD-Dateien (siehe Kapitel 3.3.3)
	Projektion (siehe Kapitel 3.3.4)
Datenverarbeitung	Erstellung und Veröffentlichung einer Campus-Grundkarte (siehe Kapitel 3.4.1)
	Erstellen von Gebäudeinnenräumen (siehe Kapitel 3.4.2)
	Erstellung einer Campus-Szene (siehe Kapitel 3.4.3)
	Erstellung und Veröffentlichung eines Campus-Netzwerks (siehe Kapitel 3.4.4)
	Veröffentlichung der Campus Szene und eines Locator Layers (siehe Kapitel 3.4.5)
Webanwendung	Einrichten und Konfigurieren der 3D-Campus-Anwendung (siehe Kapitel 3.5)
Evaluierung	Erste Evaluierung: Design und Visualisierung (siehe Kapitel 3.6)
	Zweite Evaluierung: Benutzerfreundlichkeit und Nutzen (siehe Kapitel 3.6)

Diese Methode wurde zwar im Rahmen eines CRIS für einen universitären Campus entworfen und evaluiert, sie sollte gemäß Wilkening et al. aber problemlos auf jeden anderen Gebäudekomplex übertragen werden können [43].

Die vorliegende Arbeit setzt auf dieser von Wilkening et al. entwickelten Methodik und dem oben genannten Workflow auf, überträgt diese in den Kontext Bürokomplexe und untersucht mit Hilfe einer Fallstudie für einen ausgewählten Campus aus Bürogebäuden, ob und inwieweit diese Methodik tatsächlich für die Erstellung eines CRIS für Bürokomplexe geeignet sind.

3.2 Werkzeuge und Datenmodell

In diesem Kapitel werden die Werkzeuge vorgestellt, die im Rahmen dieser Arbeit verwendet wurden. Außerdem wird das der Methodik von Wilkening et al. zugrunde liegende Indoor-Navigationsmodell eingeführt und hinsichtlich seiner Eignung für Bürogebäude bewertet.

3.2.1 AutoCAD

Für den für die Fallstudie ausgewählten Bürokomplex lag ein Gebäudemodell in Form von CAD Daten vor. Für den in Kapitel 3.3 beschriebenen Prozess der Datenvorverarbeitung wurde das Tool AutoCAD 2020 eingesetzt. Diese Software zur Verarbeitung von CAD-Daten ist Teil der CAD-Produktpalette der Firma Autodesk.

Im Rahmen dieser Arbeit wurden die im DWG-Format vorliegenden CAD-Daten des ausgewählten Bürokomplexes mit AutoCAD aufbereitet. Bei DWG™ handelt es sich um ein proprietäres Binärdateiformat zum Speichern von zwei- und dreidimensionalen Konstruktionsdaten und Metadaten [35].

Die Aufbereitung der CAD-Daten mittels AutoCAD 2020 umfasste fast sämtliche Schritte der Datenvorverarbeitung von der Sichtung der CAD-Dateien bis einschließlich der topologischen Korrekturen. Lediglich die Projektion (siehe Kapitel 3.3.4), die gemäß Wilkening et al. ebenso noch der Datenvorverarbeitung zuzuordnen ist, erfolgt nicht in AutoCAD.

In Abbildung 12 wird skizziert, wie die im DWG-Format vorliegenden Quelldaten mit AutoCAD aufbereitet wurden, um anschließend als aufbereitete CAD-Gebäudepläne für einen Import im Zuge der weiteren Workflow-Schritte zur Verfügung zu stehen.

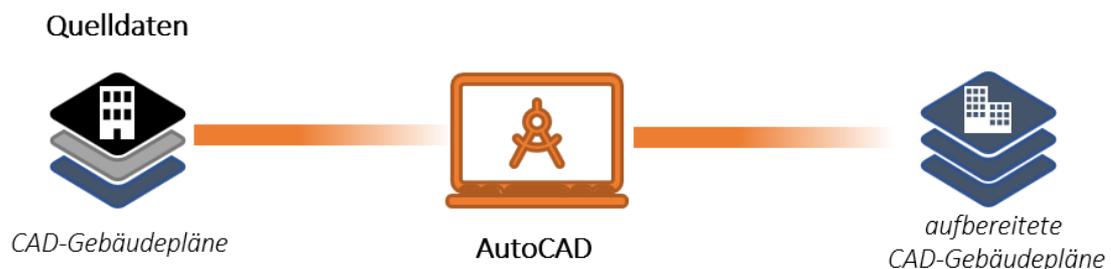


Abbildung 12: Datenvorverarbeitung der verfügbaren CAD-Daten mit AutoCAD

3.2.2 ArcGIS Indoors

Für die Fallstudie in dieser Arbeit wurde für die nachfolgenden Workflow-Schritte das Werkzeug ArcGIS Indoors verwendet, welches auf der ArcGIS Plattform der Firma Esri basiert, da auch Wilkening et al. zur Entwicklung ihrer Methodik zur Erstellung eines CRIS auf diesem Werkzeug und dieser Plattform aufgesetzt haben.

Bei **ArcGIS Indoors** handelt es sich um ein Indoor-Mapping-Produkt, welches eine Lösung für Innenraumnavigation anbietet und auch verschiedene integrierte Komponenten zur Datenvorverarbeitung und Datenverarbeitung bis hin zur Datenveröffentlichung für die Implementierung eines CRIS enthält [43]. Es handelt sich somit um eine GIS Plattform,

mit der grundsätzlich alle erforderlichen Schritte zur Erstellung eines CRIS ausgeführt werden können [43].

Der Aufbau dieser Plattform und das Zusammenspiel ihrer Komponenten ist schematisch in Abbildung 13 dargestellt und wird nachfolgend, strukturiert nach dem in Kapitel 3.1 beschriebenen Workflow zur Erstellung eines CRIS beschrieben.

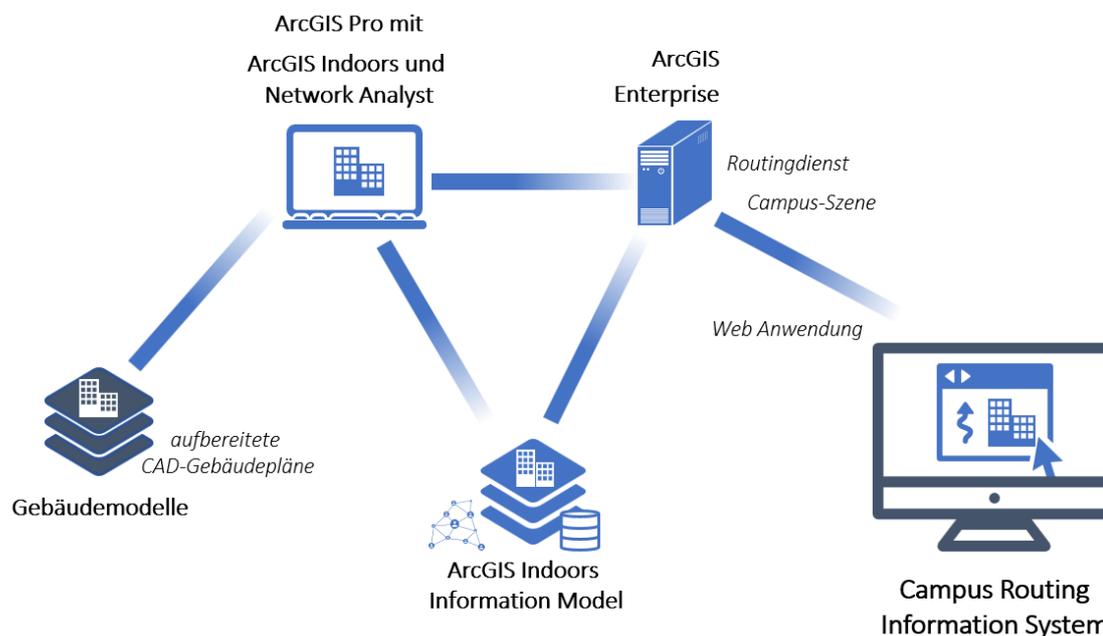


Abbildung 13: ArcGIS Komponenten zur Bereitstellung eines CRIS

So wurde für die Fallstudie der vorliegenden Arbeit der Arbeitsschritt Projektion im Rahmen der *Datenvorverarbeitung* und die anschließenden Workflow-Prozessschritte zur *Datenverarbeitung* mit Esri GIS-Client-Anwendung **ArcGIS Pro** durchgeführt.

Die Datenverarbeitung beginnt mit dem Import der aufbereiteten CAD-Gebäudepläne in das ArcGIS Indoors Information Model (siehe Kapitel 3.2.3). ArcGIS Indoors hat dabei den Anspruch, den gesamten Prozess des Hinzufügens von Grundrissinformationen zur ArcGIS-Plattform abzudecken [43]. Für den Import von CAD-Dateien wird ArcGIS Pro verwendet. Ebenfalls in ArcGIS Pro erfolgt dann auch die weitere Datenverarbeitung.

Für die Erstellung und Veröffentlichung eines Campus-Netzwerks wurde die Erweiterung **ArcGIS Network Analyst** genutzt. Mit dieser Erweiterung kann ein Netzwerkmodell, ein so genanntes Network Dataset, erstellt werden (vgl. Kapitel 2.1.1.1). Auf Grundlage dieses Network Datasets können dann später Netzwerkanalysen wie Routenberechnungen durchgeführt werden. Die Kanten des Network Datasets geben die geometrischen Formen des realen Netzwerks wieder. Entsprechend kann die Länge der Pfade im Netzwerk gemessen werden (siehe Kapitel 2.1.1.1). Das Network Dataset verfügt außerdem über ein umfangreiches Attributmodell, mit dessen Hilfe wichtige Informationen für

Routingaufgaben, wie Impedanzen (Kostenattribute), Einschränkungen und Hierarchien, in das Netzwerk integriert werden können.

Die Geodaten aus ArcGIS Pro wurden schließlich als Web-Services in **ArcGIS Enterprise** hochgeladen und gehostet. ArcGIS Enterprise stellt hierfür die Serverinfrastruktur für das CRIS zur Verfügung. Die im Rahmen der Fallstudie verwendeten Komponenten, sind insbesondere ArcGIS GIS Server, Portal for ArcGIS und der ArcGIS Data Store. Mit dieser Infrastruktur wurde der Routingdienst und die Webanwendung, über die das CRIS genutzt wird, gehostet und bereitgestellt.

Die oben genannten REST-Endpunkte können in mehreren Web-Mapping-Anwendungen verwendet werden. Zum Beispiel mit der ArcGIS-API für JavaScript. So kann ein Netzwerkmodell auch als Web-Service in Form eines Routingdienstes veröffentlicht werden und in einer JavaScript-basierten Webanwendung Verwendung finden. REST stellt dabei eine Client-Server-Architektur dar, bei der der Client die Anforderungen sendet, während der Server sie verarbeitet und die Antworten zurückgibt [19].

3.2.3 ArcGIS Indoors Information Model

Als Gebäude- und Indoor-Navigationsmodell der im Rahmen dieser Arbeit erstellten Fallstudie wurde das ArcGIS Indoors Information Model (AIIM) genutzt. In diesem Kapitel wird dieses Datenmodell zunächst vorgestellt und anschließend gezeigt, dass es sich als technische Grundlage zur Gestaltung eines Indoors-Navigationsmodells für Bürogebäudekomplexen eignet.

3.2.3.1 Modellbeschreibung

Das ArcGIS Indoor Information Model unterstützt die Verwaltung von GIS-Informationen von Innenräumen und stellt Datenstrukturen bereit, mit deren Hilfe ein spezifisches Indoor-Navigationsmodell von Gebäuden erstellt werden kann.

Es besteht aus den beiden in Tabelle 3 aufgelisteten Feature-Datasets *AIIM* und *Network* mit jeweils einer Sammlung von Feature-Classes.

Tabelle 3: Feature-Datasets des ArcGIS Indoor Information Model

Name	Beschreibung
AIIM	Verwaltet die GIS-Daten, die Innenräume definieren.
Network	Verwaltet die Netzwerkartefakte, die das Routing im Innen- und Außenbereich unterstützen.

Das Feature-Dataset *AIIIM* besteht wiederum aus zwei verschiedenen Arten von Feature-Classes: Solchen, die Informationen von Innenräumen darstellen, und solchen, die Einschränkungen in Bezug auf Tracking und Positionierung in Innenräumen beschreiben. Da in dieser Arbeit die Informationen zur Positionierung und Lokalisierung nicht genutzt werden, erfolgte im Rahmen dieser Arbeit eine Konzentration auf Feature-Classes, die Informationen von Innenräumen darstellen. Diese werden innerhalb des ArcGIS Indoors Information Models in einer Hierarchie mit angenommenen räumlichen Beziehungen organisiert, die in der folgenden absteigenden Reihenfolge definiert sind:

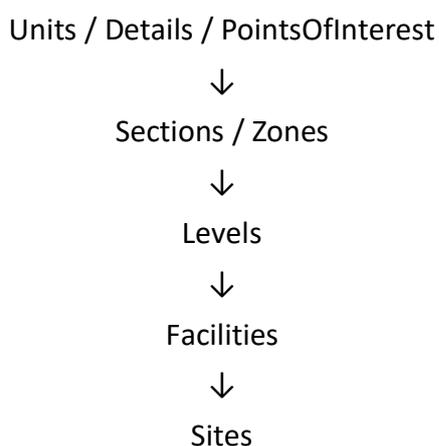


Tabelle 4 gibt eine Übersicht über diese Feature-Classes des Feature-Datasets *AIIIM* des ArcGIS Indoors Information Models.

Tabelle 4: AIIIM-Feature-Classes

Name	Beschreibung
Details	Beschreibt lineare Assets wie Wände, Türen, Fenster usw. <i>Details</i> werden verwendet, um generierte Netzwerkpfade einzuschränken und die Visualisierung zu unterstützen. <i>Details</i> müssen innerhalb eines <i>Level</i> -Features liegen.
Facilities	Beschreibt die Grundflächen der Gebäude
Levels	Beschreibt die Grundfläche jeder Etage in allen verwalteten Einrichtungen. <i>Level</i> -Grundflächen müssen innerhalb eines <i>Facility</i> -Features liegen.
PointsOfInterest	Beschreibt Objekte, Ein- und Ausgänge, Orientierungspunkte usw. Die Feature-Class <i>PointsOfInterest</i> kann sowohl Informationen für den Innen- als auch für den Außenbereich enthalten.

Sections	Beschreibt die Grundfläche nicht überlappender Organisationsbereiche in einer Ebene, z. B. Gebäudeflügel. Grundflächen von <i>Sections</i> müssen innerhalb eines <i>Level</i> -Features liegen.
Sites	Beschreibt die Grenzen des Campus und wird zur Visualisierung bei der Kartenerstellung verwendet.
Units	Beschreibt die Grundfläche nicht überlappender einzelner Funktionsbereiche wie Arbeitsbereiche, Einzelhandelsflächen, Aufzüge und Treppenhäuser usw. Die Grundflächen der <i>Units</i> müssen innerhalb eines <i>Level</i> -Features liegen.
Zones	Beschreibt die Grundfläche möglicherweise überlappender Organisationsbereiche auf einer Etage, z. B. Sicherheits-, Management-, Einzelhandelszonen usw. Grundflächen von <i>Zones</i> müssen innerhalb eines <i>Level</i> -Features liegen.

Das Feature-Dataset *Network* bildet die Verknüpfungen der Gebäudebestandteile im Sinne eines Netzwerkmodells ab. Es unterteilt sich in die folgenden Feature Classes:

- Landmarks
- Pathways
- Transitions

Tabelle 5 gibt eine Übersicht über die Feature-Classes des Feature Datasets *Network* des ArcGIS Indoors Information Models.

Tabelle 5: Network-Feature-Classes

Name	Beschreibung
Landmarks	Beschreibt Orientierungspunkte, die beim Routing als Anweisungen für die Wegführung verwendet werden.
Pathways	Beschreibt die Netzwerkpfade, die von den Geoverarbeitungswerkzeugen für Innenräume in ArcGIS Pro für das Routing zwischen Standorten auf derselben Ebene generiert wurden.
Transitions	Beschreibt die Netzwerkübergänge, die von den Geoverarbeitungswerkzeugen für Innenräume in ArcGIS Pro für das Routing zwischen Ebenen generiert wurden.

Ein vollständiger Überblick über alle Feature-Classes des AIIM mit ihren jeweiligen Parametern ist auf der Website des Herstellers Esri zu finden¹⁷.

3.2.3.2 Tauglichkeit des AIIM als Datenmodell zur Innenraumnavigation in Bürokomplexen

Um die Tauglichkeit eines Indoor-Navigationsmodells zur Innenraumnavigation in einem Campus aus Bürogebäuden zu bewerten, müssen zunächst Kriterien definiert werden, nach denen eine sinnvolle Bewertung vorgenommen werden kann. Hierzu wird zunächst auf die allgemeinen topografischen Anforderungen für die Innenraumnavigation an das Gebäudemodell zurückgegriffen, die Brown et al. definieren [4]. Diese allgemeinen Anforderungen gelten auch im speziellen Fall der Innenraumnavigation in Bürogebäudekomplexen und skizzieren entsprechend ein geeignetes Indoor-Navigationsmodell zur Innenraumnavigation. Die auf Brown et al. basierenden Anforderungen werden im Folgenden beschrieben und in Bezug zum Anwendungsfall Bürogebäudekomplexe gesetzt:

1. Eine Innenraumumgebung (im vorliegenden Fall die eines Bürokomplexes) erfasst alle allgemeinen semantischen Informationen und wird durch alle Räume (z.B. Büros, Besprechungsräume, Lagerräume, Empfangsbereich, Flure, Treppenhäuser, Aufzüge, Verbindungswege zwischen Gebäuden) dargestellt, die zu dieser Innenumgebung gehören.
2. Alle Räume, die zu einer solchen Innenraumumgebung gehören, sind sowohl semantisch als auch geometrisch darzustellen und definieren die räumlichen Eigenschaften aller physikalischen Räume. Dabei sind für einen Bürokomplex verschiedene hierarchische Raumebenen (Gebäude, Flure, Bereiche, Räume) zu unterscheiden. Der navigierbare Raum kann dabei für verschiedene Fortbewegungsarten (z. B. Fußgänger, Benutzer im Rollstuhl) zerlegt werden.
3. Räume, die zu einer Innenraumumgebung gehören, werden je nach Benutzer (und seinen Zugangsberechtigungen), Szenario (z.B. Normalbetrieb oder Feueralarm) und den von ihm ausgeführten Aufgaben nach bestimmten vordefinierten Raumtypen kategorisiert.
4. Alle Räume, die zu einer Innenraumumgebung gehören, müssen zur Definition der Start- und Endpunkte für eine Route und für den am besten geeigneten Pfad in kleinere Raumteile zerlegt werden können.
5. Alle Räume, die zu einer Innenraumumgebung gehören, müssen mit zusätzlichen semantischen Attributen (z.B. zur Kennzeichnung des Verwendungszwecks des Raumes wie etwa Lobby/Empfang, Büroraum, Besprechungsraum, Lagerraum,

¹⁷ <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/help/data/indoors/arcgis-indoors-information-model.htm>

Kantine, Kaffeeküche, Ruheraum, Toilette, Treppenhaus, Aufzug, Verbindungsgang) erweitert werden können.

6. Stockwerke in Innenraumumgebungen sollten dargestellt und allen Räumen zugeordnet werden, die zu einem bestimmten Stockwerk gehören.
7. Alle Innenräume und Teile von Innenräumen können geocodiert werden.
8. Es werden semantische Informationen für die Funktion, Nutzung und Nutzer eines Innenraums gespeichert.
9. Spezielle Arten von Innenräumen sind zu verwenden, um die Konnektivitätsebenen von Innenräumen zu unterscheiden, d. h. nur solche Räume (insbesondere Flure, Treppenhäuser, Empfangsbereiche, Vorzimmer, Durchgangsräume usw.), die mehrere Räume miteinander verbinden, müssen in einem Routing-Algorithmus berücksichtigt werden.
10. Diese unterschiedlichen Arten von Verbindungsräumen sind jeweilig mit spezifischer Semantik zu definieren.
11. Transferräume (Türen, Tore, Treppen, etc.) sind sowohl in physische (z. B. Tür- oder Fensteröffnung) als auch virtuelle Öffnungsräume (z. B. Türen mit Zugangsbeschränkungen) zu unterteilen, für die spezielle Attribute definiert werden können.
12. Hindernisräume (z.B. Gebäude bzw. Gebäudeteile mit beschränkten Zugangsberechtigungen, Steigungen, Stufen, (Trenn-)Wände, Mobiliar) sollten semantisch in feste, bewegliche und dynamische Hindernisräume eingeteilt werden, wobei physikalische Attribute die räumliche Ausdehnung, die Belastbarkeit, die Beständigkeit, den aktuellen Zustand und den Szenariotyp (z.B. Normalbetrieb oder Feueralarm) darstellen.
13. Hindernisräume mit fester Position haben eine Semantik, die das Oberflächenmaterial definiert (z.B. für die Meidung von Wegen mit Rutschgefährdungen), und eine spezielle Semantik, die für Innen- und Außenwände, Böden, Decken, Treppen und Rampen definiert ist.
14. Bewegliche Hindernisräume (z.B. Trennwände, Mobiliar, Büropflanzen in Großraumbüros, gesperrte Räume/Flure wegen Renovierungsarbeiten) haben eine Semantik, einschließlich des physischen Gewichts und einer speziellen Semantik, die für Fenster, Türen, Möbel und Bauarbeiten definiert ist.
15. Türen und Fenster sollten über eine spezielle Semantik verfügen, mit der Einschränkungen je nach Typ, Öffnungsmechanismus, Unterelemente, Öffnungsrichtung, aktuellem Status, Barrierefreiheit und Verwendbarkeit in Szenarien definiert werden können

Das ArcGIS Indoors Information Model wurde qualitativ anhand der oben angegebenen Anforderungen bewertet. Die Ergebnisse sind in Tabelle 6 aufgeführt.

Tabelle 6: Bewertung des AIIM anhand der Anforderungen an den topografischen Raum für die Innennavigation in Bürokomplexen

++ Anforderung vollständig erfüllt

+ Anforderung teilweise erfüllt

• Anforderungen nicht erfüllt

Anforderung	Bewertung	Erläuterung
Innenraumumgebung		
1	++	Durch <i>Units</i> können Räume mit unterschiedlichen Funktionen (z.B. Büros, Besprechungsräume, Technik- und Lagerräume, Kantinen, aber auch Funktionsbereiche, wie z.B. Aufzüge, Flure und Treppenhäuser) dargestellt werden. Durch Feature-Classes wie <i>Zones</i> oder <i>Sections</i> können sie entsprechend der topografischen Gegebenheiten zusammengefasst und mit semantischen Informationen ergänzt werden.
2	++	Das gesamte Areal eines Bürokomplexes, aber auch seine einzelnen Bürogebäude, deren, Stockwerke, Bereiche und Räume können über <i>Sites</i> , <i>Facilities</i> , <i>Zevels</i> , <i>Zones</i> , <i>Sections</i> und <i>Units</i> abgebildet werden. <i>Zones</i> , <i>Sections</i> , und <i>Units</i> werden geometrisch als Polygone definiert und können mit semantischen Attributen versehen werden. Der navigierbare Raum kann dabei beliebig granular über das Network Dataset definiert wird. Im Network Dataset können zudem verschiedene Fortbewegungsarten (z. B. Fußgänger, Benutzer eines Rollstuhls) berücksichtigt werden.
3	+	Raubereiche in Form von <i>Zones</i> , <i>Sections</i> , und <i>Units</i> können je nach Benutzer (mit verschiedenen Aufgaben und Zugangsberechtigungen), Szenario (Normalbetrieb, Feueralarm, o.ä.) und dem Anwendungsfall definiert werden. Gegebenenfalls lassen sich diese unterschiedlichen Anwendungsfälle und Szenarien nicht gleichzeitig in einem gemeinsamen Modell abbilden. Es kann allerdings jeweils ein neues Modell mit anderen Raumdefinitionen erstellt werden.
4	++	Der begehbare Raum kann beliebig dicht mit einem Wegenetz gefüllt werden. In der Praxis ist allerdings eine Abwägung zwischen Detailgrad und Performance bei der Routenberechnung durchzuführen.

Anforderung	Bewertung	Erläuterung
5	++	Das Modell sieht sowohl für Units als auch <i>Zones</i> , <i>Sections</i> , etc. umfassende Attribute zur semantischen Beschreibung der Innenraumumgebung vor, die die Anforderungen eines CRIS für eine Bürokomplex abdecken.
6	++	Stockwerke in Innenraumumgebungen wie Bürokomplexen können als <i>Levels</i> dargestellt werden. Über die hierarchische Struktur können Räume in Form von <i>Units</i> aber auch <i>Sections</i> und <i>Zones</i> sowie <i>Details</i> und <i>PointsOfInterest</i> diesen Stockwerken zugeordnet werden.
Innenräume		
7	++	Alle Bereiche können vollständig geocodiert werden.
8	++	<i>Units</i> können mit semantischen Attributen versehen werden. Semantische Informationen für die Funktion, Nutzung und Nutzer eines Innenraums können in den Attributen ACCESS_TYPE, CAPACITY, DESCRIPTION, USE_TYPE, UTILIZATION gespeichert werden.
9	+	Konnektivitätsebenen von Innenräumen (<i>Units</i>) werden nicht unterschieden. Konnektivitätsebenen können allerdings in einer hierarchischen Gliederung des Navigationsnetzes abgebildet werden, in dem Räume mit höherer Konnektivität (in der Regel Flure und Durchgangsräume) im Navigationsnetz mit einer entsprechend hohen Hierarchieebene versehen werden.
10	+	Es ist keine spezifische Semantik für Verbindungsräume vorgesehen. Eine Berücksichtigung bei der Berechnung von Innenwegen kann allerdings durch eine entsprechende hierarchische Gliederung des Navigationsnetzes erzielt werden.
Transferräume		
11	++	Sowohl physische als auch virtuelle Öffnungsräume können im Navigationsnetz abgebildet und mit entsprechenden Attributen zur Durchgangsbeschränkung versehen werden.
Hindernisräume		
12	•	Es sind nur feste Hindernisräume vorgesehen.
13	+	Nicht passierbare Hindernisse (wie Innen- und Außenwände) sowie Treppen und Rampen besitzen eine spezielle Semantik. Die Definition von Oberflächenmaterialien ist jedoch nicht vorgesehen, könnte aber über <i>Zones</i> und <i>Sections</i> implementiert werden.
14	•	Es ist keine entsprechende Semantik für bewegliche Hindernisse vorgesehen.

Anforderung	Bewertung	Erläuterung
15	•	Es ist keine entsprechende Semantik für bewegliche Hindernisse vorgesehen.

Zusätzlich zu diesen Anforderungen wurden in Kapitel 2.1.2 weitere Anforderungen bezogen auf die individuellen Bedürfnisse von Benutzern speziell in Bürogebäudekomplexen festgehalten, auf die das AIIM geprüft werden muss.

- Im Netzwerkmodell sollten auch die räumlichen Ausmaße von Wegen und Durchgängen, wie die Deckenhöhe oder die Breite von Türen berücksichtigt werden.
Eine solche Modellierung von Höhen und Breiten sieht das AIIM nicht vor. Allerdings könnte hier das zugrundeliegende Network Dataset um entsprechende Attribute erweitert werden, so dass auch räumliche Ausmaße abgedeckt werden können.
- Für Beschäftigte, die einen Rollstuhl oder auch einen Rollator benutzen oder eine Fußhebeschwäche haben, sollen Stufen und Treppen vermieden werden können.
Diese Anforderung ist durch Anforderung 13 in der obenstehenden Tabelle abgedeckt.
- Der Zugang zu den Bürogebäuden oder einzelnen Raumbereichen muss beschränkt werden können. Diese Anforderung ist durch Anforderung 11 in der obenstehenden Tabelle abgedeckt.

Die obige Analyse zeigt, dass das ArcGIS Indoors Information Model einen großen Anteil der oben genannten Anforderung an ein Datenmodell für ein CRIS, speziell auch für Bürokomplexe, erfüllt. Schwächen zeigt das Modell zwar bei der Modellierung von beweglichen und dynamischen Hindernissen. Für den Rahmen der vorliegenden Arbeit ist es aber - mit dieser Einschränkung - für eine Fallstudie zur Überprüfung der Machbarkeit eines CRIS für einen Bürokomplex auf der Grundlage der von Wilkening et al. vorgeschlagenen Methodik geeignet.

3.3 Datenvorverarbeitung

Wie bereits in Kapitel 2.1.1.2 beschrieben, sind herkömmliche Gebäudemodelle in der Regel nicht für die Innenraumnavigation konzipiert und müssen dementsprechend für den speziellen Anwendungsfall der Innenraumnavigation vorbereitet werden. Dies

geschieht gemäß dem von Wilkening et al. vorgeschlagenem Modell im Arbeitsschritt Datenvorverarbeitung in den folgenden drei Prozessschritten:

1. Generalisierung & Sichtung der CAD Dateien
2. Generierung neuer CAD Dateien
3. Projektion.

Der Schritt Generalisierung & Sichtung der CAD Dateien wurde für eine bessere Übersichtlichkeit im weiteren Verlauf der Arbeit in die beiden Einzelschritte Sichtung der CAD-Dateien und Generalisierung unterteilt.

Diese sich so ergebenden vier Einzelschritte werden in den nachfolgenden Kapiteln beschrieben.

3.3.1 Sichtung der CAD-Dateien

Zunächst wird geprüft, inwieweit die CAD-Daten bereits den Anforderungen zur Verarbeitung entsprechen und an welchen Stellen Vorverarbeitungsschritte erforderlich sind. Wilkening et al. stellen dabei die in der folgenden Tabelle beschriebenen Anforderungen an die CAD-Daten.

Tabelle 7: Anforderungen an CAD-Gebäudepläne nach Wilkening et al. [43]

#	Anforderung	Beschreibung
1	Generalisierung	Enthalten die CAD-Dateien [nur] relevante Informationen, die den Navigationsprozess der Benutzer in Innenräumen erleichtern?
2	Kategorisierung von Grundrisslinien und Namenskonsistenz	Sind die Grundrisslinien nach ihrem Typ (z.B. Wand, Tür, Treppe usw.) kategorisiert und wird für das gesamte Gebäude dieselbe Namenskonvention angewendet?
3	Kategorisierung von Innenräumen	Sind Innenräume nach Verwendungszweck (z.B. Kantine, Seminarräume, Büro, Flur usw.) kategorisiert?
4	Projektion	Befinden sich die CAD-Dateien in einem realen Koordinatensystem?

Abhängig davon, ob und wie weit die Anforderungen bereits erfüllt sind, ist ein kleinerer oder größerer Aufwand in der Vorverarbeitung nötig.

3.3.2 Generalisierung

Wie bereits in Kapitel 2.1.1 beschrieben, sollte ein gut entwickeltes Indoor-Navigationsmodell von unnötigen Informationen abstrahieren und lediglich die für die Durchführung von Navigationsaufgaben relevanten Informationen enthalten. Alle vorliegenden Daten müssen entsprechend bewertet und bereinigt werden, so dass in den nachfolgenden Prozessschritten keine unnötigen Daten verarbeitet werden, die letztendlich das Modell überfrachten könnten, ohne einen gewinnbringenden Beitrag zu leisten.

3.3.3 Generierung neuer CAD-Dateien

Abhängig davon, wie vollständig die vorliegenden Daten bereits sind, müssen gegebenenfalls Daten generiert werden, um ein vollständiges Gebäude- beziehungsweise Navigationsmodell erstellen zu können. Fehlende Daten können dabei ganze Kategorien umfassen, wie Treppen oder Türen oder aber einzelne Elemente innerhalb dieser Kategorien. Darüber hinaus kann es notwendig sein, die CAD-Daten mittels Annotationen mit semantischen Informationen, z.B. zu Raumnummern oder -typen anzureichern.

Mindestens folgende Daten sollten vollständig innerhalb der CAD-Daten vorliegen oder nach Bedarf hinzugefügt werden:

- Grundflächen der Gebäude und Etagen
- Innen- und Außenwände, sowie weitere architektonische Hindernisse, die die Bewegung im Raum einschränken
- Grundflächen der Räume
- Türen
- Transitionen, wie Treppen, Rampen oder Aufzüge
- Annotationen mit Raumnamen /-funktionen

3.3.4 Projektion

Gotlib et al. [18] heben als eines der Ziele moderner Navigationsanwendungen die Gewährleistung einer nahtlosen Navigation im Innen- und Außenbereich hervor. Eine kartografische Darstellung muss daher auch die Integration der Indoor-Karte in die geografischen Daten der Gebäudeumgebung gewährleisten. Hierfür ist es erforderlich, die Gebäude in Gänze entsprechend auf ein reales Koordinatensystem zu projizieren. Natürlich gilt diese Forderung bei einem CRIS für den gesamten abzubildenden Campus beziehungsweise für den gesamten Bürokomplex.

CAD-Grundrisse werden jedoch normalerweise nicht georeferenziert geliefert, sondern als Skizzen mit realen Messungen ohne x-y-z Koordinaten in einem

Koordinatenreferenzsystem. Um die CAD-Pläne in räumliche Informationen zu integrieren, müssen sie georeferenziert werden [25]. Bei der Georeferenzierung werden CAD-Pläne räumlich angepasst, ohne dass die ursprünglichen Quelldaten geändert werden. Es ist wichtig, CAD-Grundrisse präzise zu georeferenzieren, da sich Fehler bei der Skalierung oder der geografischen Position durch das gesamte Modell ziehen würden.

3.4 Datenverarbeitung

Der Prozessschritt der Datenverarbeitung umfasst nach Wilkening et al. die folgenden Einzelschritte [43]:

1. Erstellung und Veröffentlichung einer Campus-Grundkarte
2. Erstellen von Gebäudeinnenräumen
3. Erstellung einer Campus-Szene
4. Erstellung und Veröffentlichung eines Campus-Netzwerks
5. Veröffentlichung der Campus-Szene und eines Locator Layers

Diese fünf Einzelschritte werden in den nachfolgenden Kapiteln beschrieben.

3.4.1 Erstellung und Veröffentlichung einer Campus-Grundkarte

Um dem Nutzer auch im Umfeld der Gebäude Orientierung zu bieten beziehungsweise die verschiedenen Gebäude selbst richtig zuordnen zu können, müssen die Gebäude des Campus in eine Grundkarte eingebettet werden. Hierfür kann auf bestehende Grundkarten zurückgegriffen werden, wenn diese die Umgebung des Campus in einer geeigneten Darstellung zeigen. Sollte keine geeignete Grundkarte vorliegen, muss eine entsprechende Grundkarte erstellt werden, in die die Gebäude des Campus dann eingebettet werden können.

3.4.2 Erstellen von Gebäudeinnenräumen

Im Rahmen der Erstellung von Gebäudeinnenräumen wird das topografische Gebäudemodell erstellt, auf dem das Indoor-Navigationsmodell basiert. Hierfür werden zunächst die Gebäudeinformationen aus den CAD-Daten exportiert und in ein geeignetes Datenmodell – im vorliegenden Fall in das AIIM – überführt.

Es ist also ein Mapping zu erstellen, welches den Daten der CAD-Layer entsprechende Elemente im angestrebten Indoor-Navigationsmodell zuordnet. Bei diesem Schritt können auch weitere Gebäudeattribute dem Modell hinzugefügt werden, wie die Bezeichnung des Gebäudes oder dessen Postadresse.

Anschließend wird das Gebäudemodell mit weiteren Features, die den Anwendungsfall unterstützen, angereichert. Solche Features sind insbesondere POIs (Points of Interest) – also Elemente, die auf der Karte gefunden werden können sollen und die als potentielle Start- und Zielepunkte für die Wegführung dienen.

Zu beachten ist dabei, dass ein CRIS für Bürokomplexe im Allgemeinen unterschiedliche Aufgaben innerhalb verschiedener Anwendungsszenarien erfüllen muss und damit auch verschiedene Arten von POIs relevant sind.

Relevante POIs als Ziele für die Navigation sind allgemein und damit auch in Bürokomplexen zum Beispiel

- Räume mit unterschiedlichen Verwendungsarten (Einzel-, Gruppen- oder Großraumbüros und Besprechung-/Seminarräume, Empfangsbereiche, Drucker Räume aber auch Toiletten, Kantinen, Kaffeeküchen, Treppenhäuser, Fahrstühle, usw.)
- Infrastruktureinrichtungen für Notfälle (Brandschutz- oder Erste-Hilfe-Einrichtungen)
- Infrastruktureinrichtungen, die regelmäßig gewartet werden müssen (Heizungs- und Klimaanlage, Maschinenräume)
- Ein- und Ausgänge
- Veranstaltungen, wie Meetings und Workshops, die neben einem definierten Ort auch eine zeitliche Komponente (von-bis) besitzen.

Für die Wegführung können zudem auffällige Orientierungspunkte als POIs relevant sein.

Personen als POIs

In Bürogebäuden steht insbesondere die Zusammenarbeit von Menschen im Fokus (Connected Workplace). Ziel eines CRIS für Bürokomplexe ist es daher, dass sich Menschen mit seiner Hilfe leichter finden können. In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage, ob für die Navigation in Bürogebäuden auch Personen als POIs betrachtet werden sollten.

Vor dem Hintergrund der besonderen Anforderungen des Datenschutzes bei personenbezogenen Daten in Europa und insbesondere in Deutschland im Hinblick auf die EU-Datenschutz-Grundverordnung (EU-DSGVO) und die bestehenden Mitbestimmungsrechte von Betriebsräten im Rahmen des Betriebsverfassungsgesetzes (BetrVG) erscheint eine Echtzeitlokalisierung von Personen in einem Bürogebäude derzeit aus

rechtlichen Gründen kaum umsetzbar. Dazu sind zunächst umfassende rechtliche Prüfungen erforderlich. Beispielhaft zu nennen sind hier etwa

- die Prüfung der Rechtmäßigkeit einer Verarbeitung solcher personenbezogener Daten gemäß Art 5 und 6, EU-DSGVO
- die Prüfung der spezifischen Mitbestimmungsrechte von Arbeitnehmervertretern im Zusammenhang von möglicher Leistungs- und Verhaltenskontrolle durch ein solches Indoor-Navigationssystem gem. §87 Abs. 6 BetrVG

Diese Prüfung würde jedoch den Rahmen dieser Arbeit sprengen.

Zudem reicht es in Bürogebäuden zumeist aus, Personen über ihren Arbeitsplatz zu finden. Dazu ist nur eine Referenz auf das dieser Person zugewiesene Büro oder auf den von ihr genutzten Arbeitsplatz im Modell zu erstellen. Entsprechend können Personen ohne rechtliche Hürden als POIs in Bürogebäuden zumindest über ihren Arbeitsplatz (Büro/Arbeitsplatz innerhalb eines Büros) referenziert werden.

Hinzufügen von POIs zum Gebäudemodell

Das Hinzufügen von POIs zum Gebäudemodell kann sowohl durch manuelles Einpflegen neuer Objekte geschehen oder aber auch durch einen Import. Der Import setzt allerdings voraus, dass die zu importierenden Objekte bereits korrekt verortet sind, ansonsten ist auch hier eine Nachpflege erforderlich, um zu gewährleisten, dass die importierten Features auch an der richtigen Stelle im Gebäudemodell erscheinen.

Generell gilt aber auch hier: Es sollten nur die POIs in das Modell aufgenommen werden, die letztlich für den Einsatz im CRIS relevant sind, so dass das Modell nicht mit unnötigen Informationen überlastet wird.

3.4.3 Erstellung einer Campus-Szene

Nachdem nunmehr alle relevanten Gebäudeinformationen im Gebäudemodell vorliegen, kann eine Karte (2D- und/oder 3D) erzeugt werden, die diese Informationen visuell darstellt. Hierfür muss entschieden werden, welche Inhalte in der Karte zu sehen sein sollen und wie diese Inhalte dargestellt werden sollen. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass Webbrowser einige komplexe kartografische Symbole nicht anzeigen können. Zwar sind die meisten Symboltypen in Webbrowsern darstellbar, in einigen Fällen können Symbole beim Veröffentlichen aber herabgestuft, also durch andere, weniger komplexe Symbole ersetzt werden.

Um die Suche nach POIs im CRIS zu erleichtern, können POIs in logische Kategorien eingeteilt werden. Die Feature-Class *PointsOfInterest* sollte außerdem mit einigen

Schlüsselattributen gefüllt sein, um sicherzustellen, dass die POIs im gewünschten Kartenmaßstab angezeigt wird. Dies kann notwendig sein, da das Anzeigen aller POIs bei kleinem Maßstab die Darstellung überfrachten kann.

3.4.4 Erstellung und Veröffentlichung eines Campus-Netzwerks

Die Erstellung des Campus-Netzwerks (also eines Wegenetzes) erfolgt in den folgenden Teilschritten:

1. Generierung eines vorläufigen, dichten Rasters von Knoten und Kanten über den gesamten potenziell begehbaren Raum der einzelnen Etagen aller Gebäude
2. Anlegen von Verbindung des Wegenetzes zwischen den Etagen
3. Ausdünnung des Netzes auf Pfade, die POIs auf direktem Weg verbinden
4. Hierarchische Gliederung des Netzwerks
5. Anlegen eines Wegenetzes außerhalb des Gebäudes

Generierung des vorläufigen Rasters

Zunächst wird in einem ersten Schritt für jede Etage die gesamte potenziell begehbare Fläche mit einem dichten Raster von Kanten gefüllt, um ein vorläufiges Netzwerk des gesamten begehbaren Raums der einzelnen Etagen zu erstellen. Wie schon in Kapitel 2.1.1.1 dargestellt, kann in einem Netzwerk, in dem die geometrischen Formen beibehalten werden, die Länge der Pfade gemessen werden.

Zu beachten ist hierbei, dass Netzwerke, die sich über ganze Gebäudestrukturen hinweg erstrecken, komplex sein können, so dass der Prozess der Berechnung zur Erstellung oder Neuberechnung von Navigationsnetzen zeitaufwändig sein kann [28].

Anlegen von Verbindung des Wegenetzes

Anschließend werden dann die vorläufigen Netze der einzelnen Etagen dort miteinander verbunden, wo Übergänge wie Treppen, Rampen oder Aufzüge bestehen.

Ausdünnung des Netzes

Das so erstellte, vorläufige Etagen-übergreifende Netzwerk enthält noch sehr viele Kanten. Da aber Routen nur zwischen POIs berechnet werden sollen, sind viele dieser Elemente nicht erforderlich, da sie nicht auf Routen zwischen POIs liegen. Um die Performance der Routenberechnung zu steigern, werden daher Kanten, die nicht zur Routenberechnung benötigt werden, identifiziert und gelöscht und damit ein ausgedünntes Wegenetz erstellt.

Allerdings ist zu beachten, dass sich dieses stark ausgedünnte Wegenetz nur für das statische Routing zwischen POIs eignet. Bei einem dynamischen Routing mit Lokalisierung über ein Indoor Positioning System (IPS) kommt es durch das starke Ausdünnen zu unerwünschten Effekten. Steht ein Benutzer beispielsweise im hinteren Teil eines größeren Raumes, befindet er sich bei stark ausgedünntem Wegenetz in einem Bereich ohne definiertes Wegenetz. Eine Routenberechnung würde mit ArcGIS Indoors immer vom nächstgelegenen Punkt im Wegenetz starten ungeachtet möglicher Hindernisse, wie in der folgenden Abbildung dargestellt wird.

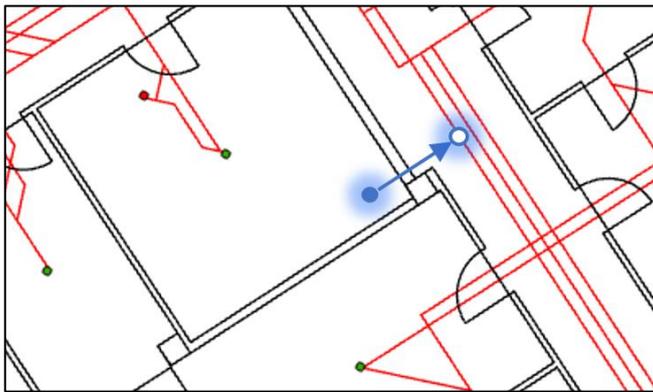


Abbildung 14: Gefahr der Startpunktverschiebung beim ausgedünnten Wegenetz

Auf diese Weise kann es passieren, dass eine für den Benutzer völlig ungeeignete, oder gar unpassierbare Route berechnet wird. Soll das CRIS also um ein dynamisches Routing mittels IPS erweitert werden, muss die Methodik an dieser Stelle angepasst werden.

Hierarchische Gliederung

Anschließend können die so verbleibenden Kanten in eine Hierarchie gebracht werden, um Wege entlang bestimmter Kanten zu bevorzugen. In einem Bürokomplex gibt es nämlich Raumtypen, die bei der Routenberechnung soweit sinnvoll möglich gemieden werden, und Raumtypen, deren Nutzung bei der Routenberechnung bevorzugt werden sollte. So ist in Büroumgebungen bei der Wegfindung nach Möglichkeit zu vermeiden, den Nutzer durch Büros zu führen, was die dort Arbeitenden stören könnte, wenn alternativ ein Weg über einen Flur möglich ist.

Abbildung 15 zeigt beispielhaft eine solche, unerwünschte Route. Start und Ziel liegen jeweils in Büros, welche durch Zwischentüren über drei weitere Büros miteinander verbunden sind. Der kürzeste Weg, um zum Ziel zu gelangen, führt somit durch die benachbarten Büros. In Abbildung 16 ist die gewünschte Route dargestellt. Die benachbarten Büros werden gemieden und die Streckenführung geht entlang des Flures bis zum anvisierten Büro.

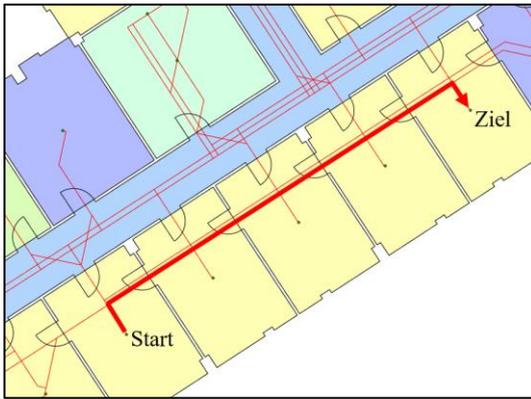


Abbildung 15: Kürzeste Route durch benachbarte Büroräume

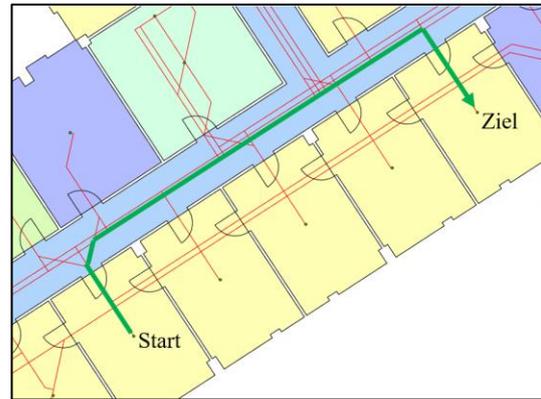


Abbildung 16: Gewünschte Route mit Meidung von Büroräumen

Wegenetzes im Außenbereich

Damit ist dann das Netzwerkmodell innerhalb der einzelnen Gebäude vollständig. Doch da ein CRIS die Außenanlagen eines Campus berücksichtigen muss, um eine Navigation auch zwischen den Gebäuden des Campus zu ermöglichen, muss auch für den Außenbereich ein Wegenetz angelegt werden. Da aber die Wegenetze im Außenbereich in der Regel deutlich weniger komplex sind als innerhalb der Gebäude, kann das diesbezügliche Netzwerk manuell angelegt werden. Sind in Ausnahmefällen die Außenbereiche größer oder komplexer, kann nach einem ähnlichen Schema vorgegangen werden, wie für das Wegenetz innerhalb der Gebäude.

Nachdem das Netzwerkmodell für den Campus nun vollständig vorliegt, wird es als Webdienst veröffentlicht, um es in eine Webanwendung einbinden zu können.

3.4.5 Veröffentlichung der Campus-Szene und des Locator Layers

Um auch die in Kapitel 3.4.3 erstellte Campus-Szene in eine Webanwendung einbinden zu können, muss diese entsprechend veröffentlicht und zur Nutzung freigegeben werden.

Die Locator-Layer dienen als Adresspunkte [25]. Übertragen auf das AIIM sind dies die POIs, nach denen im CRIS gesucht werden können soll und die als potenzielle Start- und Zielpunkte für Routenberechnungen dienen.

Die POI-Layer sind als Locator-Layer bereits in der Campus-Szene enthalten. Eine semantische Unterscheidung zwischen den bereits in der Campus-Szene enthaltenen POIs und weiteren Adresspunkten, wie von Wilkening et al. vorgeschlagen, erscheint nicht sinnvoll, da diese weiteren Adresspunkte zum einen einfach den POIs zugeordnet werden

können und sie zum anderen nicht beim Ausdünnen des Wegenetzes berücksichtigt wurden.

3.5 Webanwendung

Die Webanwendung stellt die Benutzeroberfläche des CRIS dar und integriert die einzelnen, gemäß den vorangegangenen Kapiteln erstellten und veröffentlichten Komponenten des CRIS:

- die Campus-Grundkarte
- die Campus-Szene
- das Campus-Netzwerk

Die Webanwendung stellt damit eine Applikation dar, mit der das Indoor-Navigationsmodell des Campus für Routingaufgaben nutzbar gemacht wird. Mit Hilfe der Campus-Szene und -Grundkarte werden zum einen die Campusumgebung und die Gebäudeinnerräume visuell dargestellt und zum anderen mit Hilfe des Campus-Netzwerks berechnete Routen in diese Darstellung integriert.

Mit der ArcGIS Indoors-Webanwendung ist es dann möglich

- POIs innerhalb des Campus zu finden und
- Routen zwischen diesen POIs zu ermitteln.

3.6 Evaluierung

Wilkening et al. empfehlen zur Bewertung von Verwendbarkeit und Nützlichkeit eines CRIS sowohl die expertenbasierte als auch die benutzerbasierte Methode entsprechend Roth et al. zu verwenden [43].

Bei der expertenbasierten Methode nach Roth et al. wird Feedback zu einer interaktiven Karte von Experten mit Erfahrung in der Gestaltung von interaktiven Karten eingeholt [39]. Dabei heben Roth et al. hervor, dass es sich bei den Experten um Personen außerhalb des Projektteams handeln muss, da sie nur wenig oder gar keine Vorkenntnisse über die zu bewertende Karte haben dürfen, um eine unvoreingenommene Perspektive einnehmen zu können.

Bei der benutzerbasierten Methode wird das Feedback von einer repräsentativen Gruppe von Zielbenutzern eingeholt. Benutzerbasierte Methoden können jedoch in Bezug auf die Faktoren Zeit, Geld und verfügbare Probanden sehr aufwändig sein. Um dieses Problem zu umgehen, kann aber entsprechend Nielsen [33] ein reduzierter Ansatz

gewählt werden, bei dem nur eine kleine Anzahl von Probanden (zumindest aber 3–5 Zielbenutzer) für die Bewertung rekrutiert wird.

Wilkening et al. schlagen daher im Rahmen der in Kapitel 3.1 vorgestellten Methodik für die Bewertung der Qualität eines CRIS die Durchführung von zwei Evaluierungen vor:

- Eine erste Evaluierung zur Bewertung der Qualität von Design und Visualisierung nach der expertenbasierten Methode und
- eine zweite Evaluierung zur Benutzerfreundlichkeit und zum praktischen Nutzen des CRIS nach der benutzerbasierten Methode.

Da sich die vorliegende Arbeit aber nicht auf die Gestaltung eines möglichst optimierten CRIS in Bezug auf die eingesetzten Gestaltungsprinzipien und Visualisierungstechniken konzentriert, sondern vielmehr im Sinne einer Machbarkeitsfallstudie die generelle Eignung der Methodik von Wilkening et al. für Bürokomplexe und mithin die Umsetzbarkeit eines CRIS für Bürokomplexe untersucht, wird im Rahmen dieser Arbeit auf die expertenbasierte Evaluierung verzichtet und nur eine benutzerbasierte Evaluierung durchgeführt.

Für die Gestaltung der benutzerbasierten Evaluierung eines CRIS bietet sich eine Liste mit verschiedenen, konkreten Anwendungsfällen zur Innenraumnavigation von Brown et al. von 2013 an, die für diese Fallstudie auf Bürokomplexe übertragen wurde (siehe Tabelle 8).

Tabelle 8: Anwendungsfälle nach Brown et al. [4] (angepasst auf Bürokomplexe)

	Anwendungsfall
1	Navigation verschiedener Benutzer (z. B. eines Menschen zu Fuß, eines Menschen im Rollstuhl, eines Mitarbeiters der Gebäudewartung) von einem Startpunkt zu einem Endpunkt
2	Navigation eines Benutzers unter Berücksichtigung eines bestimmten Szenarios (z. B. Notevakuierung) von einem Startpunkt zu einem Endpunkt
3	Navigation eines Benutzers (z.B. eines Besuchers) innerhalb eines Gebäudes, in dem der Zugang in bestimmte Teile beschränkt wird
4	Navigation eines Benutzers innerhalb eines einzelnen Raums (z.B. Kantine)
5	Navigation eines Benutzers innerhalb einer Etage zwischen verschiedenen Räumen

6	Navigation eines Benutzers zwischen verschiedenen Etagen innerhalb eines Gebäudes
7	Navigation eines Benutzers von außerhalb eines Gebäudes zu einer Position innerhalb eines Gebäudes und von einer Position innerhalb eines Gebäudes zu einer außerhalb eines Gebäudes
8	Navigation eines Benutzers zwischen separaten Gebäuden (z. B. von einem Startpunkt in Gebäude A zu einem Ziel in Gebäude B)

Nach erfolgreicher Evaluierung ist die Umsetzung der Methodik zur Erstellung eines CRIS von Wilkening et al. am Beispiel eines Bürokomplexes abgeschlossen.

4 Fallstudie

In diesem Kapitel wird die praktische Erstellung eines Campus-Routing-Informationssystems für einen Bürokomplex im „Servicepark Emscherschnellweg“ Gelsenkirchen nach der Methodik von Wilkening et al. Schritt für Schritt beschrieben und erläutert. Hierzu wird zunächst der Bürokomplex beschrieben, für den die Umsetzung erfolgt, und erläutert, warum er sich für die Fallstudie zur Realisierung eines CRIS nach der Methodik von Wilkening et al. eignet.

Anschließend wird die in Kapitel 3 beschriebene Methodik zur Erstellung des CRIS für den oben genannten Bürokomplex mit den dort beschriebenen Werkzeugen und in den dort beschriebenen Teilschritten bis zur Realisierung einer entsprechenden Webanwendung umgesetzt.

4.1 Bürokomplex 1-2 im Servicepark Emscherschnellweg, Gelsenkirchen

Für die beispielhafte Umsetzung eines Campus-Routing-Informationssystems für einen Bürogebäude-Campus nach der Methodik von Wilkening et al. wurde ein Teilbereich des Serviceparks Emscherschnellweg in Gelsenkirchen (siehe Abbildung 17) ausgewählt. Dieser Komplex besteht aus zwei Gebäudekomplexen: Gebäude 1-2 und Gebäude 3, wobei Gebäude 1-2 wiederum aus zwei Gebäuden in Form von Gebäudeflügeln besteht, die nur in einem schmalen Bereich durch Übergänge im 1. und 2. Obergeschoss verbunden sind.

Für die Umsetzung der Fallstudie der vorliegenden Arbeit wurde der Gebäudekomplex 1-2 (Im Folgenden als Bürokomplex 1-2 bezeichnet) ausgewählt. Und zwar aus folgenden Gründen:

- Es handelt sich um einen klassischen Bürokomplex, bestehend aus zwei in U-Form angeordneten, nur in einem schmalen Bereich aneinandergrenzenden einzelnen Gebäuden. Diese sind jeweils ausgestattet mit mehreren Zugängen und damit auch über Außenwege miteinander verbunden. Der Bürokomplex 1-2 lässt sich demzufolge als Campus darstellen.
- Der Autor der vorliegenden Arbeit hat Zugang zum Gebäudekomplex.
- Für Bürokomplex 1-2 ist ein digitales Gebäudemodell in Form von CAD-Daten verfügbar.
- Die Größe und Komplexität des Gebäudekomplexes lassen sich im Rahmen dieser Arbeit erfassen.

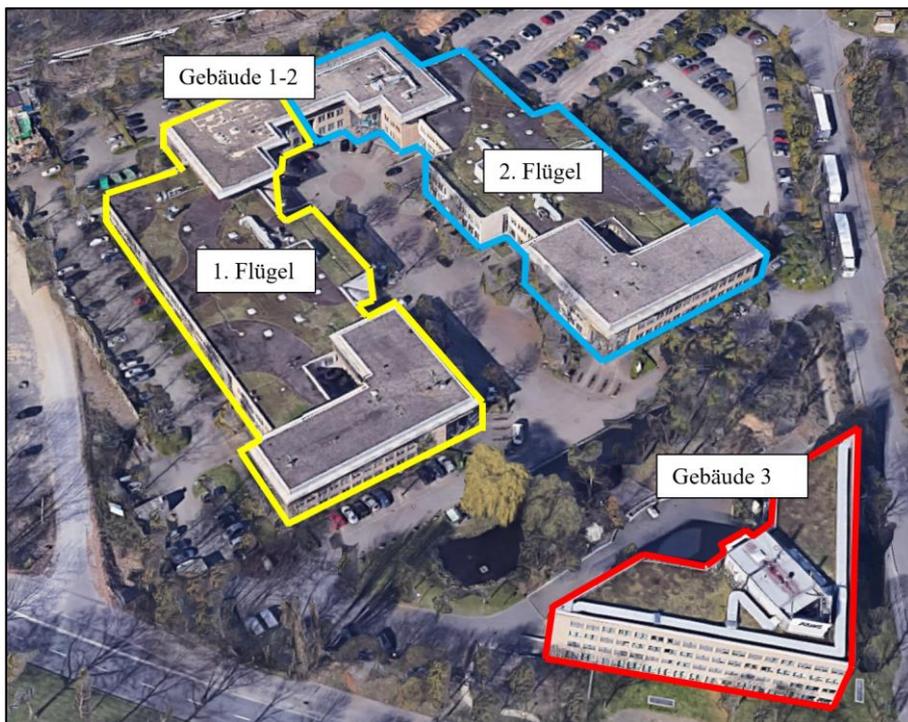


Abbildung 17: Bürogebäudekomplex "Servicepark Emscherschnellweg"

- Die Wegfindung innerhalb des Gebäudekomplexes ist aus mehreren Gründen erschwert. Dabei ist die Wegfindung für solche Benutzer besonders erschwert, die mit den Räumlichkeiten des gesamten Bürokomplexes oder von einzelnen Teilbereichen nicht vertraut sind. Im Einzelnen:
 - › Der Gebäudekomplex weist zahlreiche Eingangspunkte auf.
 - › Es existiert ein nicht-intuitives Nummerierungs- und Benennungssystem.
 - › Es fehlen Beschilderungen.
 - › Es gibt mehrere Verbindungswege zwischen den beiden Gebäuden, die sich zudem in verschiedenen (aber nicht allen) Stockwerken befinden.
 - › Der Zutritt zu verschiedenen Gebäudebereichen ist auf spezielle Benutzergruppen eingeschränkt.
 - › Der Gebäudekomplex ist nicht (durchgängig) barrierefrei. Für Fußgänger und Rollstuhlfahrer ergeben sich damit zum Teil unterschiedliche Routen zwischen zwei POIs.

Aus diesen Gründen bietet es sich an, an diesem Beispiel zu untersuchen, ob und inwieweit ein Campus-Routing-Informationssystem nach der Methodik von Wilkening et al. erstellt werden kann und ob dieses dann auch praktisch geeignet ist und den Prozess der Innennavigation vereinfacht.

4.2 Datenvorverarbeitung

Beginnend mit einer Sichtung der Daten hinsichtlich der Nutzbarkeit für den speziellen Anwendungsfall eines Campus-Routing-Informationssystems beschreibt dieses Kapitel die Prozessschritte der Vorverarbeitung der Daten, die die Basis für den weiteren Workflow zur Umsetzung des CRIS bilden. Hierbei wurde grundlegend nach der in Kapitel 3.3 beschriebenen Methodik von Wilkening et al. vorgegangen.

Der Methode wurde allerdings ein zusätzlich notwendiger Verarbeitungsschritt hinzugefügt, indem topologische Korrekturen ergänzt wurden (siehe Kapitel 4.2.4). Außerdem wurde der Schritt *Generalisierung und Sichtung der CAD-Daten*, wie bereits in Kapitel 3.3 beschrieben, aus Gründen der Übersichtlichkeit in zwei separate Schritte aufgeteilt. Daraus ergab sich im Vergleich zur Methodik von Wilkening et al. eine im Detail veränderte und erweiterte Vorgehensweise für die Datenvorverarbeitung mit den folgenden Einzelschritten:

- Sichtung der CAD-Dateien
- Generalisierung
- Generierung neuer CAD-Dateien
- Topologische Korrekturen
- Projektion

4.2.1 Sichtung der CAD-Daten

Als erster Schritt wurde eine inhaltliche Inspektion der für den Bürokomplex 1-2 verfügbaren CAD-Daten durchgeführt, um ihre spezifische Brauchbarkeit für den Anwendungsfall zu überprüfen.

Diese CAD-Daten liegen als nicht georeferenzierte DWG Dateien vor. Bei DWG™ handelt es sich um ein proprietäres Binärdateiformat zum Speichern von zweidimensionalen und grundsätzlich auch dreidimensionalen Konstruktionsdaten und Metadaten [35]. Für den Bürokomplex 1-2 liegen aber ausschließlich zweidimensionale Daten vor, jeweils getrennt für die einzelnen Etagen des Komplexes.

Abbildung 18 zeigt den CAD-Plan des Erdgeschosses von Bürokomplex 1-2. Eine vergrößerte Ansicht dieses Plans und die Pläne der anderen Etagen sind im Anhang A.1 zu finden.

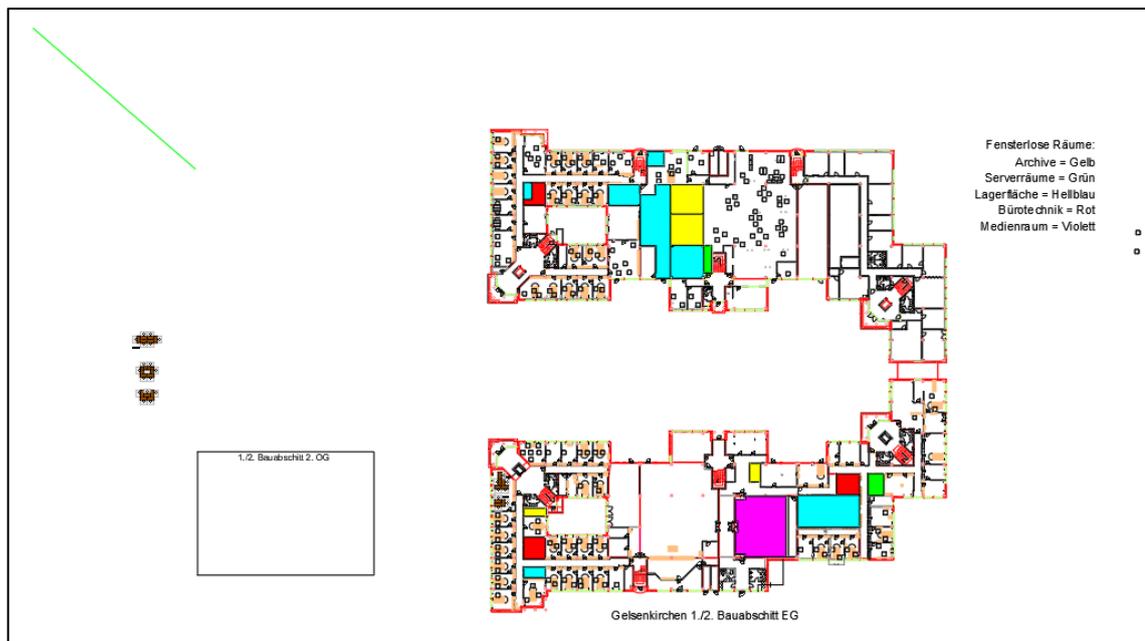


Abbildung 18: CAD-Daten zum Erdgeschoß des Bürokomplexes 1-2

Im Rahmen dieser Arbeit wurde zur Sichtung und Aufbereitung der im DWG-Format vorliegenden CAD-Daten des Bürokomplexes 1-2 die Software AutoCAD eingesetzt.

Dabei wurde untersucht, inwieweit die vorliegenden CAD-Daten bereits gemäß Wilkening et al. (siehe Kapitel 3.3.1) den Anforderungen zur Verarbeitung durch Indoor-Navigationssysteme entsprechen und an welchen Stellen zusätzliche Vorverarbeitungsschritte erforderlich sind. Das Ergebnis dieser Untersuchung ist in Tabelle 9 dargestellt.

Tabelle 9: Erfüllungsgrad der Anforderungen an die CAD-Daten von Bürokomplex 1-2 gemäß Wilkening et al.

#	Anforderung	Erfüllt? Ja ✓/Nein ✗	Erläuterung
1	Generalisierung	✗	Die vorliegenden CAD-Dateien enthalten Informationen, die für das CRIS nicht relevant sind.
2	Kategorisierung von Grundrisslinien und Namenskonsistenz	✓	Die vorhandenen Grundrisslinien sind korrekt in entsprechenden Layern kategorisiert. Die Namen sind konsistent.

3	Kategorisierung von Innenräumen	✘	Räume sind zwar partiell entsprechend ihrer Funktion eingefärbt und eine zugehörige Legende ist vorhanden, doch sind diese Kategorisierungen nicht vollständig. Auch liegen die Raumkategorien nicht als Annotationen vor.
4	Projektion	✘	Die CAD-Daten sind keinem Koordinatenreferenzsystem zugeordnet.

Allerdings zeigte sich im Zuge der weiteren Bearbeitung der in dieser Arbeit durchgeführten Fallstudie zur Erstellung eines CRIS für Bürokomplexe, dass diese Anforderungen an die CAD-Daten um zusätzliche Anforderungen erweitert werden müssen, da bei Nichteinhaltung dieser zusätzlichen Anforderungen im späteren Verlauf der Bearbeitung des Workflows Probleme entstehen (siehe dazu auch die Kapitel 4.2.3 und 4.2.4). Diese zusätzlichen Anforderungen an die CAD-Daten sind in der folgenden Tabelle formuliert:

Tabelle 10: Erweiterte Anforderungen an CAD-Gebäudepläne

#	Anforderung	Beschreibung
5	Vollständigkeit architektonischer Merkmale	Zeigen die CAD-Grundrisse alle benötigten architektonischen Merkmale? Innen- / Außenwände, Türen, Raumteiler, Aufzüge, Aufzugstüren usw. müssen sichtbar sein und sich jeweils innerhalb eines eigenen Layers befinden. (Möbel, Elektrik und sanitäre Anlagen können ebenfalls enthalten sein, sollten jedoch in getrennten Layern vorliegen)
6	Identifizierung von Innenräumen	Liegen in den CAD-Dateien Beschriftungen / Annotationen für die Raumnamen vor?
7	Verfügbarkeit von Höhendaten	Ist die Grundhöhe des Gebäudes (ein Wert und eine Beschreibung, woher dieser Wert stammt) enthalten? Ist die Etagenhöhe festgehalten?
8	Geometrien sind topologisch sauber	Ist die Konnektivität von gezeichneten Features gegeben? Sind Ecken von Räumen verbunden? Berühren sich Innen- / Außenwände an Kanten oder an Schnittpunkten? Sind die Geometrien frei von Under- und Overshoots, Polylines mit einer Länge von Null, überlappenden Objekte, Fangfehlern, Schnittfehlern und / oder Duplikaten?

9	CAD-Pläne liegen als vollständige Etagenpläne vor	Befinden sich Features, die verschiedenen getrennten Etagen zugeordnet sind, auch in getrennten CAD-Layern/ -Plänen? Befinden sich Features, die den gleichen Etagen zugeordnet sind, in denselben CAD-Layern/ -Plänen?
10	Annotationen können zugeordnet werden	Liegen Annotationen innerhalb der Grenzen der zugehörigen Polygone?

Inwieweit die vorliegenden CAD-Daten von Bürokomplex 1-2 diese zusätzlichen Anforderungen erfüllen, zeigt Tabelle 11.

Tabelle 11: Erfüllungsgrad der erweiterten Anforderungen an die CAD-Daten von Bürokomplex 1-2

#	Anforderung	Erfüllt? Ja ✓/Nein ✗	Erläuterung
5	Vollständigkeit architektonischer Merkmale	✓	Alle benötigten architektonischen Merkmale wie Wände, Türen und Treppen sind vorhanden.
6	Identifizierung von Innenräumen	✗	Es liegen keine Annotationen für die Identifizierung von Innenräumen vor.
7	Verfügbarkeit von Höhendaten	✗	Es liegen keine Höhendaten vor.
8	Geometrien sind topologisch sauber	✗	Die vorliegenden CAD-Daten sind topologisch unsauber (Lücken zwischen Wänden und Türen, Wände aneinandergrenzender Räume berühren sich nicht)
9	CAD-Pläne liegen als vollständige Etagenpläne vor	✓	Die CAD-Daten liegen konsistent und getrennt für die jeweiligen Etagen des Gebäudes vor
10	Annotationen können zugeordnet werden	✗	Es liegen keine Annotationen für die Kategorisierung und Identifizierung von Innenräumen vor.

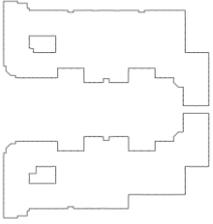
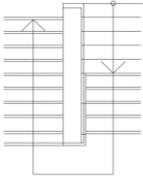
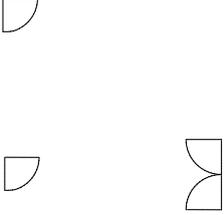
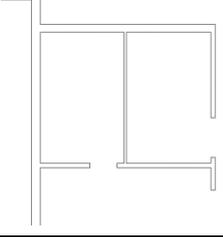
Aus Tabelle 9 und Tabelle 11 geht hervor, dass die CAD-Daten einige Anforderungen zur Verarbeitung nicht erfüllen und daher entsprechend zusätzlich vorverarbeitet werden mussten. Im Einzelnen:

- Neben Daten, die für die Innenraumnavigation erforderlich oder zumindest hilfreich sind, enthalten die vorliegenden CAD-Dateien auch umfangreiche Informationen, die für das Campus Routing Informationssystem nicht relevant sind. Anforderung #1 ist demnach nicht erfüllt. Um Verwirrung durch sehr detaillierte, aber nicht benötigte CAD-Dateien zu vermeiden, ist vor der Erstellung eines CRIS eine Bereinigung der CAD-Daten (Generalisierung) erforderlich [43]. Diese wird in Kapitel 4.2.2 beschrieben.
- In den CAD-Daten fehlen auch Annotationen sowohl für die Kategorisierung (Anforderung #3) als auch für die Identifizierung (Anforderung #6) von Innenräumen. Damit ist auch Anforderung #10 nicht erfüllt. In der Vorverarbeitung der Daten sind also entsprechende Annotationen zu generieren und zuzuordnen. Dieser Vorverarbeitungsschritt wird in Kapitel 4.2.3 beschrieben.
- Die vorliegenden CAD-Daten sind topologisch unsauber (Anforderung #8) und müssen dahingehend bereinigt werden (siehe Kapitel 4.2.4).
- Außerdem sind sie keinem Koordinatenreferenzsystem zugeordnet (Anforderung #4) und müssen entsprechend auf ein Koordinatensystem projiziert werden (siehe Kapitel 4.2.5).
- Zwar ist auch Anforderung #7 nicht erfüllt, da die CAD-Daten keine Höhendaten enthalten. Da in der Fallstudie aber lediglich eine zweidimensionale bzw. eine vereinfachte dreidimensionale Darstellung ohne exakte Etagenhöhen angestrebt wird, kann diese Anforderung im vorliegenden Fall vernachlässigt werden.

4.2.2 Generalisierung

Im Rahmen der Generalisierung wurden nicht benötigte Layer der CAD-Daten entfernt. Dies umfasste zum einen leere oder fehlerhaft gefüllte Layer und zum anderen Layer, die zwar korrekt gefüllt sind, deren Inhalte aber für das CRIS nicht verwendet werden. Beispiele für Layer, die für das CRIS von Bürokomplex 1-2 nicht verwendet wurden, sind Metadaten wie Legenden und Maßstäbe. Ebenso wurden Layer entfernt, die nicht-statische Elemente, wie Möbel (Tische, Schränke, usw.) enthalten, da die Platzierung von Möbeln in Bürogebäuden oft dynamischen Veränderungen unterliegt und nicht sichergestellt werden kann, dass die in den CAD-Daten enthaltenen Positionen noch der aktuellen Realität entsprechen. Tabelle 12 zeigt die verbleibenden Layer der CAD-Daten.

Tabelle 12: Verbleibende Layer der CAD-Daten nach der Generalisierung

Layer	Beschreibung	Geometrie
Gebäudegrundfläche	Im Layer <i>Gebäudegrundfläche</i> befindet sich die vollständige Umrissgeometrie der jeweiligen Etage. In der 1. und 2. Etage befindet sich in diesem Layer also nicht die Umrissgeometrie des gesamten Gebäudes. Im Erdgeschoss entspricht die Umrissgeometrie der Gebäudegrundfläche.	
Säulen	Im Layer <i>Säulen</i> finden sich die Umrissgeometrien der Säulen.	
Transitionen	Der Layer <i>Transitionen</i> umfasst sowohl Features für Treppen als auch für Aufzüge.	
Türen	Der Layer <i>Türen</i> umfasst Features für Türen. Die Geometrie zeigt dabei auch die Öffnungsrichtung der Tür in Form eines Viertelkreises an.	
Innenwände	Wände werden durch Liniengeometrien im Layer <i>Innenwände</i> dargestellt.	
Räume	Im Layer <i>Räume</i> liegen die einzelnen Räume als Umrissgeometrien vor.	

4.2.3 Generierung neuer CAD-Daten

Da in den vorliegenden CAD-Daten semantische Informationen (Annotationen) zu den Räumen und ihrer Nutzung fehlen, mussten diese Informationen ergänzt werden. Denn die Semantik von Innenräumen hat in der Innenraumnavigation eine besondere Bedeutung, auf die bereits in Kapitel 2.1.1 eingegangen wurde. So lässt sich aus ihr beispielsweise ableiten, wie ein Raum im Rahmen der Navigation genutzt werden soll. Ein Flur oder Treppenhaus wird anders genutzt als ein Büro- oder Seminarraum. Auch für Navigationsaufgaben wie „Wo finde ich die nächstgelegene Toilette?“ ist der Kontext der Räume wichtig. Aus diesem Grund mussten alle relevanten vorliegenden Kontextinformationen in das Modell eingearbeitet werden.

In den für den Bürokomplex 1-2 vorliegenden CAD-Daten fehlten ausreichende semantische Informationen zur Bezeichnung und Typisierung von Räumen. Die entsprechenden CAD-Pläne wurden daher um Textinformationen zu Raumbezeichnungen (Identifikationsnummern) und Raumfunktionen erweitert. Auf diese Weise wurden Annotationslayer mit Raumnamen und Raumtypen erstellt, wobei darauf geachtet wurde, für alle Etagen das gleiche Format zu wählen. Die Raumnamen und -typen wurden durch eine Begehung des Gebäudes ermittelt und konnten teilweise von im Gebäude aushängenden Fluchtplänen übernommen werden. Abbildung 19 zeigt einen Ausschnitt der bearbeiteten CAD-Pläne. Allen Innenräumen wurden Annotationen sowohl für den Raumnamen als auch für den Raumtyp hinzugefügt.

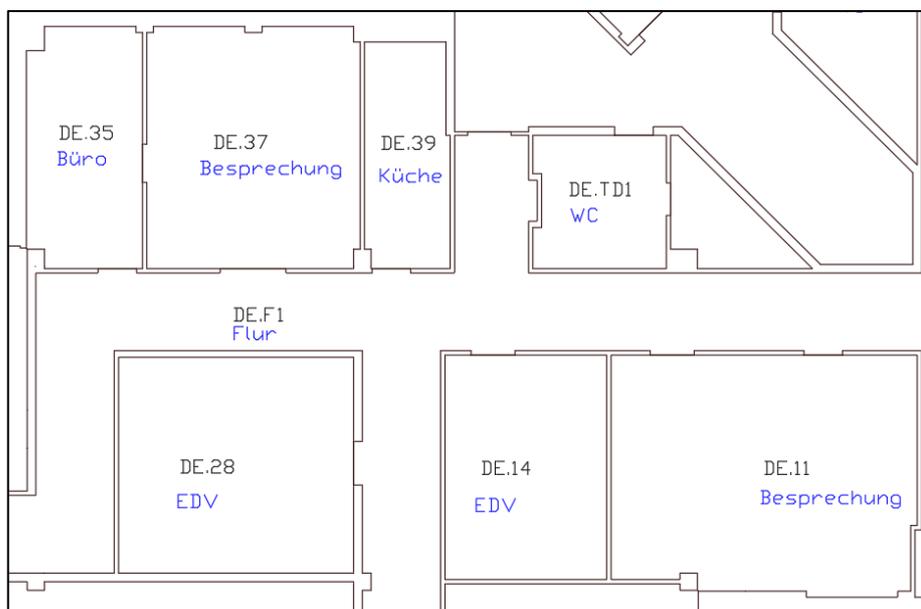


Abbildung 19: CAD-Darstellung von Innenräumen des Bürokomplexes 1-2 mit Annotationen für Raumnamen und Raumtypen

4.2.4 Topologische Korrekturen

Nachdem im Zuge der Generalisierung die CAD-Daten auf die relevanten Layer bereinigt und sie anschließend hinsichtlich geometrischer und semantischer Korrektheit geprüft und vervollständigt wurden, mussten die Daten dahingehend aufbereitet werden, dass sie auch qualitativ für eine Weiterverarbeitung geeignet sind. Dazu gehört insbesondere, dass die in den Daten verwendeten Geometrien auch topologisch korrekt sind. So müssen Räume, mit Ausnahme ihrer definierten Ein- und Ausgänge, vollständig geschlossen sein. Auf der anderen Seite müssen Räume an Stellen, an denen Ein- und Ausgänge existieren, entsprechende Öffnungen in den Geometrien aufweisen.

In den vorliegenden CAD-Daten von Bürokomplex 1-2, mussten zwei Typen topologischer Unsauberkeiten manuell korrigiert werden:

- Lücken zwischen Wand- und Türgeometrien wurden geschlossen. Abbildung 20 zeigt den Zustand vor der Aufbereitung: Zwischen Tür (schwarz) und Wand (grau) ist in einem sehr großen Kartenmaßstab eine kleine Lücke zu erkennen. Abbildung 21 zeigt, dass diese Lücke durch eine topologische Korrektur geschlossen wurde.

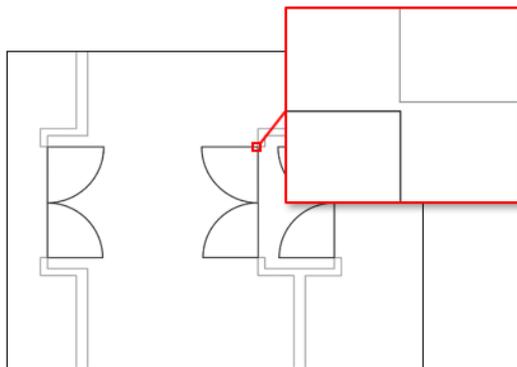


Abbildung 20: Tür und Wand liegen nicht aneinander (*unbearbeitet*)

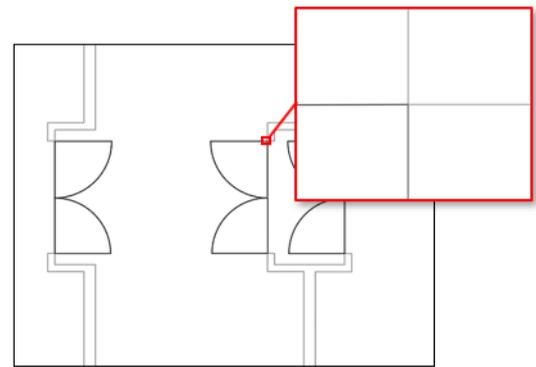


Abbildung 21: Tür und Wand berühren sich (*korrigiert*)

- Fehlerhafte Positionen von Türgeometrien wurden korrigiert. Zahlreiche Türen waren leicht versetzt zu den angrenzenden Wänden dargestellt und mussten in ihrer Position korrigiert werden, da sich ansonsten im Indoor-Navigationsmodell geschlossene (d.h. nicht betretbare) Räume ohne Zugangöffnung ergeben hätten. Abbildung 22 zeigt die Wand des Flures (grau) leicht versetzt unterhalb der Tür (schwarz), so dass hier die Tür vom Flur aus betrachtet hinter der geschlossenen Wand liegt. Abbildung 23 zeigt die geänderte Position der Tür im Zuge einer topologischen Korrektur, so dass die Geometrie des Flurs nun lückenlos in die Geometrie der Tür übergeht.

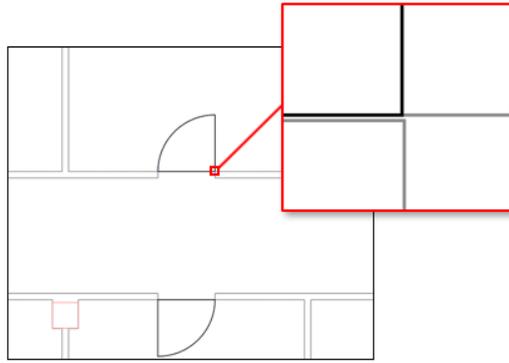


Abbildung 22: Angrenzende Räume be-
rühren sich nicht (*unbearbeitet*)

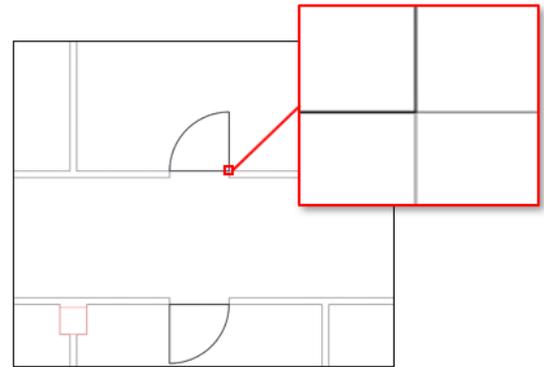


Abbildung 23: Angrenzende Räume liegen
aneinander (*korrigiert*)

4.2.5 Projektion

Um die so bearbeiteten CAD-Pläne von Bürokomplex 1-2 nun in die Außenumgebung einzubetten, mussten sie georeferenziert werden. Dieser Schritt wurde, wie bereits in Kapitel 3.2.3.2 beschrieben, mit ArcGIS Pro durchgeführt. Hierfür wurde eine geeignete, georeferenzierte Hintergrundkarte der Umgebung des Bürokomplexes geladen. Daraufhin wurde mit dem Tool *Georeference* von ArcGIS Pro eine .prj-Datei erstellt, die die CAD-Daten um die entsprechenden Metadaten zur Projizierung des Gebäudes ergänzt. In Abbildung 24 ist zu sehen, wie die projizierten CAD-Daten des Bürokomplexes 1-2 auf eine Hintergrundkarte im gleichen Koordinatenreferenzsystem gelegt wurden.



Abbildung 24: Projizierte CAD-Daten des Bürokomplexes 1-2

Bei der für die Fallstudie verwendete Projektion handelt es sich um die WGS84 Web Mercator Auxiliary Sphere (WMAS), EPSG: 3857. Diese Projektion wurde ausgewählt, da das CRIS für den Bürokomplex im Rahmen dieser Fallstudie entsprechend der Methodik von Wilkening et al. als Webapplikation implementiert wird. Für Webanwendungen ist

WMAS ein de-facto-Standard und im Hinblick auf Indoor-Mapping gut geeignet, um Gebäude und Räume ohne Verzerrung darzustellen, da es sich um eine winkeltreue Projektion handelt, was bedeutet, dass die Form relativ kleiner Objekte erhalten bleibt.

4.3 Datenverarbeitung

Die im nun folgenden Workflowschritt durchgeführte Datenverarbeitung verwendet die aufbereiteten CAD-Dateien des Bürokomplexes 1-2 als Input, um auf Basis des ArcGIS Indoors Information Models ein für den Bürokomplex 1-2 spezifisches Indoor-Navigationsmodell zu erstellen, das alle Innenräume zu einem gemeinsamen navigationsfähigen Netzwerk verbindet. Die Verarbeitung erfolgte mit ArcGIS Indoors in ArcGIS Pro.

4.3.1 Erstellung und Veröffentlichung einer Campus-Grundkarte

Um dem Nutzer auch im Umfeld der Gebäude bestmögliche Orientierung zu bieten beziehungsweise die verschiedenen Gebäude selbst richtig zuordnen zu können, wurde in diesem Schritt zunächst eine Grundkarte bereitgestellt, in die die Gebäude des Campus eingebettet werden.

Da der Campusbereich für den gesamten Bürokomplex „Servicepark Emscherschnellweg“ bereits in der freiverfügbaren Grundkarte von OpenStreetMap¹⁸ gut dargestellt wird (siehe Abbildung 25), konnte im Rahmen der Fallstudie auf diese bestehende Grundkarte zurückgegriffen werden.



Abbildung 25: Servicepark Emscherschnellweg in der OpenStreetMap-Grundkarte¹⁹

¹⁸ <https://www.openstreetmap.org/about>

¹⁹ [https://www.openstreetmap.org/search?query=Servicepark Emscherschnellweg](https://www.openstreetmap.org/search?query=Servicepark+Emscherschnellweg)

Diese Grundkarte zeigt Gebäudegrundrisse aller Gebäude des Bürokomplexes. Im Außenbereich werden begehbare Wege sowie Parkplätze dargestellt. Außerdem sind die auf dem Gelände vorhandene Wasserfläche und umliegende Grünflächen und Straßen erkennbar, die als signifikante Orientierungspunkte dienen können.

4.3.2 Anlegen des ArcGIS Indoors Information Models

Die vorbereiteten CAD-Daten wurden nun zunächst importiert und in das Schema des AIIM überführt. Anschließend wurde auf dieser Basis das routingfähige Netzwerk für das Navigationsmodell zum Campus des Bürokomplexes 1-2 erstellt. Abschließend erfolgte die visuelle Aufbereitung der Daten in Karten.

4.3.2.1 Import der CAD-Daten

Um die vorverarbeiteten CAD-Daten in das ArcGIS Indoors Information Model zu überführen, erfolgte ein Import der CAD-Daten. Hierzu wurde in ArcGIS Pro zunächst mit dem integrierten Tool *Create Indoors Database* eine leere ArcGIS Indoors-Geodatabase erzeugt und anschließend eine Konfigurationsdatei sowie das Tool *Floorplans To Indoors* (siehe Abbildung 26) verwendet, um die verschiedenen Layer der CAD-Gebäudepläne in Feature-Classes der ArcGIS Indoors-Geodatabase zu überführen und diese mit zusätzlichen Attributen anzureichern.

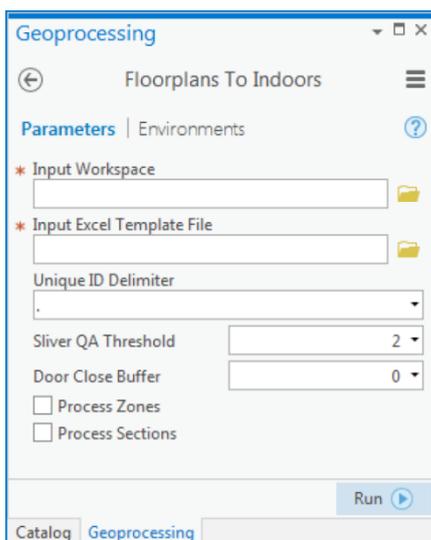


Abbildung 26: Benutzeroberfläche des Werkzeugs *Floorplans To Indoors* in ArcGIS Pro

Da für die einzelnen Etagen des Bürokomplexes 1-2 separate CAD-Pläne vorlagen, musste für den Import definiert werden, welcher CAD-Plan welcher Etage entspricht und in welcher Reihenfolge diese Etagen übereinander liegen. Im konkreten Fall wurde die Reihenfolge wie in Tabelle 13 dargestellt definiert. Auch wurden Informationen zu

Etagen- und Gebäudeattributen wie Name, Adresse oder Höhe hinzugefügt, die beim Import entsprechend als Attribute den jeweiligen Features hinzugefügt wurden.

Tabelle 13: Vertikale Reihenfolge der Etagen

Etage	Vertikale Reihenfolge
EG	0
1. OG	1
2. OG	2

Um die Features aus den CAD-Layern in Features des ArcGIS Indoors Information Models zu überführen, wurde ein Mapping definiert, welches die Features der CAD-Layer entsprechenden AIIM Feature-Classes zuordnet. Eine Übersicht der zu importierenden Layer der CAD-Daten findet sich in Tabelle 12 in Kapitel 4.2.2. Eine Übersicht der Features des AIIMs findet sich in Tabelle 4 in Kapitel 3.2.3.1. Das durchgeführte Mapping ist in folgenden Tabelle 14 dargestellt.

Tabelle 14: Zuordnung von Features aus CAD-Layern zu AIIM Feature-Classes

CAD-Layer	AIIM Feature-Class
Gebäudegrundfläche	Facilities
Gebäudegrundfläche	Levels
Räume	Units
Säulen	Details
Transitionen	Details
Türen	Details
Innenwände	Details

Zusätzlich wurden die in Kapitel 4.2.3 beschriebenen Annotationslayer mit Raumnamen und Raumtypen auf Attribute der Units gemappt. Eine Zuordnung von Annotation zu der jeweiligen Unit wurde über eine räumliche Abfrage durchgeführt. Diese räumliche Zuordnung ist eindeutig, da die Räume bzw. Units im AIIM überlappungsfrei definiert werden. Das Mapping ist in Tabelle 15 dargestellt.

Tabelle 15: Zuordnung von Annotationen aus CAD-Layern zu AIIM Unit-Attributen

CAD-Annotationlayer	AIIM Unit-Attribut
Raumnamen	UNIT_ID
Raumnamen	UNIT_NAME
Raumtypen	UNIT_USE_TYPE

In Abbildung 27 werden die unterschiedlich kategorisierten Innenräume im resultierenden Gebäudemodell für den Bürokomplex 1-2 mit farblicher Differenzierung dargestellt. So sind Büroräume beispielsweise gelb und Flure hellblau eingefärbt. Bereiche, die keiner Kategorie zugeordnet werden konnten, da beispielsweise der Zutritt zu dem Gebäudeabschnitt für eine Prüfung im Rahmen dieser Arbeit nicht gegeben war, wurden ebenfalls gleich eingefärbt (dunkelrosa).

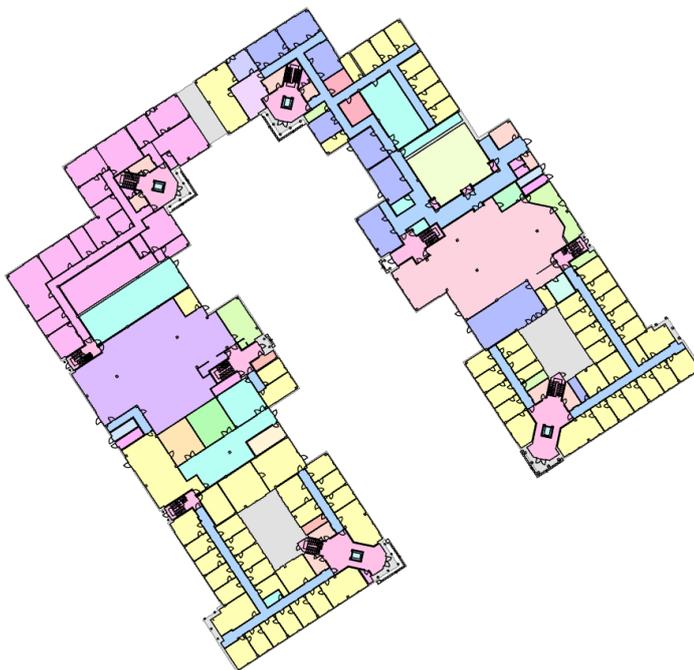


Abbildung 27: Gebäudemodell des Bürokomplexes 1-2 auf Basis des AIIM mit farblicher Differenzierung unterschiedlich kategorisierter Innenräume

Abbildung 28 zeigt eine vergrößerte Darstellung eines Ausschnitts des Gebäudemodells für den Bürokomplex 1-2 auf Basis des AIIM. Dabei sind die Attribute für Raumtyp und Raumnamen (in Klammern) als Beschriftung eingeblendet.

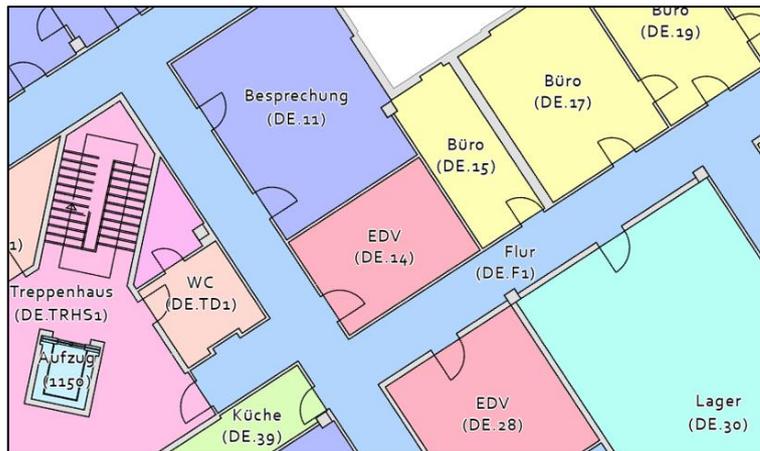


Abbildung 28: Ausschnitt aus dem Gebäudemodell für den Bürokomplex 1-2 auf Basis des AIIM mit kategorisierten Innenräumen

An diesem Ausschnitt lässt sich gut erkennen, dass Räume gleichen Raumtyps entsprechend gleich eingefärbt sind.

Nun ist das ArcGIS Indoors Information Model für den Bürokomplex 1-2 mit den grundlegenden Elementen gefüllt. Im folgenden Kapitel wird beschrieben, wie dieses AIIM um Points of Interest, die den Anwendungsfall unterstützen, erweitert wurde.

4.3.2.2 Points Of Interest

Die POIs für das AIIM des Bürokomplexes 1-2 wurden nicht direkt aus den CAD-Daten exportiert, sie konnten aber aus importierten Features abgeleitet werden. Damit wurde erreicht, dass jeder einzelne Raum als ein potenzieller Point of Interest für die Navigation als Ziel einer Navigationsaufgabe verwendet werden kann. Da Räume aber keine Punktgeometrien darstellen, das AIIM für POIs aber Punktgeometrien vorsieht, mussten entsprechende attributierte Punktgeometrien erzeugt werden. Hierzu wurden aus den Polygonen der Räume (bzw. der Units des AIIM) Punkte generiert, die mittig innerhalb des jeweiligen Raums liegen. Dabei wurden Attribute der jeweiligen Units, wie die Raumbezeichnung, auf den zugehörigen POI übertragen. Weitere Attribute, wie die Kapazität von Seminarräumen, wurden bei Bedarf manuell ergänzt.

POIs, die nicht aus den CAD-Daten abgeleitet werden können, müssen aus anderen Quellen importiert oder manuell erfasst werden. Für die vorliegende Fallstudie wurden beispielhaft POIs identifiziert, die im Büroalltag relevant sind (z.B. Drucker) oder aber in Notsituationen (z.B. Feuerlöscher und Defibrillatoren) benötigt werden.

Auch wurden markante Orientierungspunkte, die bei der Routenberechnung berücksichtigt werden und die entsprechend die Anweisungen zur Wegführung ergänzen sollten, wurden im Rahmen der Fallstudie als POIs modelliert.

Des Weiteren wurden Veranstaltungen, wie sie in Bürokomplexen als temporär gültige Navigationsziele (für Tagungen, Workshops, Events, etc.) benötigt werden, mit einem konkreten Raumbezug und einem Datum als POIs des Typs *Event* definiert.

Wie bereits in Kapitel 3.4.2 beschrieben, ist speziell für Bürogebäude im Sinne eines Connected Workplace zu beachten, dass mit Hilfe eines CRIS Personen gefunden werden müssen. Da aber

- für diese Fallstudie kein IPS installiert wurde und somit die aktuellen Aufenthaltsorte der Mitarbeiter*innen nicht erfasst werden können,
- für eine Umsetzung einer Echtzeit-Ortung von Personen ein komplexes datenschutz- und arbeitsrechtliches Regelwerk zu beachten ist, und daher die vorliegende Arbeit sprengen würde und
- im AIIM eine dynamische Lokalisierung gar nicht vorgesehen ist,

wurde im Rahmen der vorliegenden Fallstudie die Suche nach Personen mit dem CRIS für den Bürokomplex 1-2 auf die Suche nach (statischen Arbeitsplätzen) eingeschränkt. Dabei erfolgte eine Beschränkung auf eine Zuordnung Büroräumen als POIs (gegenüber einer möglichen Zuordnung von Schreibtischarbeitsplätzen innerhalb von Büroräumen).

Diese Beschränkung basierte jedoch nicht auf diesbezüglichen Einschränkungen der Methodik von Wilkening et al. oder des AIIM. So können im Rahmen der Methodik von Wilkening et al. auch Objekte wie Schreibtische als POIs erfasst werden. Auch das AIIM enthält hier keine Einschränkungen. Beide lassen also auch die Definition von Schreibtischarbeitsplätzen in Räumen wie Großraumbüros als POIs zu. Eine für Bürokomplexe mit Großraumbüros, insbesondere im Sinne eines Connected Workplace wichtige Anforderung.

Der Bürokomplex 1-2 verfügt über keine derartigen Großraumbüros, so dass eine Abbildung von Schreibtischen in dieser Fallstudie als nicht sinnvoll erachtet wird. Die konkrete Modellierung von Schreibtischen innerhalb von Büros hätte, insbesondere mit der entsprechend erforderlichen Zuordnung von Personen zu den jeweiligen Schreibtischen in Form von POIs (Stichwort: Personensuche, vgl. Kap. 3.4.2), zu einem erheblichen Mehraufwand ohne zusätzlichen Erkenntnisgewinn bezüglich der dieser Arbeit zugrundeliegenden Fragestellung geführt.

4.3.3 Erstellung einer Campus-Szene

In einer Campus-Szene wurden die aus den CAD-Daten importierten und gemappten Features und die hinzugefügten POIs dreidimensional visualisiert. Für die Darstellung der in der Campus-Szene enthaltenen Elemente für den Campus Bürokomplex 1-2 wurde dabei auf die vom ArcGIS Indoors-Produkt bereitgestellte Symbologie zurückgegriffen.

Um die Suche nach POIs im CRIS für den Bürokomplex 1-2 zu erleichtern, wurden POIs zudem in logische Kategorien eingeteilt. Dabei erwiesen sich die von Esri vorgeschlagenen Hauptkategorien als geeignet:

1. People
2. Sicherheit
3. Dienste
4. Orte und Dinge
5. Events

Der Kategorie *People* wurden Arbeitsplätze (in Form einer Zuordnung zu Büroräumen) zugeordnet.

Unter *Sicherheit* fielen POIs wie Feuerlöscher, Erste-Hilfe-Kästen, Notausgänge und Defibrillatoren.

Unter *Dienste* wurden die aus den Raumkategorien Gebäudemanagement, Kantine und Poststelle abgeleiteten POIs zusammengefasst.

Unter *Orte und Dinge* sind alle weiteren aus Raumkategorien abgeleiteten POIs, wie Besprechungsräume, Büros, Toiletten, usw. sowie Drucker zu finden.

Unter *Events* wurden Veranstaltungen mit temporärer Gültigkeit wie Tagungen, Seminare oder Workshops zusammengefasst.

Die POIs wurden entsprechend ihrer Art und ihrer Kategorisierung mit entsprechenden Symbolen in der Campus-Szene dargestellt. Räumen wie Büros und Fluren, sowie Arbeitsplätzen wurde dabei jedoch kein Symbol zugewiesen, um die gesamte Szene übersichtlich zu halten und sie nicht unnötig mit Symbolen zu überfrachten.

In Abbildung 29 ist zu sehen, wie für die dreidimensionale Darstellung die verschiedenen Etagen auf der Z-Achse auf ihre jeweilige Höhe verschoben wurden. Wände, Türen und Säulen wurden in Richtung der Z-Achse extrudiert. Bei der Extrusion wird die flache 2D-Form vertikal gestreckt, um ein 3D-Objekt zu erstellen.

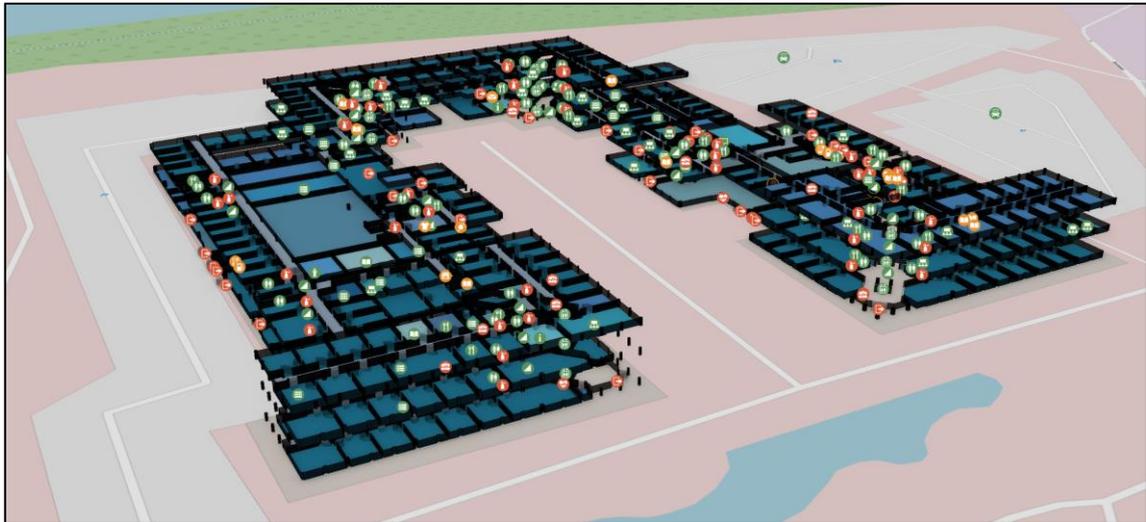


Abbildung 29: Campus-Szene des Bürokomplexes 1-2 mit kategorisierten POIs

4.3.4 Erstellung und Veröffentlichung eines Campus-Netzwerks

In den nachfolgenden Kapiteln (4.3.4.1 - 4.3.4.7) werden die Schritte zur Erstellung und Veröffentlichung des Campus-Netzwerks für den Bürokomplex 1-2 beschrieben.

Entsprechend dem Vorgehen von Wilkening et al. erfolgte dabei zunächst die Generierung des vorläufigen Wegenetzes, also eines dichten Rasters von Kanten über den gesamten potenziell begehbaren Raum der einzelnen Etagen. Anschließend wurden Transitionen angelegt, die die einzelnen Wegenetze der Etagen miteinander verbinden. Das so verbundene Wegenetz wurde sodann auf diejenigen Kanten, die POIs auf direktem Weg verbinden, ausgedünnt und in einem nächsten Schritt hierarchisch gegliedert. Ferner wurden Außenwege angelegt, um das Wegenetz über die Außenbereiche des Campus zu erweitern.

Zusätzlich zu der Methodik von Wilkening et al. wurden in einem weiteren Schritt dem Campus-Netzwerk Orientierungspunkte hinzugefügt, die in der vorgeschlagenen Methodik im Netzwerk nicht berücksichtigt worden sind. Die Relevanz von Orientierungspunkten bei der Wegführung wurde bereits in Kapitel 2.1.4 erläutert.

4.3.4.1 Vorläufiges Wegenetz

Um das vorläufige Wegenetzes zu generieren, welches den gesamten potenziell begehbaren Raum abdeckt, wurde ein dichtes Raster von Knoten über die gesamte Grundfläche der Etagen gelegt und die jeweils benachbarten Knoten durch Kanten verbunden, soweit sich kein Hindernis zwischen den Knoten befand. Hindernisse waren im vorliegenden Fall des Bürokomplexes 1-2 Wände und Säulen.

Durch das Verbinden der Knoten ergab sich ein dichtes Netzwerk aus Kanten, wie in Abbildung 30 dargestellt. Um letztendlich möglichst viele gerade Wege zu erhalten, wurde das Raster in seiner Ausrichtung an der Ausrichtung des Gebäudes orientiert. Darüber hinaus wurde ein Mindestabstand zu den Wänden definiert, um Routen zu verhindern, die unmittelbar an Wänden entlangführen.

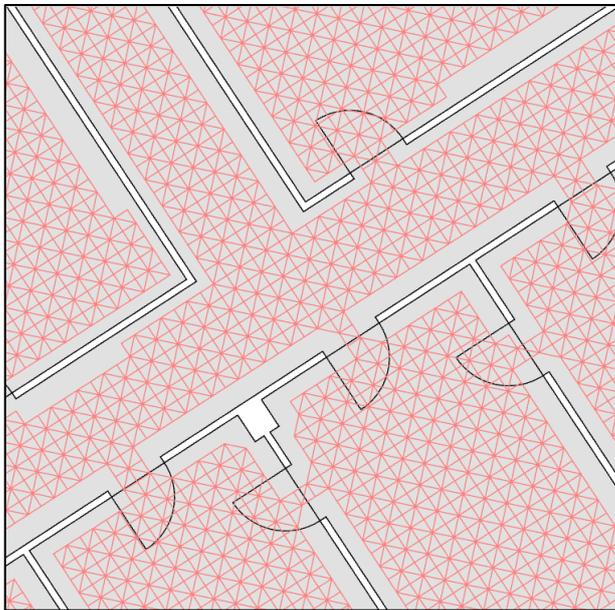


Abbildung 30: Vorläufiges Wegenetz im Gebäudemodell für den Bürokomplex 1-2

An dieser Stelle wurden die Schwächen des AIIM hinsichtlich dynamischer Hindernisse deutlich. In Bürokomplexen werden etwa für die flexible Dimensionierung von Besprechungsräumen verschiebbare/faltbare Trennwände zwischen einzelnen Räumen verwendet. Diese können im AIIM aber entweder als Hindernis zwischen den Räumen definiert werden, so dass im Indoor-Navigationsmodell kein Zugang von einem Raum in den anderen möglich ist, oder aber sie werden an dieser Stelle vollständig ausgeklammert und so die Möglichkeit der Aufteilung eines Raumes in zwei kleinere Einzelräume nicht dargestellt. In der Fallstudie wurde daher die Verschiebbarkeit von Wänden nicht weiter berücksichtigt.

4.3.4.2 Transitionen

Bis zu diesem Punkt wurden alle Etagen noch unabhängig voneinander modelliert und verfügten im Modell über keine Verbindungen untereinander. Da aber die Berechnung von Routen über Etagengrenzen hinweg möglich sein muss, wurden die Wegenetze der einzelnen Etagen mittels Transitionen miteinander verbunden.

Verbindungen zwischen Etagen bestehen zum einen über Treppen (Abbildung 31) und zum anderen über Aufzüge (Abbildung 32), so dass das Wegenetz entsprechend an diesen Stellen erweitert wurde.

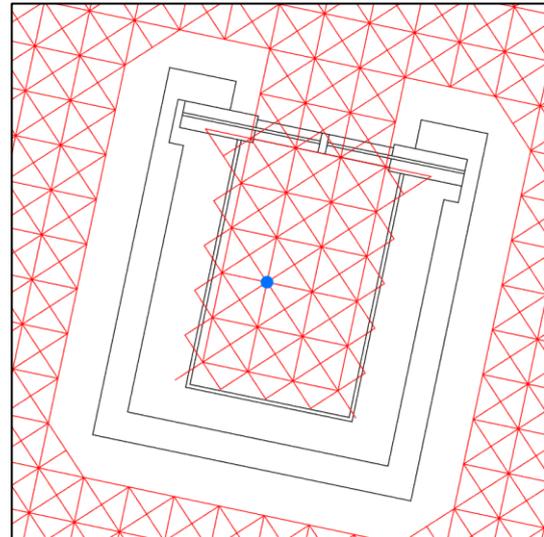
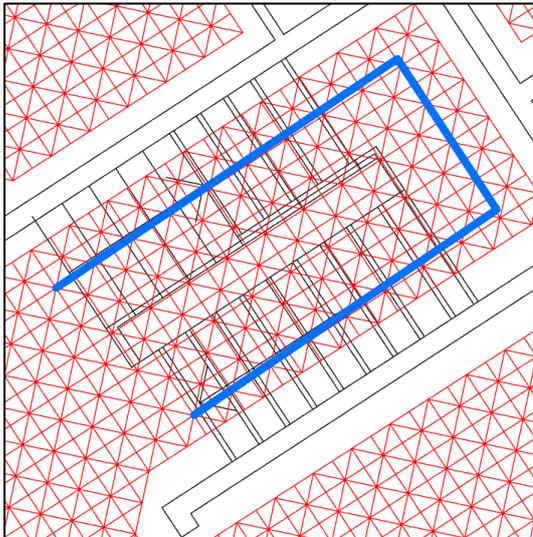


Abbildung 31: Transition entlang einer Treppe im Bürokomplex 1-2 auf Basis des AIIM

Abbildung 32: Transition in einem Aufzug im Bürokomplex 1-2 auf Basis des AIIM

Da Transitionen verschiedene Etagen auf unterschiedlichen Höhen miteinander verbinden, sind in Abbildung 31 und Abbildung 32 nur die zweidimensionalen Repräsentationen der Transitionen dargestellt. Für einen Aufzug, der zwei Etagen senkrecht miteinander verbindet, ergibt sich dadurch die Darstellung als Punkt. Abbildung 33 zeigt die dreidimensionale Repräsentation der Transitionen.

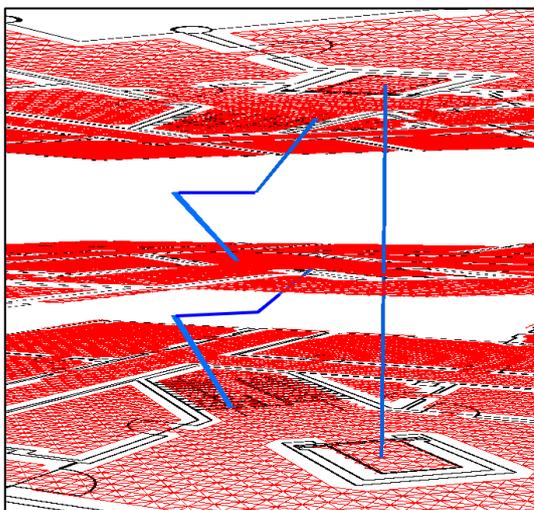


Abbildung 33: Dreidimensionale Repräsentation der Transitionen (blau)

Links im Bild sind die Transitionen der Treppen zu sehen: eine vom Erdgeschoss in die erste Etage und eine von der ersten Etage in die zweite Etage. Die Linien entsprechen hierbei dem Weg, den man zurücklegt, wenn man die Treppen zu Fuß hinauf- bzw. hinabsteigt. Rechts daneben und etwas im Vordergrund befinden sich die Transitionen des Aufzugs als senkrechte Linien zwischen den jeweiligen Etagen.

In Kapitel 2.1.2 wurde bereits beschrieben, dass bei der Wegführung für eingeschränkt mobile Benutzer, die einen Rollstuhl oder auch einen Rollator benutzen oder eine Fußhebeschwäche haben, Stufen und Treppen vermieden werden sollen. Hierfür wurden alle Transitionen des Typs Treppen entsprechend parametrisiert, sodass sie bei der Wegführung für Benutzergruppen mit eingeschränkter Mobilität vermieden werden können.

Innerhalb des Bürokomplexes 1-2 finden sich auch Treppen zur Überwindung kleinerer Höhenunterschiede innerhalb einer Etage. Um auch diese von der Wegführung für Benutzer mit eingeschränkter Mobilität ausschließen zu können, wurden sie im AIIM für den Bürokomplex 1-2 ebenfalls als Transitionen vom Typ Treppe definiert.

4.3.4.3 Wegenetz ausdünnen

Ein dichtes Wegenetz wie in Kapitel 4.3.4.1 dargestellt, gibt die Bewegungsfreiheit in Innenräumen zwar ansatzweise realistisch wieder. Es führt allerdings zu einem hohen Speicherbedarf und ist Ressourcenaufwändig für die Routenberechnung.

Insbesondere für eine statische Routenberechnung, wie sie in der vorliegenden Fallstudie realisiert wird, ist die Möglichkeit, von jeder Koordinate im Raum eine Route zu berechnen, nicht erforderlich. Da der eigene Standort beim statischen Routing keine Rolle spielt, sind nur Wege zwischen benennbaren Objekten beziehungsweise Points of Interest relevant, beispielsweise:

- von Raum FE.11 nach Raum D1.22 oder
- von Technikraum TE.03 zu Feuerlöscher FL.013

Dies führt dazu, dass das Wegenetz hinsichtlich seiner Komplexität optimiert werden kann, indem Kanten, die nicht auf den kürzesten Wegen zwischen POIs liegen, entfernt werden.

Um das vorhandene Netzwerk auszdünnen, wurden daher zunächst die kürzesten Strecken von jedem einzelnen POIs zu seinen jeweils nächstgelegenen 50 POIs berechnet. Alle Kanten, die für keine dieser Strecken genutzt wurden, wurden gelöscht. Diese Schritte erfolgen in ArcGIS Pro mit dem ArcGIS Indoors-Tool *Thin Pathways*.

Abbildung 34 zeigt das ausgedünnte Wegenetz. Gut zu erkennen ist, dass die verbleibenden Kanten zwischen den definierten POIs liegen. Bereiche, in denen keine POIs

liegen und die auch nicht als Verbindungsbereiche zu anderen POIs dienen, wie die hinteren Bereiche von abgeschlossenen Räumen, verbleiben ohne Wegenetz.

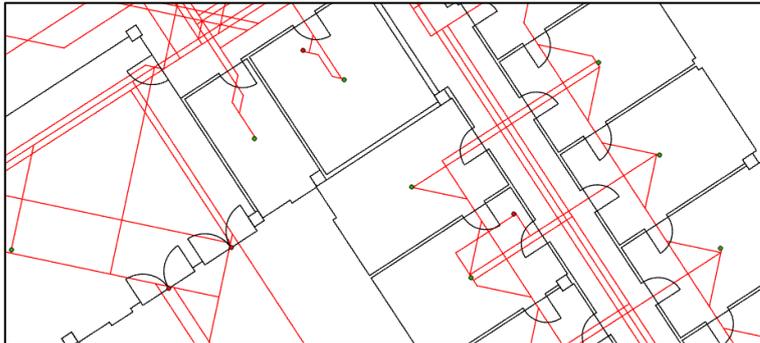


Abbildung 34: Ausschnitt des ausgedünnten Wegenetzes für den Bürokomplex 1-2 auf Basis des AIIM

4.3.4.4 Hierarchische Gliederung des Netzwerks

Im vorliegenden Anwendungsfall wurde allen Kanten, die im Raumtyp „Flur“ liegen, eine höhere Hierarchieebene zugewiesen, um die Wegführung möglichst entlang von Fluren auszurichten und um zu vermeiden, dass berechnete Routen durch Arbeitsräume wie Büros führen, wenn eine alternative geeignete Route möglich ist. Hierdurch ergibt sich ein hierarchisiertes Wegenetz mit primären Wegen und sekundären Wegen (siehe Abbildung 35).



Abbildung 35: Auszug des Wegenetzes für den Bürokomplex 1-2 auf Basis des AIIM mit hierarchischer Kategorisierung (rot: primäre Wege; orange: sekundäre Wege)

4.3.4.5 Anlegen von Außenwegen

Um das Wechseln von einem Gebäude oder Gebäudeteil in einen anderen zu ermöglichen, wurden im Außenbereich manuell Kanten entlang von Wegen angelegt, die alle Ein- und Ausgänge miteinander verknüpfen (siehe Abbildung 36).

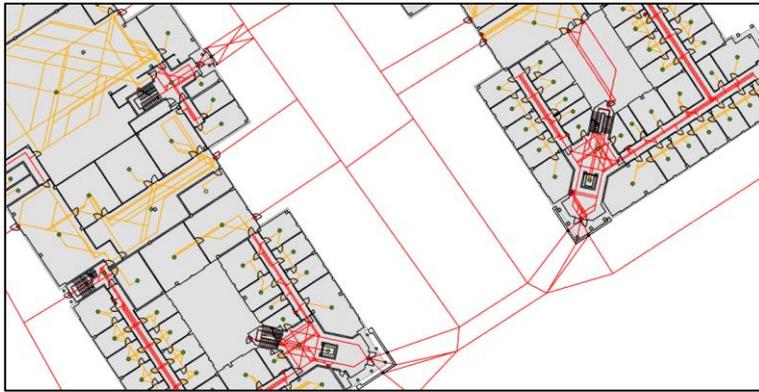


Abbildung 36: Um Außenwege erweitertes Wegenetz für den Bürokomplex 1-2 auf Basis des AIIM

4.3.4.6 Hinzufügen von Orientierungspunkten

In Kapitel 4.3.2.2 wurde beschrieben, dass auch Orientierungspunkte als POIs modelliert wurden. Diese Orientierungspunkte wurden dem Netzwerk nun als *Landmarks* hinzugefügt.

Beim Hinzufügen der Orientierungspunkte ist zu beachten, dass unter Nutzung von ArcGIS Indoors im Zusammenspiel mit ArcGIS Network Analyst jeder Orientierungspunkt innerhalb von 4 Metern Entfernung zu einer berechneten Route, in den Anweisungen zur Wegführung berücksichtigt wird. Daher ist es wichtig, relativ spärlich mit Orientierungspunkten umzugehen und gegebenenfalls nur eine Untermenge von als POIs definierten Orientierungspunkten als *Landmarks* aufzunehmen.

4.3.4.7 Veröffentlichung

Zur Bereitstellung des Netzwerks in Form eines Webdiensts wurde aus ArcGIS Pro ein Kartendienst erstellt und veröffentlicht, dessen Netzwerkanalysefunktion über die Network Analyst-Erweiterung (siehe Kapitel 3.2.2) aktiviert wurde. Mit diesem Webdienst können nun Netzwerkanalysen wie Routenberechnungen auf dem oben erstellten Campus-Netzwerk durchgeführt werden.

4.3.5 Veröffentlichung der Campus-Szene

Die in Kapitel 4.3.3 beschriebene Campus-Szene wurde im ArcGIS Portal bereitgestellt, um sie in eine Webanwendung einzubinden.

Mit ArcGIS Pro wurde anschließend die Campus-Szene als sogenannte Web Scene in das Portal hochgeladen und zur Benutzung freigegeben.

Mit der Veröffentlichung der Campus-Szene waren damit alle Schritte der Datenverarbeitung innerhalb des Workflows zur Erstellung eines CRIS für den Bürokomplex 1-2 nach der Methodik von Wilkening et al. abgeschlossen.

4.4 Webanwendung

In diesem Kapitel wird beschrieben, wie die Webapplikation für die Fallstudie aufgesetzt wurde, mit der das oben beschriebene Navigationsmodell für Routingaufgaben innerhalb des Bürokomplexes 1-2 in Form eines CRIS für Anwender nutzbar gemacht wird.

Außerdem wird beschrieben, wie damit Routen berechnet werden können, welche Parameter dafür verwendet werden können und wie das Ergebnis einer Routenberechnung aussieht.

4.4.1 ArcGIS Indoors Webanwendung für den Bürokomplex 1-2

Für die Realisierung der Webanwendung zum Bürokomplex 1-2 wurde auf ein mit ArcGIS Indoors ausgeliefertes Template für eine Indoors-Webanwendung aufgesetzt. In diese Webanwendung wurden die oben beschriebene, veröffentlichte Campus-Szene, die Campus-Map und der Webdienst zur Routenberechnung eingebunden (siehe Abbildung 37) und so eine spezifische Webapplikation zur Indoor-Navigation im Bürokomplex 1-2 (im folgenden kurz *WebApp BK 1-2*) geschaffen.

Mit dieser spezifischen *Webapp BK 1-2* können nun POIs innerhalb des Campus Bürokomplex 1-2 gefunden, Routen zwischen POIs berechnet und entsprechende Wegbeschreibungen generiert und ausgegeben werden.

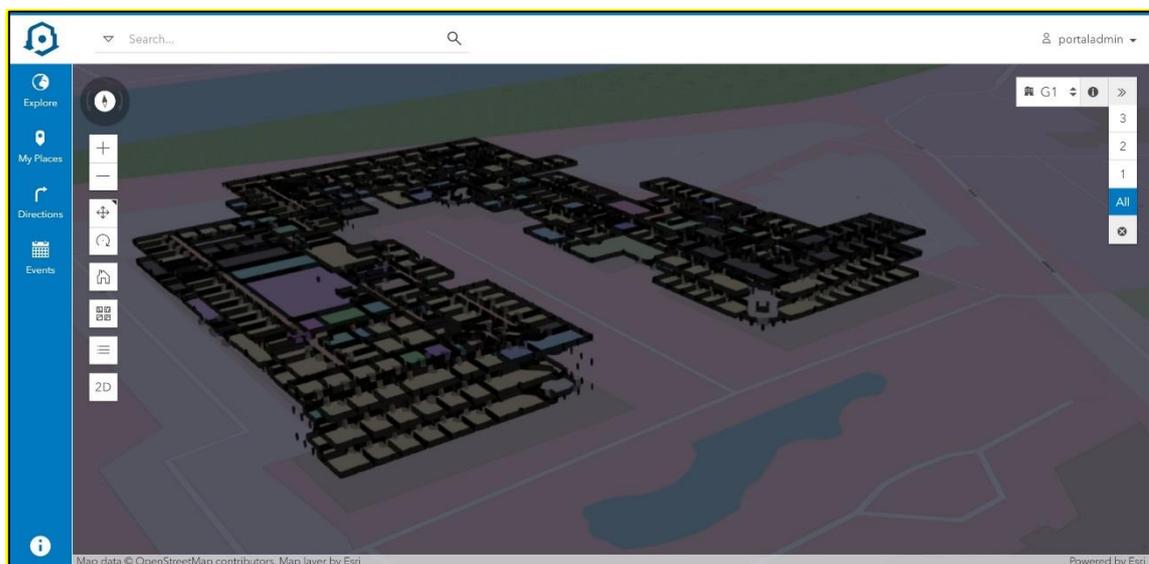


Abbildung 37: Campus-Szene in der *WebApp BK 1-2*

Die ArcGIS Indoors Webanwendung stellt dazu bereits eine Vielzahl von Funktionen bereit, die in der spezifischen Ausprägung *WebApp BK 1-2* genutzt werden können.

So kann beispielsweise zwischen der 3D-Ansicht der Campus-Szene und der 2D-Ansicht der Campus-Map hin und her geschaltet werden. Es können auch einzelne Etagen oder Layer ein- und ausgeblendet werden (siehe Abbildung 38).



Abbildung 38: Campus-Map mit eingeblendeten POIs in der *WebApp BK 1-2*

Auch die Grundkarte lässt sich über die definierte Campus-Grundkarte hinaus ändern (siehe Abbildung 39), indem eine gewünschte Karte aus einer vordefinierten Gruppe ausgewählt wird.

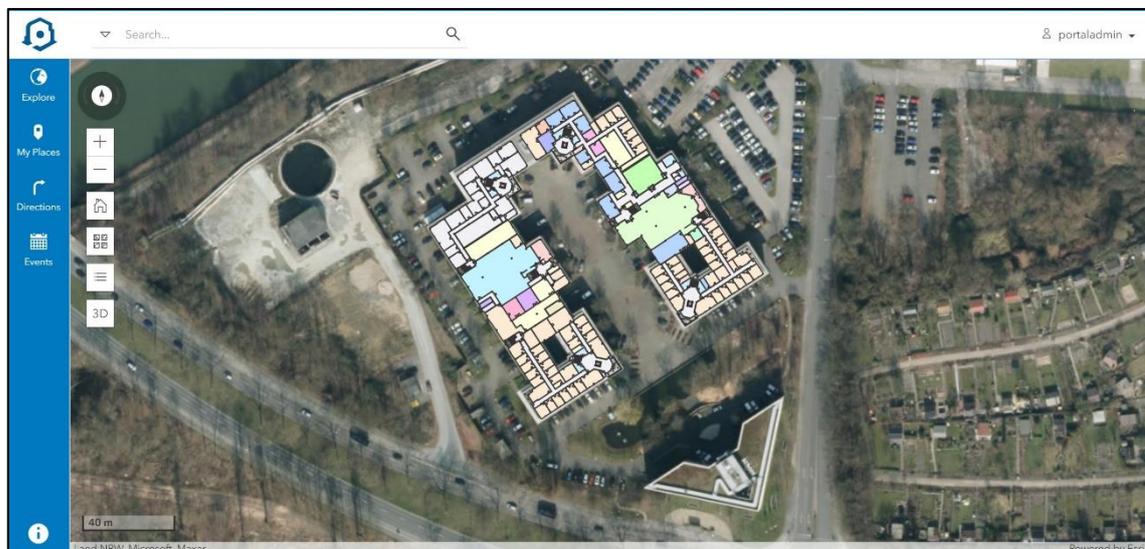


Abbildung 39: Campus-Map mit spezifisch ausgewählter Grundkarte (Luftbild)

Im Folgenden werden die relevanten Steuerungselemente der *WebApp BK 1-2* vorgestellt:

Über ein Suchfeld (siehe Abbildung 40) in der Kopfleiste der Webapplikation kann gezielt nach POIs gesucht werden.



Abbildung 40: Suchleiste

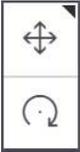
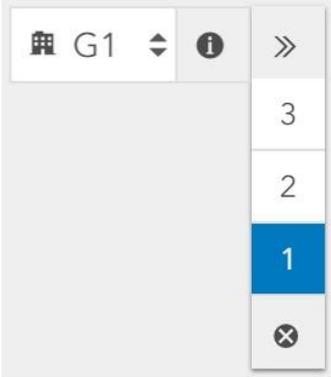
Die verfügbaren Steuerungselemente zum Selektieren der verschiedenen Funktionalitäten der *WebApp BK 1-2* (blaue Leiste ganz links in Abbildung 37) werden in Tabelle 16 erläutert:

Tabelle 16: Funktionsschaltflächen der *WebApp BK 1-2*

Schaltfläche	Funktion
 My Places	Schnellzugriff auf vom Nutzer gespeicherte POIs des Bürokomplexes 1-2
 Explore	POI-Suche nach Kategorien
 Directions	Routenberechnung und Wegbeschreibung
 Events	Kalender mit POIs des Typs Event
	Informationen über diese App

Die folgende Tabelle 17 bietet eine Übersicht über die Navigationselemente, mit denen in der Campus-Map oder Campus-Szene navigiert werden kann.

Tabelle 17: Schaltflächen und Eingabefelder zur Navigation der *WebApp BK 1-2*

Schaltfläche	Funktion
	Drehen der Karte gegen bzw. im Uhrzeigersinn oder Ausrichten der Karte nach Norden
	Hinein- und Herauszoomen
	Umschalten zwischen Verschieben und Kippen bei der Mausnavigation <i>(nur in der 3D-Ansicht)</i>
	Zurück zur Standardansicht
	Öffnen der Grundkartengalerie zum Wechsel der Grundkarte
	Öffnen der Layer-Übersicht zum Ein- bzw. Ausschalten der Sichtbarkeit von Layern
	Wechsel zwischen 2D und 3D Ansicht
	Wechsel der angezeigten Etagen

4.4.2 Routenberechnung

Als System zur Indoor-Navigation, das auf dem WebApp-Template von ArcGIS Indoors aufsetzt, kann das mit der spezifischen *WebApp BK 1-2* vorliegende CRIS Routen innerhalb des Campus Bürokomplex 1-2 berechnen. In diesem Kapitel wird beschrieben, wie

die Benutzersteuerung zur Berechnung von Routen mit der *WebApp BK 1-2* erfolgt und wie das Ergebnis einer solchen Routenberechnung aussieht.

Die Benutzeroberfläche zur Berechnung von Routen (siehe Abbildung 41) wird über die Schaltfläche *Directions* (siehe Tabelle 16) geöffnet.

Hier können nun der gewünschte Start und das gewünschte Ziel entweder durch Eingabe in das Textfeld oder durch einen Klick auf die entsprechende Stelle in der Karte festgelegt werden. Anschließend können weitere Zwischenziele hinzugefügt werden.

Dabei ist zu beachten, dass die *WebApp BK 1-2* lediglich eine Routenberechnung zwischen POIs zulässt.

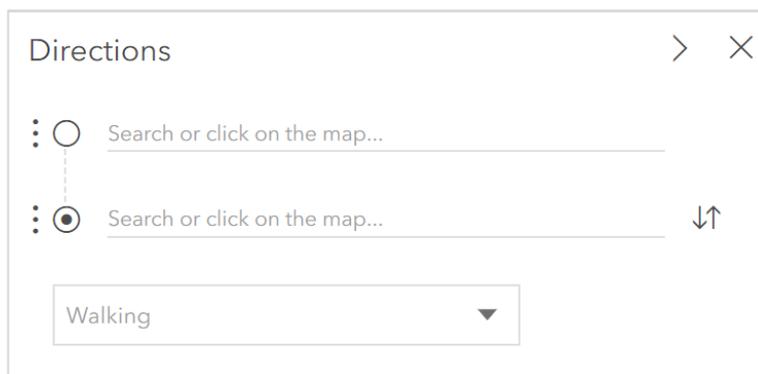


Abbildung 41: Benutzeroberfläche zur Berechnung von Routen in der *WebApp BK 1-2*

Nach der Festlegung von Start- und Zielpunkten der Route kann hier nun zwischen der Fortbewegungsart *Walking* (zu Fuß) und *Wheelchair* (Benutzung eines Rollstuhls) gewählt werden (Standardeinstellung *Walking*).

Nach dem Auslösen der Routenberechnung wird das Ergebnis in der Webanwendung dargestellt. Es besteht aus der Anzeige

- einer Wegbeschreibung mit die Streckenlänge und erwarteter Wegzeit in der Benutzeroberfläche *Directions* und
- der Darstellung einer Route als Liniengeometrie in einer Karte

In der zweidimensionalen Ansicht werden dabei die Teile der Route, die nicht auf der derzeit eingeblendeten Etage liegen, etwas dünner und gestrichelt dargestellt. In Abbildung 42 ist eine beispielhaft berechnete Route mitsamt Wegbeschreibung, Streckenlänge und Wegzeit in der *WebApp BK 1-2* dargestellt.

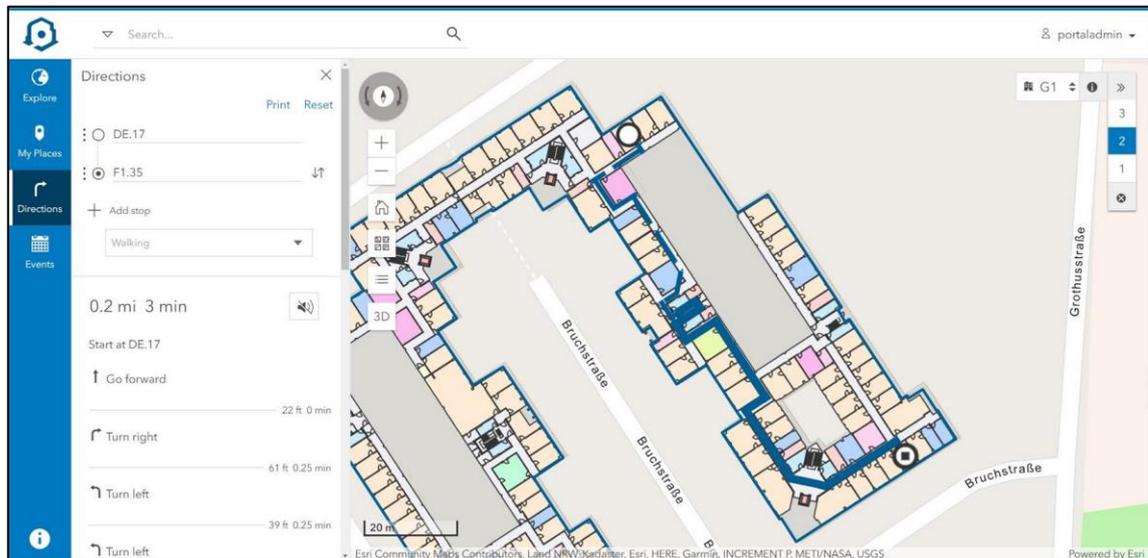


Abbildung 42: Berechnete Route in der WebApp BK 1-2

4.5 Evaluierung

Mit der in den vorangegangenen Kapiteln beschriebenen Erstellung eines CRIS für einen Bürokomplex konnte gezeigt werden, dass die von Wilkening et al. vorgestellte Methodik für die Implementierung eines CRIS vom universitären Umfeld auf Bürokomplexe grundsätzlich übertragbar ist.

Anhand einer Evaluierung soll nun auch die praktische Eignung dieses CRIS untersucht und bewertet werden, um die Frage zu beantworten, ob das im Rahmen der Fallstudie auf der Grundlage der Methodik von Wilkening et al. erstellte CRIS für den Bürokomplex 1-2 für Benutzer geeignet, also praktisch einsetzbar und nützlich ist.

In den nachfolgenden Unterkapiteln wird zunächst das Testdesign zur Evaluierung vorgestellt. Anschließend werden die Ergebnisse präsentiert und interpretiert.

4.5.1 Testdesign

Die Evaluierung wurde auf der Basis einer benutzerbasierten Methode (siehe Kapitel 3.6) durchgeführt, bei der ein Feedback über das CRIS von einer Gruppe von ausgewählten Probanden aus verschiedenen Gruppen von Zielbenutzern eingeholt wurde.

Als Probanden wurden Mitarbeiter*innen von im Bürokomplex 1-2 ansässigen Firmen ausgewählt. Dabei umfasste die Auswahl sowohl Personen, die seit längerem über einen Arbeitsplatz auf dem Campus verfügen und entsprechend mit dem Gebäudekomplex sehr vertraut sind, als auch Personen, die ihren Arbeitsplatz an anderen Standorten haben, sich nur selten im Bürokomplex 1-2 aufhalten und entsprechend mit seiner Struktur nur sehr wenig vertraut sind.

Zur Evaluierung erhielten die Probanden Wegbeschreibungen für vier exemplarisch ausgewählte Routen durch den Bürokomplex, die mit Hilfe der *WebApp BK 1-2* generiert worden waren. Da Benutzer von Navigationssystemen im Allgemeinen bevorzugen, die Wahl zu haben, auch eine Kartendarstellung der Route sehen zu können [34], wurde den Anweisungen zur Wegführung auch ein Kartenausschnitt mit dem jeweils relevanten Abschnitt der berechneten Route hinzugefügt. Somit konnten die Probanden sowohl Orientierungspunkt-basierte Navigation als auch die Pfadintegration (siehe Kapitel 2.1.4) zur Orientierung nutzen.

Zur erleichterten Benutzung wurden die mit der *WebApp BK 1-2* generierten Anweisungen zur Wegführung ins Deutsche übersetzt und die darin enthaltenen Entfernungangaben von Fuß in Meter umgerechnet.

Mit Hilfe der oben beschriebenen Wegbeschreibungen sollten die Probanden nun den vier Testrouten vom Start- zum Zielpunkt folgen und anschließend mithilfe standardisierter Fragen bewerten, inwieweit die Wegführung

- gut verständlich ist
- gut geeignet ist, den Weg zwischen Start- und Zielpunkt der Route zu finden
- auch für Gäste und Besucher geeignet ist, die mit den Gebäudestrukturen im Bürokomplex 1-2 nicht vertraut sind.

Abschließend wurden die Probanden gebeten, zu bewerten, ob und inwieweit ein Informationssystem in den verschiedenen Ausbaustufen

- Suche von Zielen ohne Routenberechnung und Wegbeschreibung
- Suche von Zielen mit statischer Routenberechnung und Wegbeschreibung
- Suche von Zielen mit dynamischer Routenberechnung und Wegführung

für ihre Arbeit im Bürokomplex 1-2 hilfreich und wünschenswert ist.

Der vollständige Fragebogen mitsamt der Routenbeschreibungen, die den Benutzern zur Verfügung gestellt wurden, ist Anhang C: *Fragebogen* zu entnehmen.

Auf Grund der speziellen Situation im Zusammenhang mit der COVID-19-Pandemie, war es in der Zeit, in der die Evaluierung durchgeführt werden sollte, nicht möglich, die Evaluierung durch die Probanden wie geplant vor Ort durchzuführen. Der Zugang zum Gebäudekomplex war aus hygienischen Gründen stark eingeschränkt und die Mitarbeiter*innen waren von ihren Arbeitgebern angehalten, nur in genehmigten Ausnahmefällen in den Bürokomplex 1-2 zu kommen und wenn irgend möglich, von zu Hause aus zu arbeiten.

Vor diesem Hintergrund wurden die Probanden gebeten, den bereitgestellten exemplarische Routen zwischen POIs im Bürokomplex 1-2 auf der Basis der bereitgestellten Wegbeschreibungen gedanklich zu folgen.

4.5.2 Exemplarisch berechnete Routen

Die für Evaluierung ausgewählten Routen wurden mit verschiedenen POIs (Büroräume, Besprechungsräume) als Start- und Endpunkt definiert. Dabei wurden die Routen auf der Grundlage der in Kapitel 3.6 vorgestellten Anwendungsfälle nach Brown et al. konzipiert. Vor dem Hintergrund der oben beschriebenen Rahmenbedingungen und der Aufgabenstellung dieser Arbeit erfolge dabei eine Fokussierung auf die folgenden vier Anwendungsfälle, die wesentliche Anforderungen an Indoor-Navigation in Bürogebäuden abbilden:

- Die erste ausgewählte Route deckt Anwendungsfall #1 ab und leitet eine Person, die einen Rollstuhl benutzt, von einem Startpunkt zu einem Endpunkt.
- Die zweite ausgewählte Route deckt Anwendungsfall #5 ab und leitet einen Benutzer zu einem Raum auf der gleichen Etage.
- Die dritte ausgewählte Route deckt Anwendungsfall #6 ab und leitet einen Benutzer über verschiedenen Etagen innerhalb eines Gebäudes.
- Die vierte ausgewählte Route deckt die Anwendungsfälle #7 und #8 ab und leitet einen Benutzer zwischen separaten Gebäuden und damit aus einem Gebäude heraus und in ein Gebäude hinein.

Im Folgenden werden die vier ausgewählten Testrouten detailliert beschrieben.

4.5.2.1 Route 1 (F1.09 – EE.16)

Die erste Route führt vom Büroraum F1.09 im ersten Obergeschoss zum Raum EE.16 im Erdgeschoß. Als Fortbewegungsart wurde *Wheelchair* (Benutzung eines Rollstuhls) gewählt (siehe Abbildung 43), was dazu führt, dass für die Routenberechnung Stufen und Treppen gemieden werden und damit gegebenenfalls Umwege in Kauf genommen werden oder Fahrstühle benutzt werden, um etwa Etagen zu wechseln.

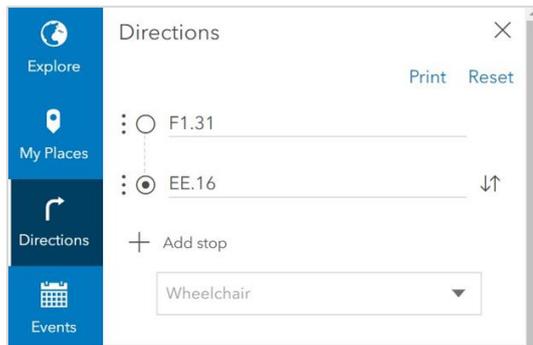


Abbildung 43: Konfiguration der Route 1 (F1.09 – EE.16)

Die Länge der Route wurde vom CRIS mit 135 Meter (443 Feet) berechnet, die dafür benötigte Zeit mit etwa 2 Minuten. Nach ca. einem Viertel der Strecke muss die Etage über einen Aufzug gewechselt werden. Der vollständige Streckenverlauf ist in der folgenden Abbildung dargestellt, wobei zu beachten ist, dass darin das erste Obergeschoss angezeigt wird. Der Streckenverlauf in dem darunter liegenden Erdgeschoss wird durch eine gestrichelte Linie dargestellt.



Abbildung 44: Kartendarstellung der Route 1 (F1.09 – EE.16) mit Fortbewegungsart *Wheelchair*

Um die Auswirkung der Fortbewegungsart *Wheelchair* (Benutzung eines Rollstuhls) auf die Routenberechnung zu demonstrieren, zeigt die folgende Abbildung 45 die vom CRIS berechnete, deutlich kürzere Route mit gleichem Start- und Zielpunkt, aber mit der Fortbewegungsart *Walking* (Zu Fuß).



Abbildung 45: Kartendarstellung der Route 1 (F1.09 – EE.16) mit Fortbewegungsart *Walking*

Es ist gut zu erkennen, dass die auf diese Weise berechnete Route den Umweg über den Aufzug meidet und anstelle dessen eine Treppe in der Nähe des Zielpunktes nutzt. Diese Strecke ist zwar kürzer, kommt für einen Nutzer im Rollstuhl aber nicht in Frage.

4.5.2.2 Route 2 (B1.05 – C1.43)

Die zweite Route führt von Raum B1.05 im ersten Obergeschoss zum Raum C1.43 der sich ebenfalls im ersten Obergeschoss befindet. Als Fortbewegungsart wurde *Walking* (Zu Fuß) gewählt (siehe Abbildung 46).

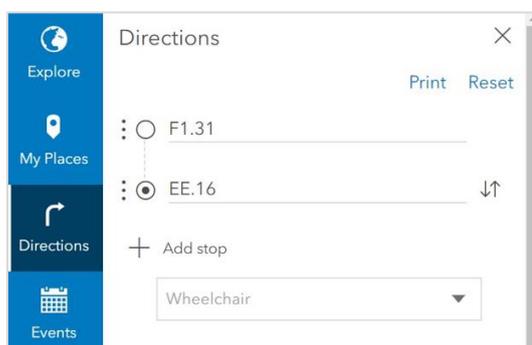


Abbildung 46: Konfiguration der Route 2 (B1.05 – C1.43)

Die Route ist 156 Meter (512 Feet) lang und es werden voraussichtlich etwa 2 Minuten für die Strecke benötigt. Der vollständige Streckenverlauf ist in der folgenden Abbildung dargestellt:



Abbildung 47: Kartendarstellung der Route 2 (B1.05 – C1.43)

4.5.2.3 Route 3 (DE.07 – F1.09)

Die dritte Route führt vom Besprechungsraum DE.07 im Erdgeschoss quer durch den 2. Flügel des Bürokomplexes bis zum Büroraum F1.09 im ersten Obergeschoss. Als Fortbewegungsart wurde *Walking* (zu Fuß) gewählt (siehe Abbildung 48), was die Nutzung von Treppen ermöglicht.

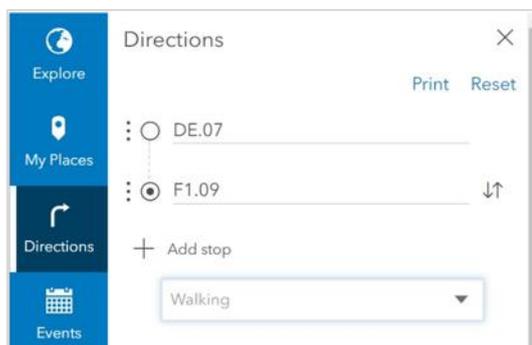


Abbildung 48: Konfiguration der Route 3 (DE.07 – F1.09)

Die berechnete Route ist laut CRIS 193 Meter lang und es werden etwa 3 Minuten für die Strecke benötigt. Nachdem etwa zwei Drittel der Strecke zurückgelegt wurden, muss die Etage über eine Treppe gewechselt werden. Der vollständige Streckenverlauf ist in der folgenden Abbildung dargestellt, wobei zu beachten ist, dass nur das erste Obergeschoss angezeigt wird. Der Streckenverlauf in dem darunter liegenden Erdgeschoss wird durch eine gestrichelte Linie dargestellt.

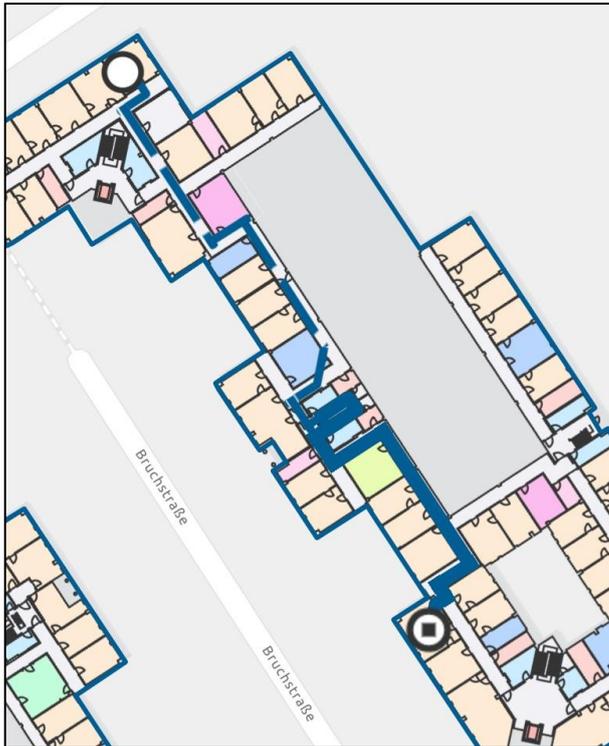


Abbildung 49: Kartendarstellung der Route 3 (DE.07 – F1.09)

4.5.2.4 Route 4 (FE.37 – AE.06)

Die vierte Route führt vom Büroraum FE.37 im Erdgeschoss im 2. Gebäudeflügel des Bürokomplexes zum Besprechungsraum AE.06 im Erdgeschoss des 1. Gebäudeflügels. Als Fortbewegungsart wurde *Walking* (zu Fuß) gewählt (siehe Abbildung 50), was die Nutzung von Treppen ermöglicht.

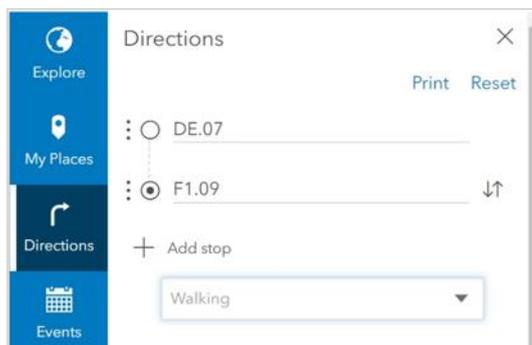


Abbildung 50: Konfiguration der Route 4 (FE.37 – AE.06)

Die berechnete Route ist laut CRIS 134 Meter (440 Feet) lang und es werden etwa 2 Minuten für die Strecke benötigt. Für den Weg zum Besprechungsraum AE.06 wird der 2. Gebäudeflügel durch eine Außentür verlassen und der Vorplatz des Gebäudes genutzt, um zum 1. Gebäudeflügel zu gelangen. Dabei werden sowohl beim Verlassen des Gebäudes als auch beim Eintreten in den gegenüberliegenden Gebäudeflügel

Treppenstufen genutzt, um einen kleinen Höhenunterschied zwischen Erdgeschoß und Außenbereich auszugleichen. Der vollständige Streckenverlauf ist in der folgenden Abbildung dargestellt.



Abbildung 51: Kartendarstellung der Route 4 (FE.37 – AE.06)

4.5.3 Ergebnis

In diesem Kapitel werden die Antworten der Probanden ausgewertet. An der Evaluierung haben insgesamt 21 Mitarbeiter*innen von im Bürokomplex 1-2 ansässigen Firmen teilgenommen.

4.5.3.1 Angaben zu den Probanden

Die Probanden unterschieden sich in dem Maß der Vertrautheit mit dem Gebäudekomplex. Hintergrund davon ist zum einen, dass sie nur zum Teil und wenn, dann seit unterschiedlich langer Zeit, über einen Arbeitsplatz im Bürokomplex 1-2 verfügen.

So gaben 16 Probanden an, einen Arbeitsplatz im Bürokomplex 1-2 zu haben, davon 6 Personen sogar bereits seit mehr als 10 Jahren. 5 Personen haben demgegenüber ihren Arbeitsplatz nicht im Bürokomplex 1-2 (siehe Abbildung 52).

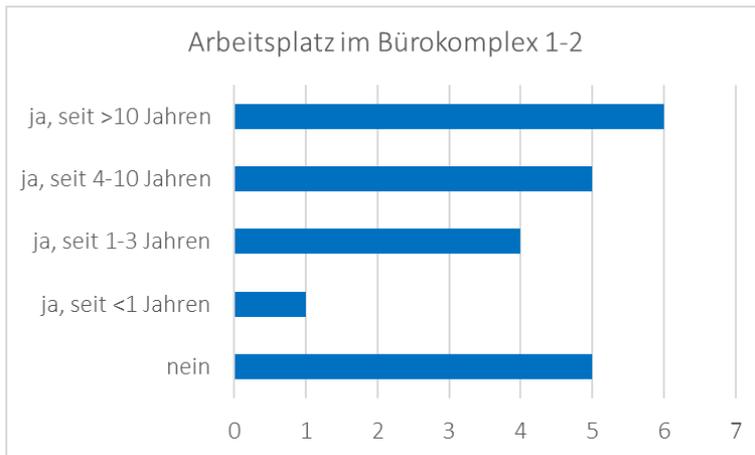


Abbildung 52: Verteilung ob und seit wann die Probanden einen Arbeitsplatz im Bürokomplex 1-2 haben

Dabei verbringen die Probanden unter Umständen nur einen gewissen Anteil ihrer Arbeitszeit im Bürokomplex. Wie in Abbildung 53 dargestellt, sind in einer typischen Arbeitswoche zwar die meisten der befragten Probanden in der Regel mit 3-5 Tagen die meiste Zeit vor Ort im Bürokomplex (13 Personen), 5 Probanden sind in ihrer typischen Arbeitswoche allerdings überhaupt nicht vor Ort und besuchen den Bürokomplex nur sporadisch.

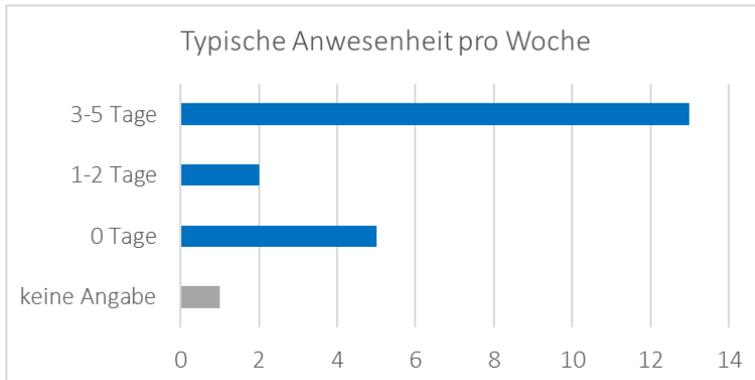


Abbildung 53: Anzahl der Tage einer typischen Arbeitswoche die die Probanden im Bürokomplex 1-2 sind

Zu diesen beiden Verteilungen passt auch die Selbsteinschätzung der Ortskenntnis der Probanden (siehe Abbildung 54). So stimmen die weitaus meisten Probanden (18 von 21) der allgemeinen Aussage, mit dem für die eigene Arbeit relevanten Teil des Bürokomplexes gut vertraut zu sein, „voll“ (12) oder „eher“ (6) zu. Dagegen geben lediglich drei Personen an, selbst mit dem für die eigene Arbeit relevanten Teil des Bürokomplexes nicht gut vertraut zu sein.

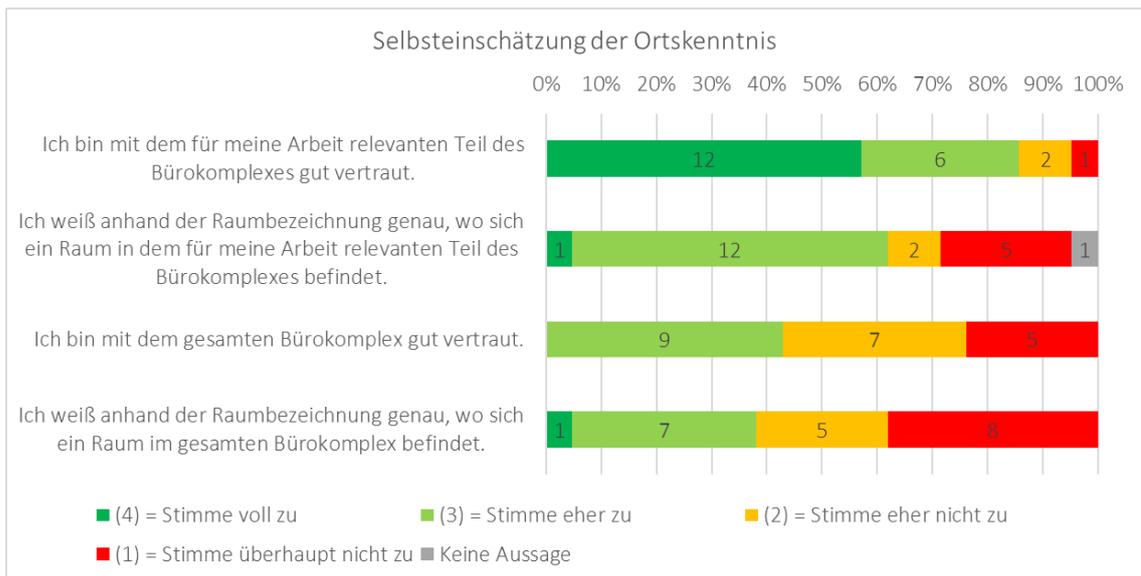


Abbildung 54: Selbsteinschätzung der Probanden bzgl. ihrer Ortskenntnis innerhalb von Bürokomplex 1-2

Aber schon bei der Aussage, dass die Lage von Räumen allein anhand ihrer Raumbezeichnung im für die eigene Arbeit relevanten Teil des Gebäudekomplexes lokalisiert werden kann, müssen Abstriche von dieser allgemein positiven Bewertung zur Vertrautheit mit den für die eigene Arbeit relevanten Teilen des Gebäudekomplex 1-2 gemacht werden. Hier stimmen nur noch 11 Probanden „voll“ (1) oder „eher“ (12) zu, demgegenüber stimmen 7 Probanden „eher nicht“ (2) oder sogar „überhaupt nicht“ (5) zu.

Dieses Bild verstärkt sich, wenn die Selbsteinschätzung der Ortskenntnis auf den gesamten Bürokomplex ausgeweitet wird. So stimmt nur noch eine Minderheit der Probanden den Aussagen „voll“ oder „eher“ zu, dass sie mit dem gesamten Bürokomplex 1-2 gut vertraut sind, beziehungsweise dass sie die Lage eines Raumes innerhalb des gesamten Bürokomplexes allein anhand der Bezeichnung lokalisieren können.

4.5.3.2 Aussagen zur Zielfindung ohne Wegbeschreibung

In der folgenden Auswertung zur Zielfindung (siehe Abbildung 55) wurden die jeweiligen Aussagen der Probanden zu den vier Testrouten zusammengefasst. Damit ergeben sich je Aussage also maximal 84 Einschätzungen.

Passend zur Selbsteinschätzung der Ortskenntnis, stimmten die Probanden insgesamt in etwas mehr als der Hälfte ihrer Einschätzungen den Aussagen „voll“ (24) oder „eher“ (27) zu, zu wissen, wo sich das Ziel im Bürokomplex befindet. Sehr ähnlich dazu ist die Verteilung der Einschätzungen der Probanden, den Weg zum Ziel auch ohne Wegbeschreibung leicht finden zu können.

In Schnitt waren die Probanden allerdings deutlich weniger zuversichtlich, anderen Personen ohne Wegbeschreibung den Weg zum jeweiligen Ziel beschreiben zu können. Hier wurde für etwas mehr als die Hälfte der Navigationsaufgaben angegeben, anderen den Weg „überhaupt nicht“ (27) oder „eher nicht“ (15) beschreiben zu können.

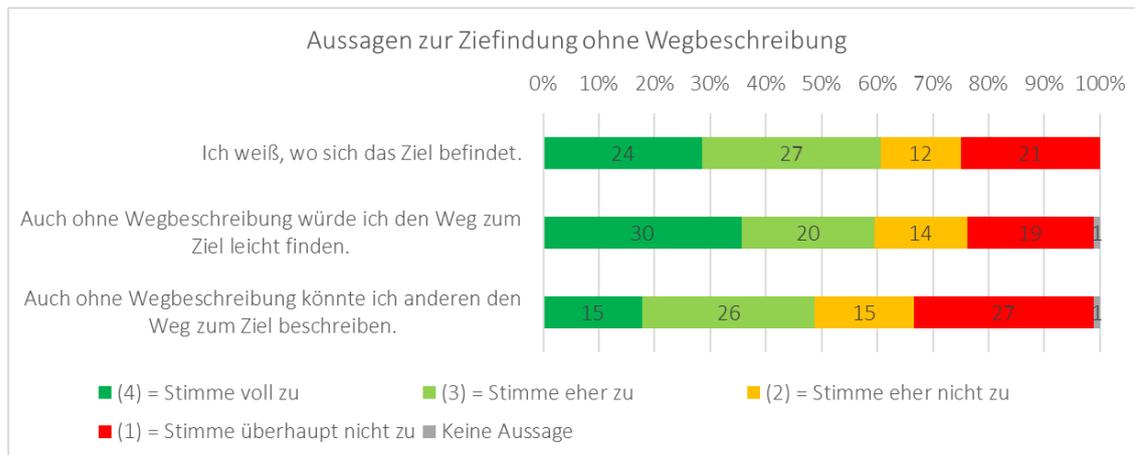


Abbildung 55: Aussagen zur Zielfindung ohne Wegbeschreibung

Bei der Meidung von Stufen und Treppen (nur bei Route 1 relevant) verstärkt sich das Bild. In diesem Fall würden sich mehr als die Hälfte der Probanden „überhaupt nicht“ oder „eher nicht“ zutrauen, allein anhand der Raumbezeichnung den Weg zum Zielpunkt zu finden bzw. den Weg dorthin zu beschreiben (siehe Abbildung 56).

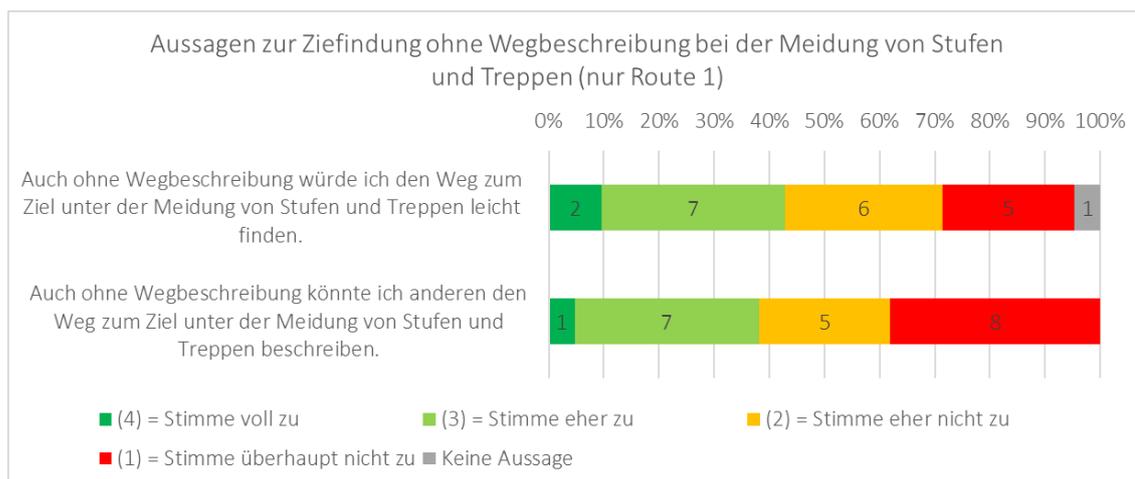


Abbildung 56: Aussagen zur Zielfindung ohne Wegbeschreibung bei der Meidung von Stufen und Treppen

4.5.3.3 Aussagen über die Wegbeschreibung

Auch in dieser Auswertung der bewertenden Aussagen über die Wegbeschreibungen wurden die Ergebnisse der vier Routen für alle 21 Probanden wieder zusammengefasst,

so dass sich auch hier je Aussage maximal 84 Einschätzungen ergeben (siehe Abbildung 57).

Bei Hinzunahme der entsprechenden Wegbeschreibung, die mit Hilfe des CRIS erstellt wurde, ändert sich das Bild der Einschätzung der Probanden zu ihrer Orientierungsfähigkeit im Bürokomplex signifikant.

Nun stimmten die Probanden insgesamt in etwas mehr als der 90% ihrer Einschätzungen (77 von 84) der Aussage „voll“ (69) oder „eher“ (8) zu, den Weg mit der Wegbeschreibung leicht zu finden.

Auch für Gäste und Besucher werden die Wegbeschreibungen von den Probanden in mehr als 90% ihrer Einschätzungen als „voll“ (56) oder „eher“ (22) hilfreich empfunden.

Dabei wurde auch die Verständlichkeit der aus dem CRIS generierten Wegbeschreibungen insgesamt positiv bewertet. So stimmten die Probanden insgesamt in etwas mehr als der 90% ihrer Einschätzungen (78 von 84) der Aussage „voll“ (49) oder „eher“ (29) zu, dass die Wegbeschreibungen klar verständlich sind. Die hier jedoch erkennbare etwas niedrigere „volle Zustimmung“ gegenüber einem „eher“ Zustimmen, weist auf möglicherweise noch bestehende Optimierungspotentiale bei der Darstellung und Formulierung von Wegbeschreibungen hin.

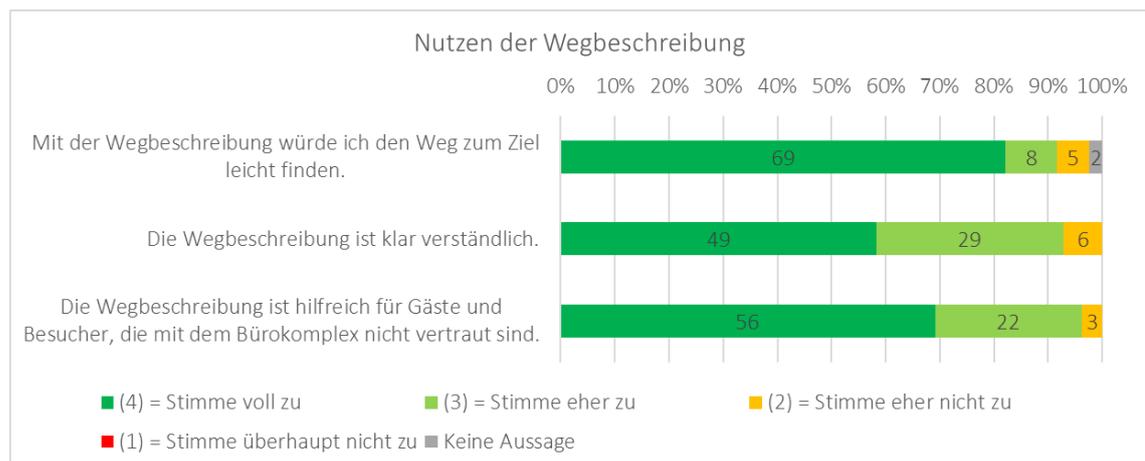


Abbildung 57: Einschätzung des Nutzens der Wegbeschreibungen

Erste Hinweise dazu wurden im Zuge der Evaluierung von Probanden in Form einzelner Anmerkungen gegeben. Es wurden die folgenden Punkte angemerkt:

- Kartendarstellung
 - › Die Darstellung der Route in anderen als der gerade aktuellen Etagen ist nicht deutlich genug von der Route in der aktuell betrachteten Etage abgesetzt.

- › Die einzelnen Abschnitte der Route sind ohne Richtungspfeile visualisiert. Eine Visualisierung der Bewegungsrichtung könnte die Verständlichkeit erhöhen.
- Textuelle Anweisungen / Symbole
 - › Auch Richtungswechsel im 45° Winkeln sollten in der Wegbeschreibung explizit genannt werden, wenn ansonsten auch alternative Wege zur Verfügung stehen.
 - › Stehen dem Nutzer für einen Streckenabschnitt keine alternativen Wege zur Verfügung wie bei durchgehenden Gängen ohne Abzweigungen, sollten Richtungswechsel innerhalb dieser Gänge nicht zwingend angegeben werden.
 - › Stufen wurden als Treppen deklariert, sollten aber explizit als Stufen beschrieben werden oder aber bei der Fußgängernavigation überhaupt nicht erwähnt werden.
 - › Hinweise beim Verlassen oder Betreten eines Raums oder Gebäudes, oder beim Durchschreiten von Zwischentüren wären hilfreich
 - › Es sollten Hinweise in die Wegbeschreibung mit aufgenommen werden, wo Schlüssel oder Zutrittskarten benötigt werden.
 - › Eine Angabe, die wievielte Abzweigung genommen werden soll (z.B. 1. oder 2. Abzweigung links) würde die Wegführung unterstützen.
 - › Bei Etagenwechseln sollte nicht nur die Zieletage angegeben werden, sondern zusätzlich auch die Richtung (hoch / runter), die genommen werden muss.
- Entfernungen
 - › Die Entfernungen in Meterangaben sind ggf. nicht klar nachvollziehbar.
 - › Strecken, die (vertikal) in Fahrstühlen zurückgelegt werden, sollten nicht in der Entfernungsangabe der Wegbeschreibung auftauchen.

4.5.3.4 Abschließende Fragen

In den Einschätzungen der Probanden zu den abschließenden Aussagen im Fragebogen lässt sich erkennen, dass etwas mehr als die Hälfte der Probanden der Meinung ist, dass ein System zur Suche von Zielen - ein CRIS – sie in ihrer Arbeit „oft“ oder zumindest „manchmal“ unterstützen würde (siehe Abbildung 58). Dabei unterscheidet sich die Bewertungen der Probanden kaum zwischen Systemen mit

- reiner Zielfindung (ohne Routenberechnung und Wegbeschreibung)
- statischer Zielfindung (incl. Routenberechnung und Wegbeschreibung)

- dynamischer Zielfindung (incl. dynamischer Routenberechnung und Wegbeschreibung Smartphone als Schnittstelle)

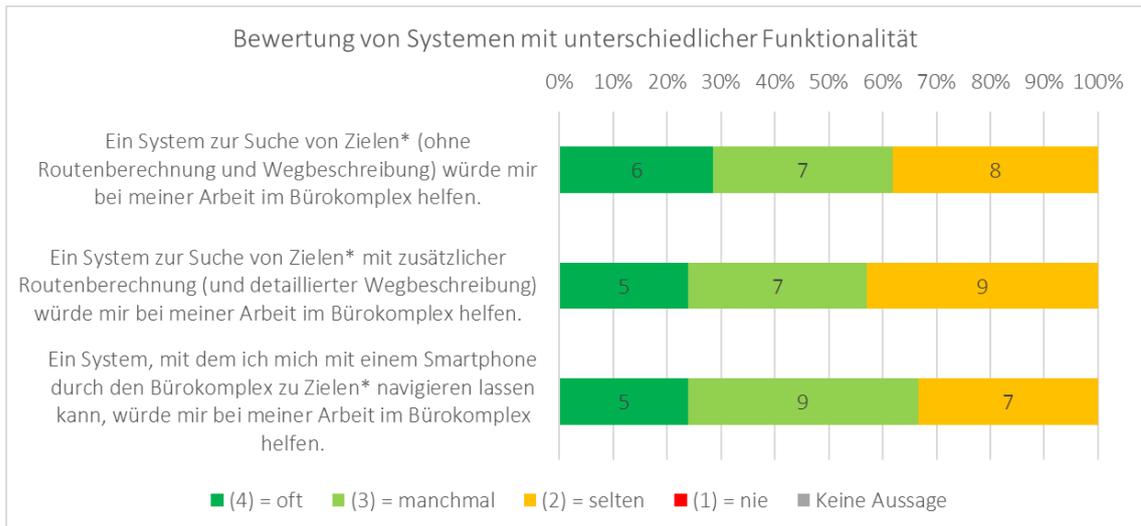


Abbildung 58: Bewertung eines Informationssystems ohne Routingfunktionalität oder mit statischer oder dynamischer Routingfunktionalität für die eigene Arbeit

Diese Bewertung steht zunächst im scheinbaren Kontrast zu den Eigenbewertungen der Probanden in Bezug auf ihre Vertrautheit mit den für ihre Arbeit relevanten Gebäudeteilen (vgl. Kapitel 4.5.3.1), passt demgegenüber aber gut zu der Einschätzung der Probanden, inwieweit sie die Lage von Räumen in dem für ihre Arbeit relevanten Gebäudebereichen allein anhand der Raumbezeichnung lokalisieren können.

Insgesamt zeigen die Einschätzungen der Probanden, dass ein CRIS, wie im Rahmen der Fallstudie erstellt, Probanden in Bürokomplexen bei ihrer Arbeit helfen kann, selbst wenn sie, nach eigener Einschätzung, mit den für sie relevanten Gebäudebereichen bereits vertraut sind.

Ein ähnliches, aber noch ausgeprägteres Bild, ergibt sich nach Auswertung von Aussagen, ob sich die Mitarbeiter*innen ein entsprechendes CRIS wünschen würden, ohne dass es explizit für deren Arbeit Relevanz haben muss (siehe Abbildung 59). Insbesondere ein System mit dynamischer Navigation mit Smartphones stößt auf hohes Interesse.

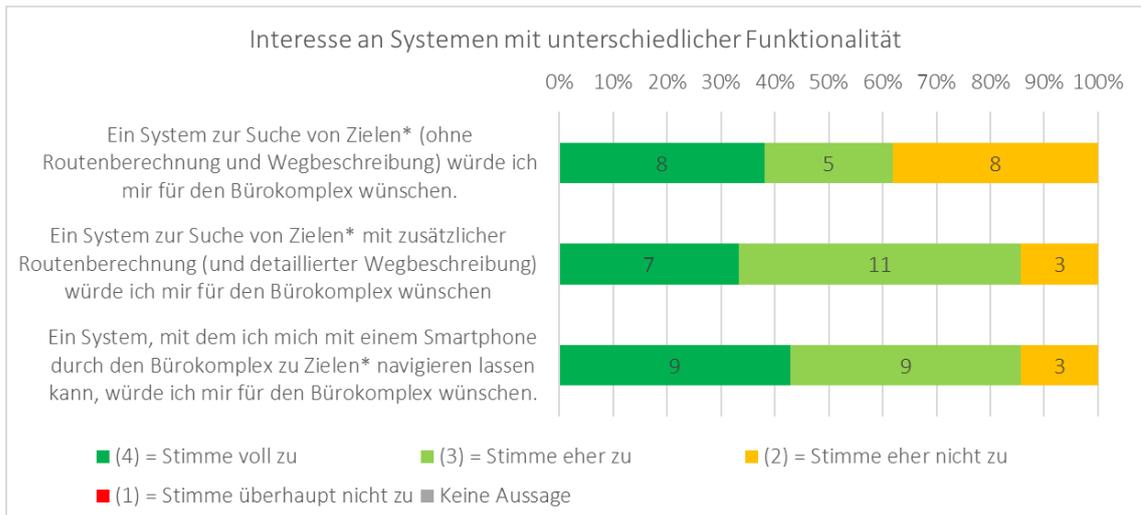


Abbildung 59: Interesse an einem Informationssystem ohne Routingfunktionalität oder mit statischer oder dynamischer Routingfunktionalität

Das deutet darauf hin, dass die Einführung eines CRIS für einen Bürokomplex, insbesondere eines mit Routenberechnung und Wegbeschreibung, bei den Mitarbeiter*innen grundsätzlich auf Akzeptanz stoßen würde.

5 Fazit

In der vorliegenden Arbeit wurde im Rahmen einer spezifischen Fallstudie untersucht, inwieweit sich die von Wilkening et al. entworfene Methodik zur Implementierung eines CRIS auch für moderne Bürogebäudekomplexe eignet. Dabei wurden Besonderheiten herausgestellt, die in diesem Kontext auftreten.

Hierzu wurde der Begriff des Campus-Routing-Informationssystems hergeleitet und in die wissenschaftlichen Fachgebiete zur Innenraumnavigation eingebettet. Anschließend wurde die Methodik von Wilkening et al. vorgestellt, erläutert und in den Kontext Bürogebäude gesetzt.

Die Methodik von Wilkening et al. wurde dann im Rahmen einer Fallstudie zur Erstellung eines CRIS für einen beispielhaft ausgewählten Bürokomplex in die Praxis übertragen. Hierbei wurde geprüft, ob und inwieweit sich die spezifischen Anforderungen an ein CRIS für Bürokomplexe mit der von Wilkening et al. vorgeschlagenen Methodik umsetzen lassen. Dabei wurden die besonderen Herausforderungen und Schritte zum Erstellen eines CRIS im spezifischen Umfeld von Bürokomplexen beschrieben und geprüft, inwieweit die Methodik mit Blick auf Bürokomplexe ausgereift ist oder noch Bedarf für Verbesserungen besteht.

In diesem Zusammenhang wurde auch das von Wilkening et al. sowie im Rahmen der vorliegenden Arbeit verwendete Datenmodell AIIM als Grundlage zur Umsetzung eines CRIS vorgestellt und seine Eignung als Grundlage eines Campus Routing Informationssystems für Bürokomplexe aufgezeigt.

Die in der Fallstudie entwickelte CRIS-Webanwendung *WebApp BK 1-2* wurde schließlich durch eine Anwenderstudie evaluiert und so hinsichtlich ihres praktischen Nutzens bewertet.

Im Folgenden wird beschrieben, inwieweit die vorliegende Arbeit die eingangs gestellten zentralen Forschungsfrage beantworten kann:

Ist die von Wilkening et al. vorgestellte Methodik für die Implementierung eines CRIS vom universitären Umfeld auf Bürokomplexe übertragbar?

Mit der Methodik von Wilkening et al. konnte im Rahmen einer Fallstudie beispielhaft ein CRIS für einen Bürokomplex erfolgreich umgesetzt werden. Dabei wurden zentrale, für einen Bürokomplex im Sinne eines Connected Workplace wichtige Anforderungen berücksichtigt oder zumindest ihre Umsetzbarkeit geprüft.

Abschließend wurde das im Zuge der Fallstudie erstellte CRIS für den ausgewählten Bürokomplex einer Evaluierung unterzogen. Diese zeigt im Ergebnis, dass die durch das

CRIS generierten Wegbeschreibungen die Zuversicht, ein Ziel innerhalb des Bürokomplexes zu finden, signifikant erhöhen. Auch für Mitarbeiter*innen, Gäste und Besucher, die sich nicht gut im Bürokomplex auskennen, werden die Wegbeschreibungen als überwiegend hilfreich angesehen. Das im Rahmen der Fallstudie und auf der Grundlage der Methodik von Wilkening et al. erstellte CRIS ist also bereits in seiner jetzigen Form für Benutzer geeignet, auch wenn noch einige Verbesserungspotentiale zu erkennen sind.

Somit bleibt als primäres Ergebnis der vorliegenden Arbeit festzustellen, dass sich die Methodik von Wilkening et al. zur Erstellung eines CRIS grundsätzlich erfolgreich vom universitären Umfeld auf Bürokomplexe übertragen lässt.

Folgende Nebenfragstellungen wurden bei der Validierung der Methodik von Wilkening et al. für den Einsatz eines CRIS in Bürogebäuden untersucht:

Welche Anforderung an ein CRIS bestehen insbesondere bei Bürokomplexen?

Im Rahmen der durchgeführten Übertragung der Methodik von Wilkening et al. auf den Kontext Bürokomplexe und der konkreten Umsetzung der Methodik in einer Fallstudie zu einem konkreten Bürokomplex, konnten zahlreiche Besonderheiten für die Innenraumnavigation festgehalten werden, die im Kontext von Büroumgebungen auftreten. Diese besonderen Anforderungen, die im Rahmen der spezifischen Fallstudie festgestellt wurden, können allerdings keine vollständige Liste aller potenziell relevanten Anforderungen für ein CRIS darstellen, die im Kontext Bürokomplexe auftreten können. Auch spielen die so herausgestellten Anforderungen, nicht nur im besonderen Kontext von Büroumgebungen eine Rolle, bei Campus-Routing-Informationssystemen für Bürokomplexe sollten sie aber im besonderen Maße berücksichtigt werden.

Folgende Anforderungen wurden festgehalten:

- Die räumlichen Ausmaße von Wegen und Durchgängen, wie die Deckenhöhe oder die Breite von Türen muss berücksichtigt werden (z.B. für die Anlieferungen großer Güter, wie Büromöbel oder Serverschränke, relevant, aber auch für die Möglichkeit zur Generierung von barrierefreien Routen für Rollstuhlfahrer) (siehe Kapitel 2.1.2).
- Zur Umsetzung von Barrierefreiheit müssen verschiedene Fortbewegungsarten unterschieden werden können (z.B. Fußgänger ohne Mobilitätseinschränkung, Personen mit Mobilitätseinschränkungen, Fußgänger mit Sehbehinderung). Beispielsweise sollen für Beschäftigte, die einen Rollstuhl oder auch einen Rollator benutzen oder eine Fußhebeschwäche haben, Stufen und Treppen vermieden werden können (siehe Kapitel 2.1.2).

- Der Zugang zu den Bürogebäuden oder einzelnen Raumbereichen muss abhängig vom Nutzer eingeschränkt werden können (siehe Kapitel 2.1.2).
- Die Auswahl des Werkzeugs zur Erstellung eines CRIS ist dahingehend eingeschränkt, dass Gebäudepläne nicht öffentlich verfügbar gemacht werden sollen, so dass Web Mapping Services wie Google und Apple sie anbieten, nur eingeschränkt eingesetzt werden können, beziehungsweise nur für Bereiche der Bürogebäude, die öffentlich eingesehen werden dürfen (siehe Kapitel 2.3).
- Da in Büroumgebungen insbesondere die Zusammenarbeit von Menschen und der effiziente Einsatz von gemeinsamen Infrastrukturressourcen im Fokus steht, müssen mögliche Start- und Zielpunkte von Routen neben Räumen und anderen Gebäudeteilen und Infrastruktureinrichtungen auch Personen, zumindest aber deren Arbeitsplätze in Form von Schreibtischen (etwa in Großraumbüros) adressierbar sein. Analoges gilt für gemeinsam genutzte Arbeitsressourcen (siehe Kapitel 3.4.2).
- Bei der Wegfindung sollte es in Büroumgebungen vermieden werden, den Nutzer durch Arbeitsräume wie Büros zu führen, wodurch dort Arbeitende gestört werden können, wenn alternativ ein Weg über einen Flur möglich ist. Daher müssen mögliche Wege gegenüber anderen priorisiert werden können (siehe Kapitel 3.4.4).
- Außerdem sollten auch verschiebbare Wände (häufig in Tagungszentren von Bürokomplexen verwendet) als mobile Hindernisse konfigurierbar sein (siehe Kapitel 4.3.4.1).

Inwieweit ist das von Wilkening et al. verwendete Navigationsmodell insbesondere für die Navigation in Bürokomplexen geeignet?

Das von Wilkening et al. verwendete Datenmodell AIIM der Firma Esri wurde analysiert und seine Eignung als Grundlage eines Campus Routing Informationssystems für Bürokomplexe aufgezeigt (siehe Kapitel 3.2.3.2).

Im Ergebnis können Gebäudeinnenräume gut dargestellt und mit umfangreichen semantischen Informationen versehen werden. Auch Durchgänge und Transitionen wie Treppen und Aufzüge können entsprechend modelliert werden. Leichte Einschränkungen bestehen bei der Modellierbarkeit von Konnektivitätsebenen, was allerdings durch eine hierarchische Gliederung des Navigationsnetzes abgemildert wird.

Darüber hinaus besteht Erweiterungsbedarf insbesondere bei dynamischen Hindernissen, also Hindernissen, die an unterschiedlichen Orten oder in verschiedenen Zuständen auftreten können. Solche dynamischen Hindernisse können in der derzeitigen Form des

AIIM nicht oder nur unzureichend modelliert werden, da nur statische Hindernisräume vorgesehen sind.

Ist die Methodik ausgereift oder besteht Bedarf die Methodik zu verbessern?

Im Rahmen der Untersuchung wurden eine Reihe von Verbesserungsmöglichkeiten identifiziert und entsprechende Änderungen bzw. Erweiterungen der Methodik und des verwendeten Datenmodells vorgeschlagen.

So wurde festgestellt, dass zusätzliche Anforderungen an die CAD-Daten gestellt werden sollten, um diese mit den in der Methodik von Wilkening et al. vorgestellten Datenverarbeitungsschritten effektiv weiterverarbeiten zu können. Entsprechend wurden zusätzlich die folgenden ergänzenden Anforderungen an CAD-Daten formuliert (siehe Kapitel 4.2.1):

- Vollständigkeit architektonischer Merkmale
- Identifizierung von Innenräumen
- Verfügbarkeit von Höhendaten
- Geometrien sind topologisch sauber
- CAD-Pläne liegen als vollständige Etagenpläne vor
- Annotationen können zugeordnet werden

Der Methodik wurde darüber hinaus der zusätzliche Vorverarbeitungsschritt *Topologische Korrekturen* hinzugefügt. Da insbesondere bei CAD-Daten im Allgemeinen nicht davon ausgegangen werden kann, dass diese in einer topologisch sauberen Form vorliegen, müssen die Daten dahingehend aufbereitet werden, dass sie auch qualitativ für eine Weiterverarbeitung geeignet sind. Dies bedeutet insbesondere, dass die in den Daten verwendeten Geometrien auch topologisch korrekt sind (siehe Kapitel 4.2.4).

Auch wird die Einführung eines separaten *Locator-Layers* als ungeeignet angesehen, da dessen Rolle bereits vollumfänglich durch die POIs im AIIM abgedeckt ist. Insbesondere bei Nutzung der Methode, das Wegenetz anhand der POIs auszudünnen, würden die Adresspunkte des Locator-Layers im Wegenetz nicht berücksichtigt (siehe Kapitel 3.4.5).

Allerdings wird das starke *Ausdünnen des Netzwerks* generell insofern in Frage gestellt, dass dieser Schritt spätestens dann für Probleme sorgt, sobald das CRIS um ein IPS und die Nutzung von realen Benutzerstandorten erweitert wird und nicht nur der Berechnung von Wegen zwischen POIs dient (siehe Kapitel 3.4.4).

Zuletzt wurde die Methodik um das *Hinzufügen von Orientierungspunkten* zum Campus-Netzwerk im Rahmen der Netzwerkerstellung ergänzt, damit diese auch bei den Anwendungen zur Wegführung entsprechend berücksichtigt werden (siehe Kapitel 4.3.4.6).

Die Methodik von Wilkening et al. ist im Detail also noch nicht voll ausgereift. Die oben angeführten Punkte, können aber dazu beitragen, dass Modell weiter zu verbessern.

6 Ausblick

In dieser Arbeit konnte erfolgreich ein CRIS für einen Bürokomplex entwickelt werden. Das reine Vorhandensein eines CRIS bedeutet aber nicht automatisch, dass Benutzer dieses System tatsächlich verwenden. Vor allem, da die meisten Menschen (noch) dazu neigen, ohne Hilfsmittel wie Karten in Innenräumen zu navigieren [43]. Es stellt sich also die Frage, wie das CRIS weiterentwickelt werden muss, damit Benutzer es tatsächlich auch verwenden. Da im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht allen relevanten Themen hinreichend viel Raum gegeben werden konnte, wird zum Abschluss dieser Arbeit ein Ausblick gegeben, wie das im Rahmen dieser Arbeit erstellte CRIS weiter verbessert werden könnte und welche fortführenden Fragestellungen offenbleiben.

Dynamisches Routing / Indoor Positioning

Um auch ein dynamisches Routing zu ermöglichen, in dem der Benutzer in Echtzeit seine eigene Position angezeigt bekommt, ist eine Erweiterung des CRIS um ein IPS erforderlich. Wenn der Benutzer von dem vorgegebenen Pfad abweicht, beispielsweise weil er Anweisungen zur Wegführung fehlinterpretiert, kann der Benutzer leicht die Orientierung verlieren. Wenn der Standort des Benutzers dem System bekannt ist, kann das System im Fall, dass der Benutzer vom Weg abkommt oder einen alternativen Pfad benötigt, einen neuen Pfad finden [11]. Auch zur Verfolgung nicht-menschlicher mobiler Objekte in Innenräumen, dem Asset-Tracking, ist ein entsprechendes IPS erforderlich.

Werden die Positionen von Personen (anonymisiert) oder aber mobilen Objekten im System verarbeitet, eröffnen sich Möglichkeiten der Auswertung dieser Daten, wie beispielsweise Analysen von Nutzerverhalten oder der Raumnutzung.

Nicht zuletzt wegen dieser Anwendungsfälle wird das Themenfeld Indoor-Positionierung als ein zentrales Zukunftsfeld für die Geoinformatik angesehen [7], [44], [45], [46].

Verbesserte Wegführung

In dem im Rahmen dieser Arbeit entwickelten CRIS werden die Anweisungen für die Wegführung in gebräuchlicher Darstellung mit kurzen textuellen Beschreibungen und einfachen Symbolen dargestellt. Darüber können Routen eingebettet in eine 2D- oder 3D-Karte visuell auf einem Display dargestellt werden.

Hier kann nun angesetzt werden, die textuelle Beschreibung, die Symbole und auch die visuelle Darstellung der Karte weiter zu untersuchen und zu prüfen, wie Darstellungsformen verbessert werden können. So könnten mehr oder weniger Details oder auch andere Inhalte in der Karte wünschenswert sein. Ansätze hierzu bieten die in Kapitel

4.5.3.3 aufgeführten Anmerkungen der Probanden, wobei die Punkte alle im Einzelnen dahingehend untersucht werden müssten, ob eine entsprechende Umsetzung die generelle Nutzbarkeit des CRIS tatsächlich verbessert.

In diesem Zusammenhang könnte auch untersucht werden, ob und inwieweit die Wegführung durch die Ergänzung von geeigneten Orientierungspunkten optimiert werden kann. Hierzu bietet die Arbeit von Fellner über automatisch generierte Routing-Anweisungen mit Orientierungspunkten für die Navigation in Innenräumen gute Ansätze (vgl. [12]).

Alternativ zu der Darstellung auf einem klassischen Display bietet auch Augmented Reality eine Möglichkeit, die Wegführung zu erleichtern. Auch hier gibt es bereits erste Ansätze für die Innenraumnavigation (vgl. [17], [41]).

Für Menschen mit Sehbehinderungen ist das in dieser Arbeit entworfene CRIS nur eingeschränkt oder überhaupt nicht zu nutzen. In den letzten Jahren wurden verschiedene Navigationssysteme für Innenräume entworfen und entwickelt, mit dem Ziel sie auch für sehbehinderte Menschen nutzbar zu machen [20].

Funktionale Erweiterungen

Zu untersuchen ist auch, ob und inwieweit ein CRIS durch zusätzliche Funktionalitäten oder Sensoren, die Echtzeitdaten liefern verbessert werden kann.

Gerade in modernen Büroumgebungen mit Shared-Desk-Prinzip, wäre es für die Mitarbeiter interessant angezeigt zu bekommen, welche Arbeitsplätze besetzt, gebucht bzw. noch frei sind. Eine Anbindung an ein bestehendes Raumplanungssystem, könnte die Brauchbarkeit des CRIS für Anwender auf diese Weise steigern.

Sensoren könnten beispielsweise an vielen Messpunkten das Gebäude hinsichtlich Temperatur, Luftfeuchtigkeit, usw. überwachen. So könnte beispielsweise nicht nur eine entsprechende Alarmierung bei der Überschreitung von Grenzwerten erfolgen, sondern es könnten diese Areale auch direkt in der Routenführung der Nutzer berücksichtigt und gemieden werden.

Erweiterung des ArcGIS Indoors Information Models

Das ArcGIS Indoors Information Model bietet in seiner aktuellen Definition bereits eine Reihe von Attributen, mit der die Semantik von Innenraumumgebungen beschrieben werden kann. Diverse Attribute, die das Navigationsmodell möglicherweise sinnvoll ergänzen könnten, sind jedoch nicht vorgesehen, wie beispielsweise das Oberflächenmaterial von Böden. Auch sind bislang als Fortbewegungsarten lediglich *Walking* (Zu Fuß)

und *Wheelchair* (Benutzung eines Rollstuhls) vorgesehen. Durch das zugrundeliegende Network Dataset lassen sich solche Attribute allerdings technisch leicht ergänzen. Hier wäre es also insbesondere interessant zu untersuchen, um welche Attribute das AIIM formell ergänzt werden sollte.

Ebenso interessant wäre eine Untersuchung, wie das AIIM formell um dynamische Hindernisse ergänzt werden kann, so dass beispielsweise auch Schiebetüren und Faltwände oder kurzfristige Sperrungen von Wegen berücksichtigt werden können.

Weitere Forschungsfelder

Neben den bereits erwähnten Themen existieren zahlreiche weitere Forschungsfelder im Rahmen von Innenraumnavigation mit Relevanz in Büroumgebungen, auf die in dieser Arbeit nicht näher eingegangen werden konnte, die aber in der Literatur diskutiert werden.

So können mit Indoor-Navigationssystemen auch nicht-menschliche Agenten wie Roboter oder Drohnen navigiert werden. In den vergangenen Jahren sind bereits diverse Arbeiten erschienen, die sich explizit mit der Innenraumnavigation von Robotern oder Drohnen auseinandersetzen (vgl. [6], [10], [24], [47]). Diese können als Ansätze für weitere Untersuchungen dienen.

Der Bedarf an Innenraumnavigation kann auch unter dem Gesichtspunkt der Wirtschaftlichkeit analysiert werden [9]. Hier können beispielsweise Überlegungen angestellt werden, wie groß die Zeit- und damit Kostenersparnis für Wartungsarbeiten ist, oder wieviel Arbeitszeit verloren geht, weil sich Mitarbeiter verlaufen oder nicht die effizientesten Strecken wählen.

Anhang A: CAD-Pläne

A.1 CAD-Pläne des Bürokomplexes 1-2

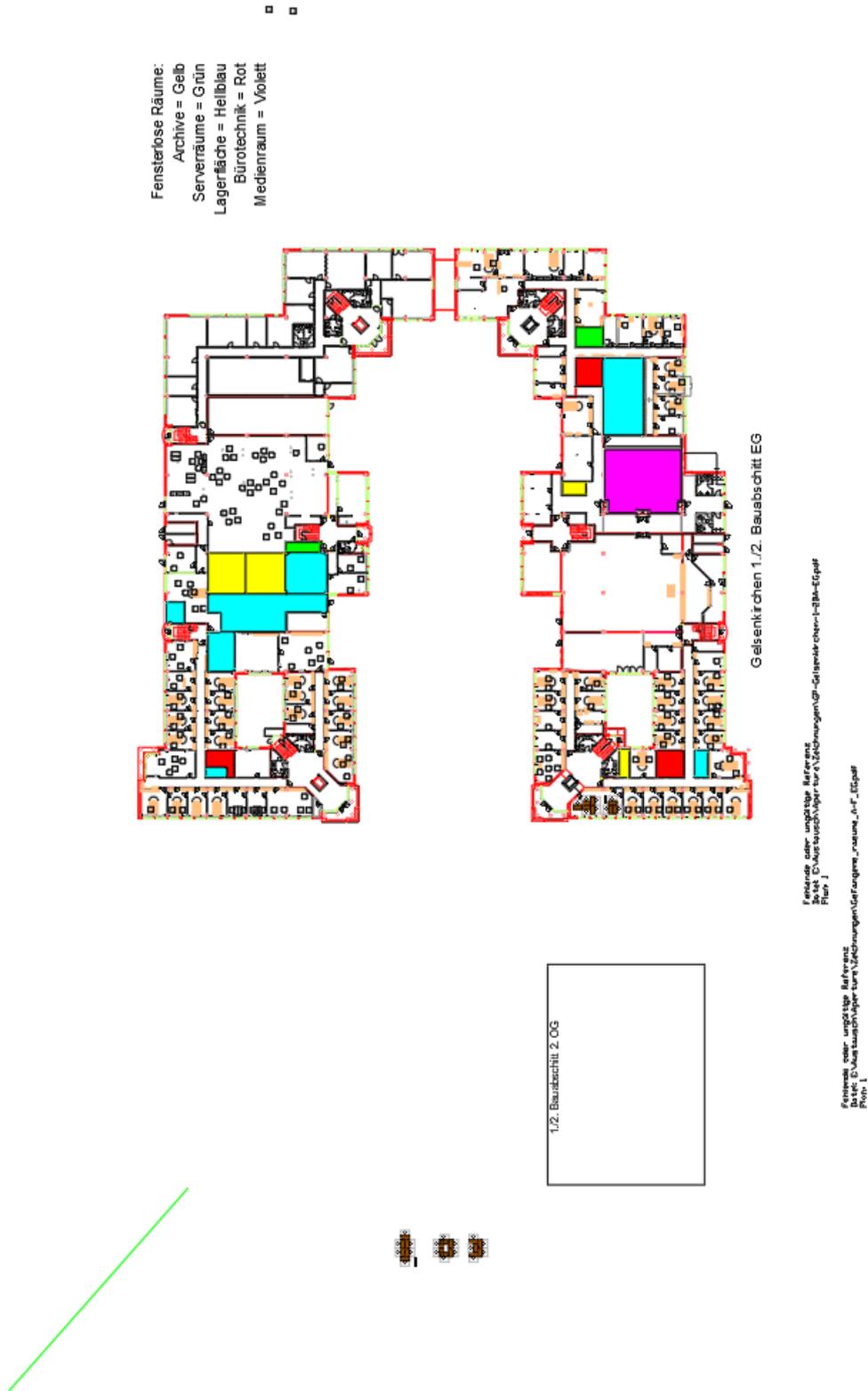


Abbildung 60: CAD-Plan des Erdgeschosses des Bürokomplexes 1-2

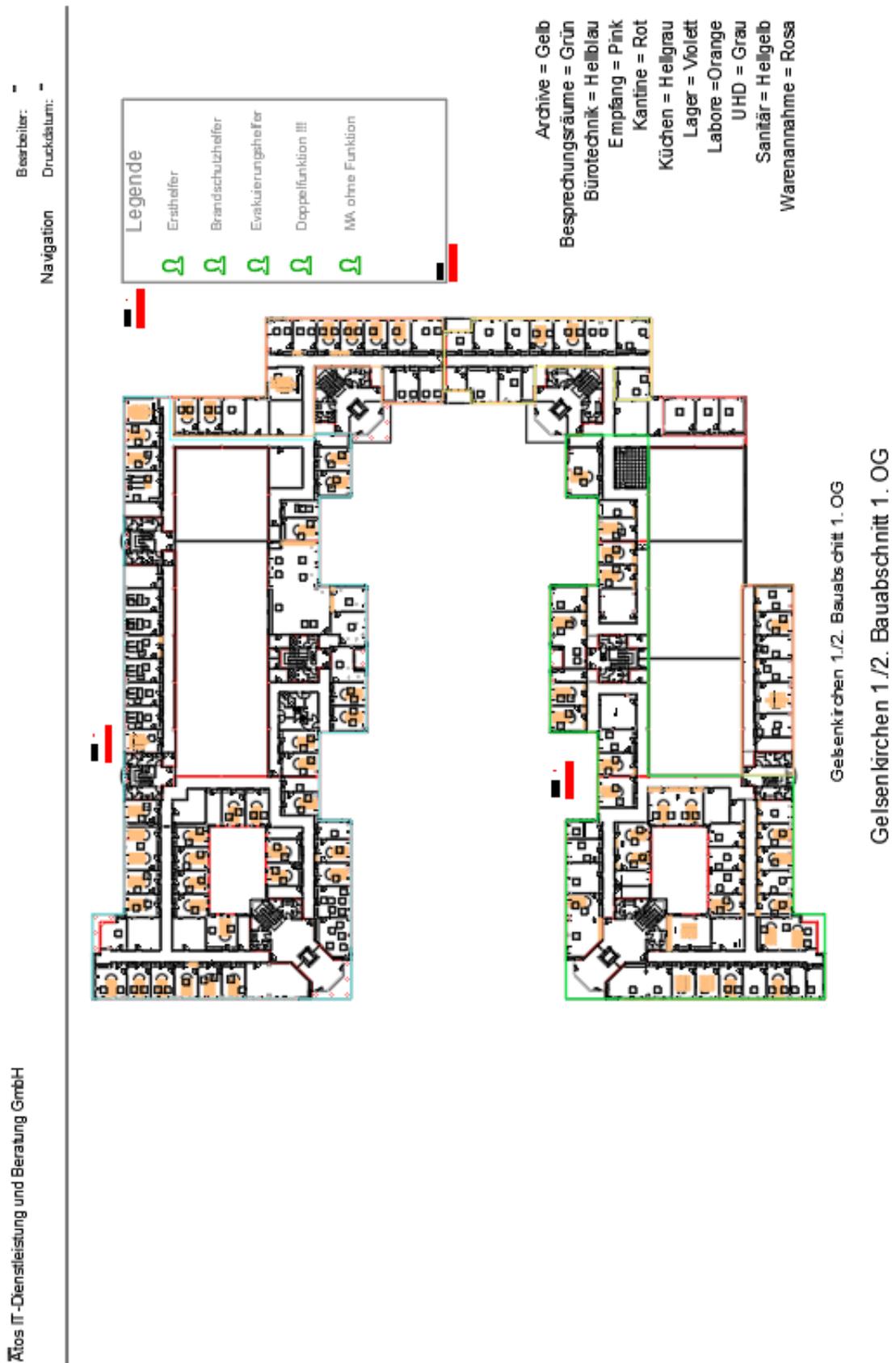


Abbildung 61: CAD-Plan des 1. OG des Bürokomplexes 1-2

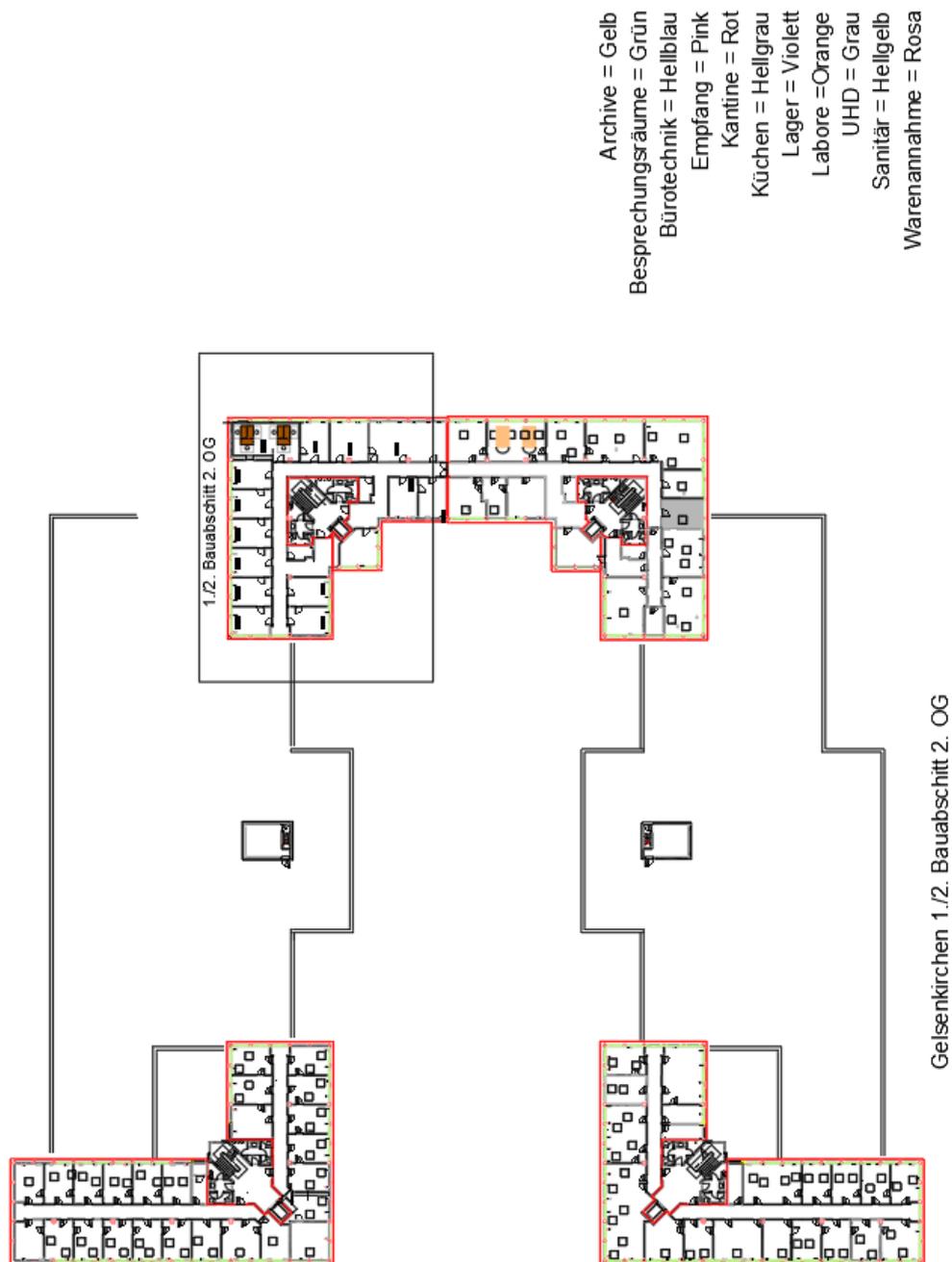


Abbildung 62: CAD-Plan des 2. OG des Bürokomplexes 1-2

A.2 Vorverarbeitete CAD-Dateien des Bürokomplexes 1-2

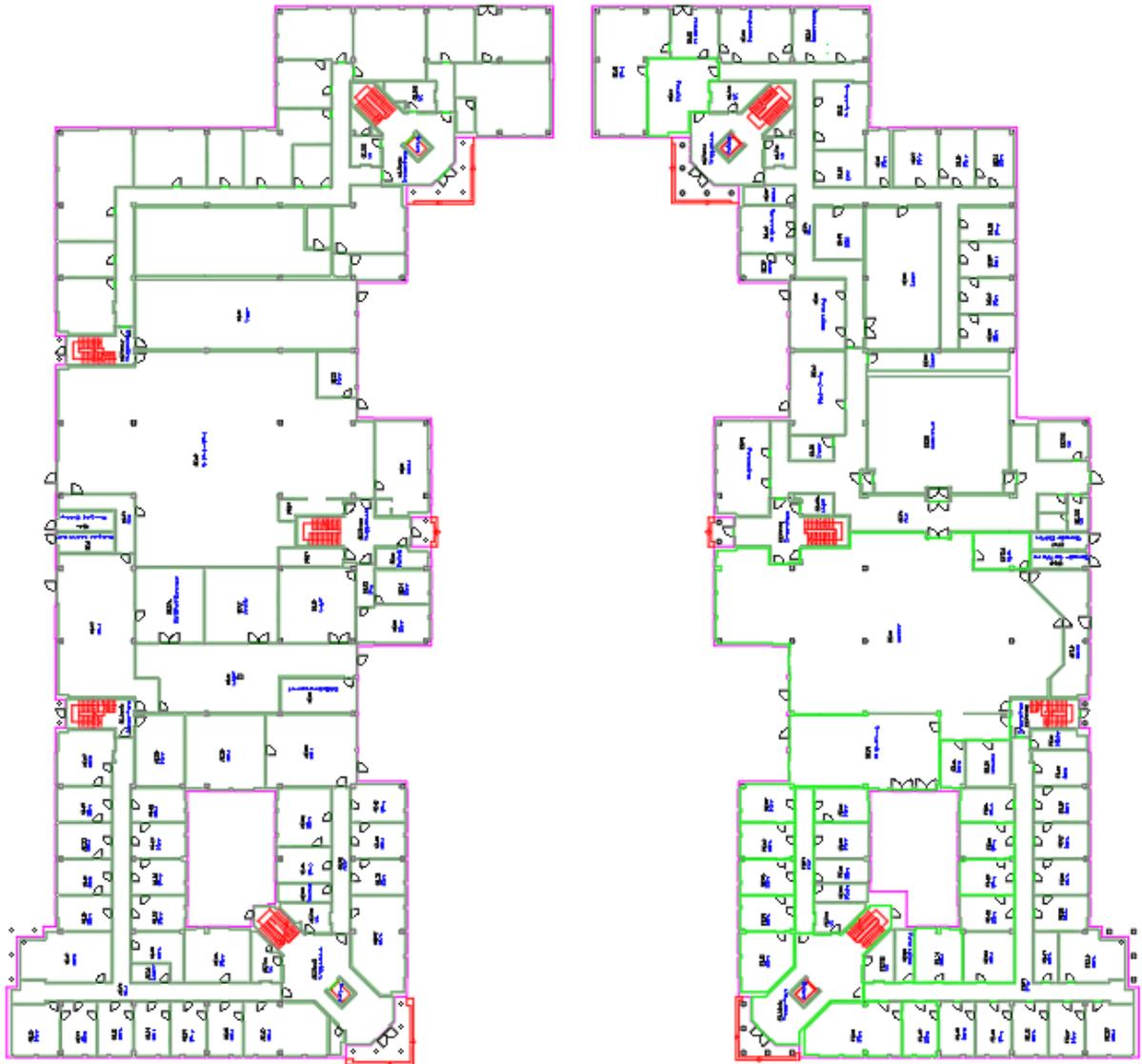


Abbildung 63: Aufbereiteter CAD-Plan des Erdgeschosses des Bürokomplexes 1-2

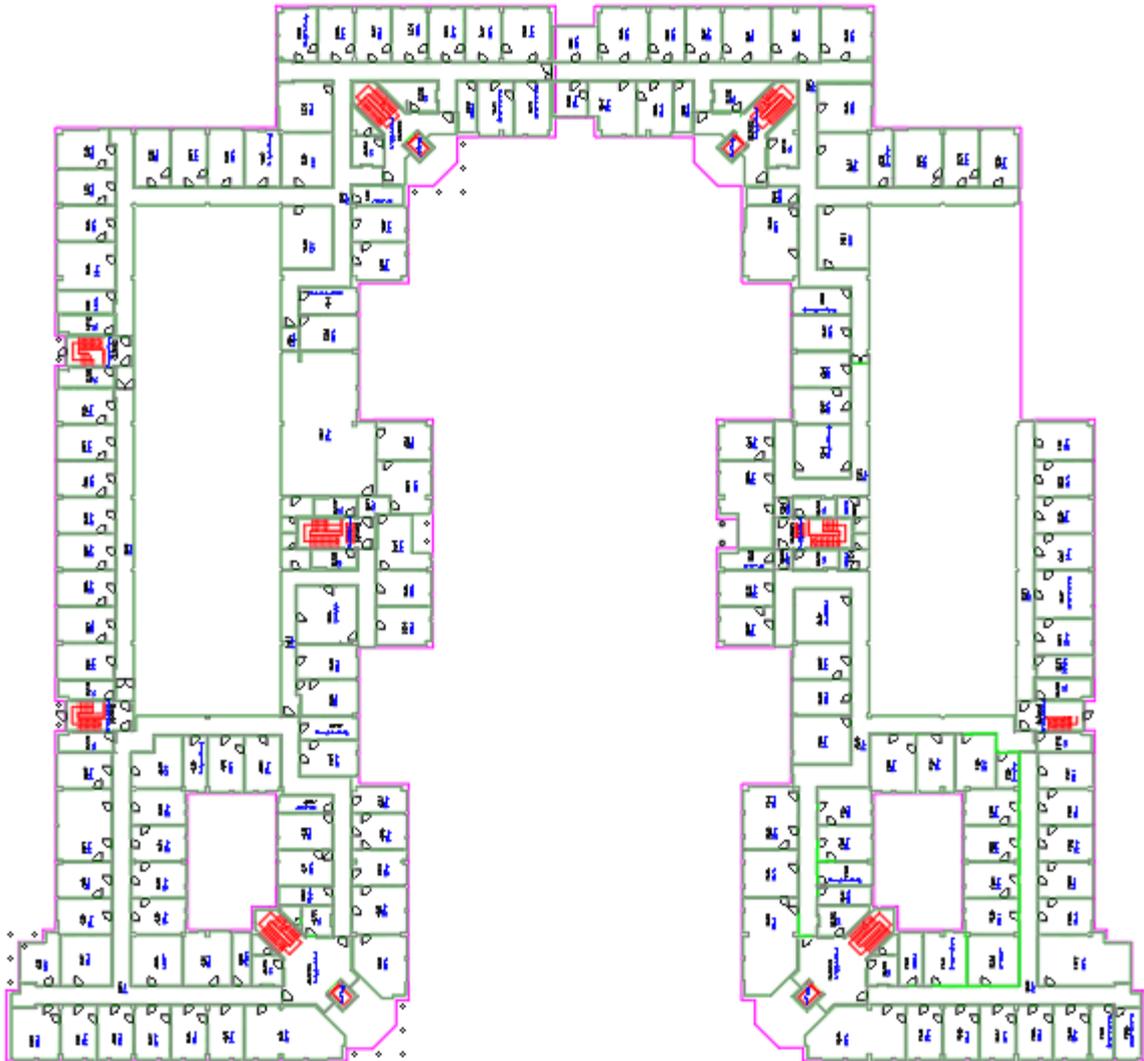


Abbildung 64: Aufbereiteter CAD-Plan des 1. OG des Bürokomplexes 1-2

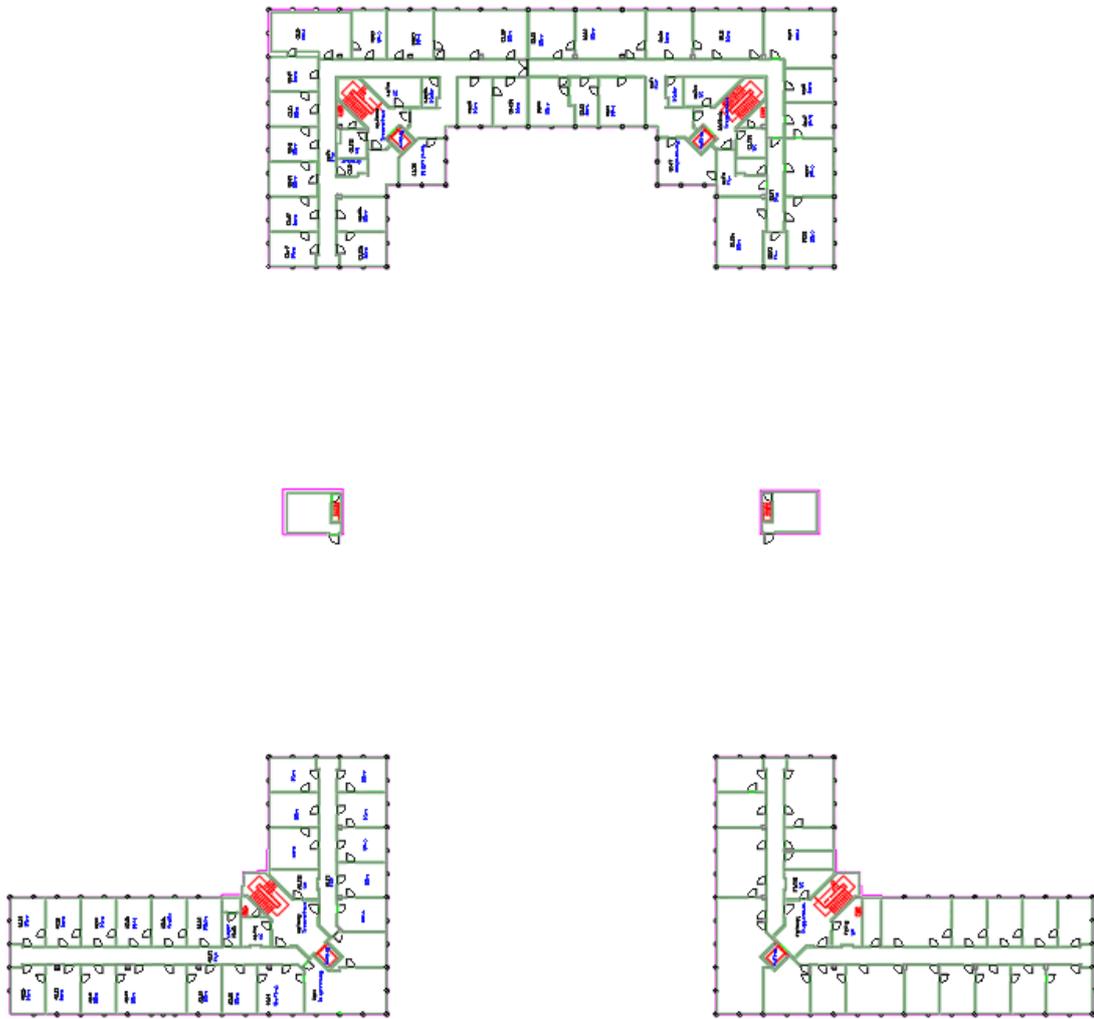


Abbildung 65: Aufbereiteter CAD-Plan des 2. OG des Bürokomplexes 1-2

Anhang B: AIIM

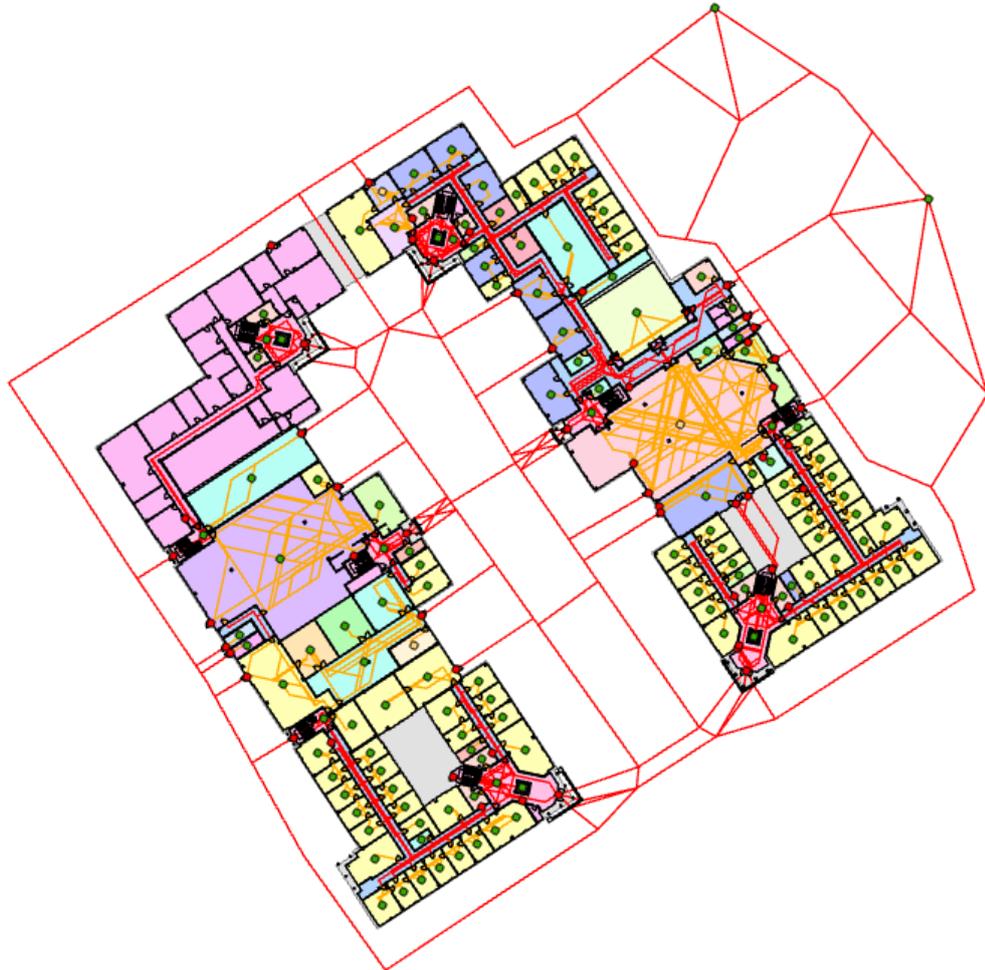


Abbildung 66: Darstellung des AIIMs des Erdgeschosses des Bürokomplexes 1-2

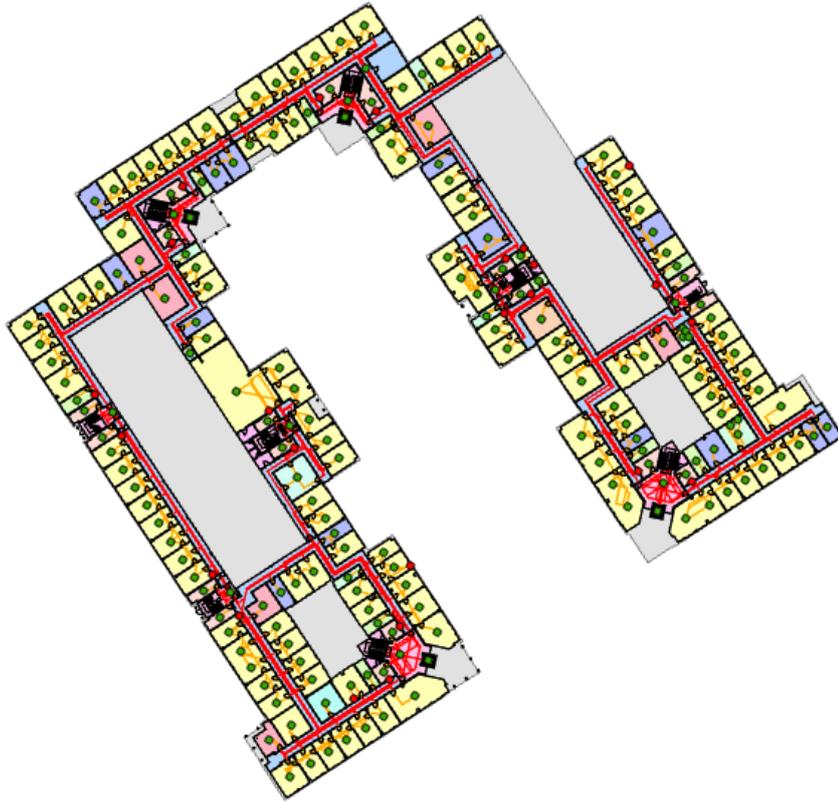


Abbildung 67: Darstellung des AIIMs des 1. OG des Bürokomplexes 1-2



Abbildung 68: Darstellung des AIIMs des 2. OG des Bürokomplexes 1-2

Anhang C: Fragebogen

Campus Routing Informationssystem Bürokomplex Gelsenkirchen

Fragebogen zur Evaluierung

Allgemeine Anleitung zum Fragebogen

Bitte gehe die folgenden Fragen **nacheinander** durch und beantworte sie **direkt**, bzw. markiere das zutreffende Kästchen .

Bitte schau dir den Fragebogen vorher **nicht** vollständig an.

Dich erwartet Folgendes:

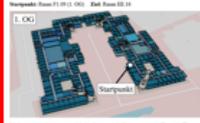
- Fragen zu deiner Person, um deine Antworten in diesem Fragebogen einordnen zu können
- Vier Wegführungen im Gebäudekomplex mit jeweils
 1. der Angabe des Start- und Zielpunkts
 2. Fragen zum Zielpunkt
 3. einer Wegbeschreibung, vom Start- zum Zielpunkt mit
 - › einer Übersicht über die gesamte Route sowie
 - › detaillierten Anweisungen zur Wegführung
 4. Fragen zur Wegbeschreibung
- Abschließende Fragen

Zur Beantwortung des Fragebogens musst du dich **nicht** im Gebäudekomplex befinden!

Die Beantwortung des Fragebogens dauert etwa 15 Minuten.

Aufbau der Aufgaben zur Wegführung

Route 1
 Hauptstadt Bonn 1 (P1, 10) - Ziel Bonn 10 10
 1. OG



10 Bonn nachfolgend, wie sich der Standort befindet. 10 10 - Bonn 10

Anfragen zur Darstellung

| | 10 10
Bonn nachfolgend |
|------------------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Die Route wird dir zur Darstellung | <input type="checkbox"/> |
| Auch über Wegbeschreibung werden | <input type="checkbox"/> |
| Auch über Wegbeschreibung werden | <input type="checkbox"/> |
| Auch über Wegbeschreibung werden | <input type="checkbox"/> |
| Auch über Wegbeschreibung werden | <input type="checkbox"/> |
| Auch über Wegbeschreibung werden | <input type="checkbox"/> |

(1) Hier findest du Angaben zum **Start- und Zielpunkt** der jeweiligen Route sowie eine Darstellung des Startpunktes auf einer Gebäudedarstellung.

(2) Bitte gib hier an, inwieweit du **allein anhand des angegebenen Raumnemens** die Position des Zieles im Gebäude und den Weg vom Startpunkt dorthin finden würdest und ob du den Weg beschreiben könntest.

Wegbeschreibung Route 1 (P1, 10 - 10, 10)

Übersicht über die gesamte Route



1. Obergeschoss (10, 10) 10 Meter - ca. 10 Minuten
 2. Obergeschoss (10, 10) 10 Meter - ca. 10 Minuten

| | 10 10
Bonn nachfolgend |
|--------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| 1. Obergeschoss (10, 10) | <input type="checkbox"/> |
| 2. Obergeschoss (10, 10) | <input type="checkbox"/> |

(3a) Die Wegbeschreibung beginnt mit einer **Übersicht über die gesamte Route**. Die Route ist als dicke, blaue Linie in die Karte eingezeichnet.

Wenn die Route über mehrere Etagen verläuft, werden die Abschnitte in den jeweiligen Etagen getrennt voneinander dargestellt.

(3b) Es folgt eine **detaillierte Wegbeschreibung** in Form von Anweisungen und einer Kartendarstellung des jeweiligen Wegabschnitts.

Dabei wird in den Kartendarstellungen der jeweilige Wegabschnitt gelb hervorgehoben.

Anfragen über die Wegbeschreibungen zu Route 1

| | 10 10
Bonn nachfolgend |
|----------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Die Wegbeschreibung werden | <input type="checkbox"/> |
| Die Wegbeschreibung werden | <input type="checkbox"/> |

Die Anzahl von 1) oder 2) bei der letzten Aussage

Welche Teil der Wegbeschreibung findest du eher leicht oder schwierig zu verstehen? (Bitte ankreuzen!)

1) Übersicht über die gesamte Route

- Übersicht über die gesamte Route
- Symbolische Anweisungen zur Wegführung
- Textuelle Anweisungen
- Textuelle Anweisungen
- Textuelle Anweisungen

2) Anweisung, wie man zum Ziel kommt

2) Anweisung, wie man zum Ziel kommt

| | 10 10
Bonn nachfolgend |
|----------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Die Wegbeschreibung werden | <input type="checkbox"/> |
| Die Wegbeschreibung werden | <input type="checkbox"/> |

(4) Bitte gib hier deine Einschätzung an,

- ob du **mit der vorgestellten Wegbeschreibung** den Weg zum Ziel finden würdest,
- ob die Wegbeschreibung **klar verständlich** ist und
- ob du die Wegbeschreibung **für Gäste und Besucher** als hilfreich einschätzt.

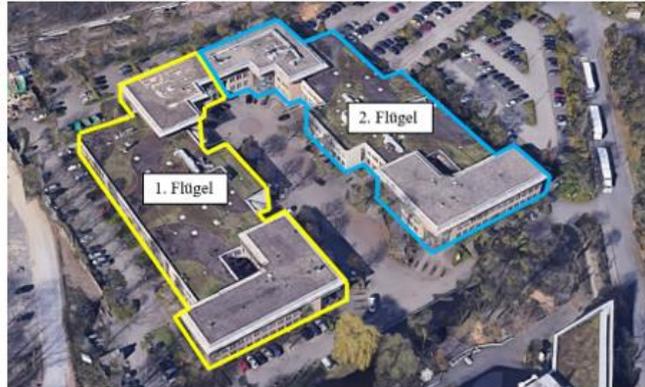
Viel Spaß!

Angaben zur eigenen Person

Angaben zum Arbeitsplatz

- Ich habe einen Arbeitsplatz im Bürokomplex Servicepark Emscherschnellweg, Gelsenkirchen:
 nein ja, seit **Wählen Sie ein Element aus.** Jahren

- Vor Ort arbeite ich primär im **Wählen Sie ein Element aus..**



- In einer typischen Arbeitswoche bin ich **Wählen Sie ein Element aus.** Tage vor Ort.

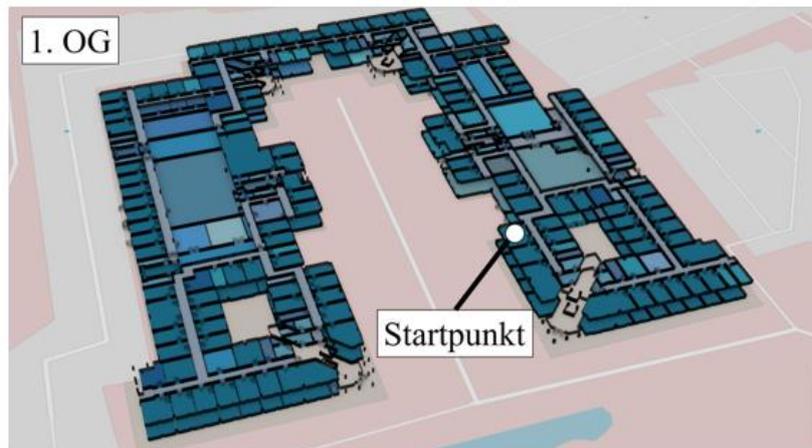
Selbsteinschätzung der Ortskenntnis

	(4) = Stimme voll zu	(3) = Stimme eher zu	(2) = Stimme eher nicht zu	(1) = Stimme überhaupt nicht zu	Keine Aussage möglich
Ich bin mit dem für meine Arbeit relevanten Teil des Bürokomplexes gut vertraut.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich weiß anhand der Raumbezeichnung genau, wo sich ein Raum in dem für meine Arbeit relevanten Teil des Bürokomplexes befindet.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich bin mit dem gesamten Bürokomplex gut vertraut.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich weiß anhand der Raumbezeichnung genau, wo sich ein Raum im gesamten Bürokomplex befindet.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Route 1

Startpunkt: Raum F1.09 (1. OG)

Ziel: Raum EE.16



Ich kann nachvollziehen, wo sich der Startpunkt im realen Gebäudekomplex befindet:

ja nein

Aussagen zur Zielfindung

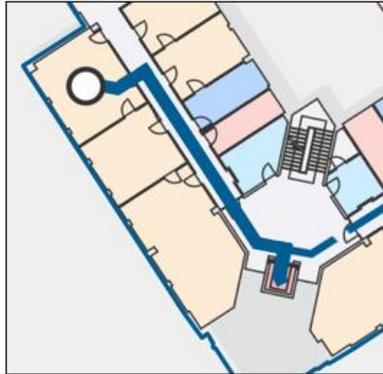
	(4) = Stimme voll zu	(3) = Stimme eher zu	(2) = Stimme eher nicht zu	(1) = Stimme überhaupt nicht zu	Keine Aussage möglich
Ich weiß, wo sich das Ziel befindet.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Auch ohne Wegbeschreibung würde ich den Weg zum Ziel leicht finden.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Auch ohne Wegbeschreibung würde ich den Weg zum Ziel unter der Meidung von Stufen und Treppen leicht finden.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Auch ohne Wegbeschreibung könnte ich anderen den Weg zum Ziel beschreiben.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Auch ohne Wegbeschreibung könnte ich anderen den Weg zum Ziel unter der Meidung von Stufen und Treppen beschreiben.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Wegbeschreibung Route 1 (F1.09 – EE.16)

Rahmenbedingung: Vermeidung von Stufen und Treppen

Übersicht über die gesamte Route

1. Abschnitt (1. OG)
36 Meter / ca. 0,5 Minuten

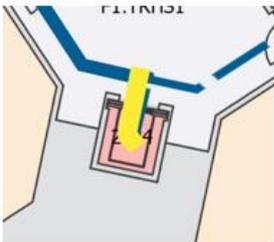
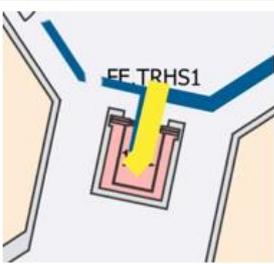


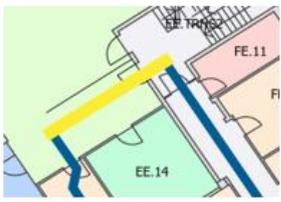
2. Abschnitt (Erdgeschoss)
99 Meter / ca. 1,5 Minuten



Detaillierte Anweisungen zur Wegführung

1.		Start in Raum F1.09		
2.	↑	Geradeaus	7 Meter	<p>A detailed floor plan showing the first 7 meters of the route. A yellow arrow starts in room F1.09 and points straight up towards room F1.02. Other rooms labeled include F1.10, F1.08, F1.06, and F1.05.</p>

3.		Rechts abbiegen	26 Meter	
4.		Rechts abbiegen	3 Meter	
5.		Mit dem Aufzug hinunter ins EG	3 Meter	
6.		Rechts abbiegen	34 Meter	
7.		Links abbiegen	45 Meter	

8.		Links abbiegen	10 Meter	
9.		Links abbiegen	7 Meter	
10.		Ziel in Raum EE.16 erreicht		

Aussagen über die Wegbeschreibungen zu Route 1

	(4) = Stimme voll zu	(3) = Stimme eher zu	(2) = Stimme eher nicht zu	(1) = Stimme überhaupt nicht zu	Keine Aussage möglich
Mit der Wegbeschreibung würde ich den Weg zum Ziel leicht finden.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Wegbeschreibung ist klar verständlich.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Bei Auswahl von (1) oder (2) bei der letzten Aussage:

Welche Teile der Wegbeschreibung fandest du eher nicht oder überhaupt nicht klar verständlich? (*Mehrfachantwort möglich*)

Übersicht über die gesamte Route

Detaillierte Anweisungen zur Wegführung:

Symbole

Textuelle Anweisungen

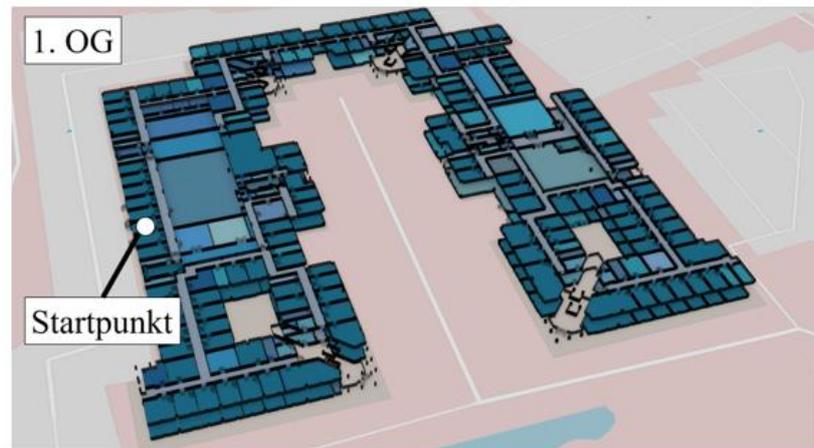
Entfernungen

Kartenausschnitte

Anderes: [Klicken oder tippen Sie hier, um Text einzugeben.](#)

Erläuterung (*optional*): [Klicken oder tippen Sie hier, um Text einzugeben.](#)

	(4) = Stimme voll zu	(3) = Stimme eher zu	(2) = Stimme eher nicht zu	(1) = Stimme überhaupt nicht zu	Keine Aussage möglich
Die Wegbeschreibung ist hilfreich für Gäste und Besucher, die mit dem Bürokomplex nicht vertraut sind.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Route 2**Startpunkt: Raum B1.05 (1. OG)****Ziel: Raum C1.43**

Ich kann nachvollziehen, wo sich der Startpunkt im realen Gebäude befindet:

ja nein

Aussagen zur Zielfindung

	(4) = Stimme voll zu	(3) = Stimme eher zu	(2) = Stimme eher nicht zu	(1) = Stimme überhaupt nicht zu	Keine Aussage möglich
Ich weiß, wo sich das Ziel befindet.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Auch ohne Wegbeschreibung würde ich den Weg zum Ziel leicht finden.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Auch ohne Wegbeschreibung könnte ich anderen den Weg zum Ziel beschreiben.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Wegbeschreibung Route 2 (B1.05 – C1.43)

Übersicht über die gesamte Route

1. Abschnitt (1. OG)

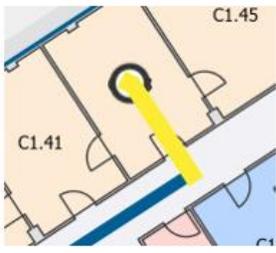
156 Meter / ca. 2 Minuten



Detaillierte Anweisungen zur Wegführung

1.		Start in Raum B1.05		
2.	↑	Geradeaus	6 Meter	

3.		Links abbiegen	65 Meter	
4.		Rechts abbiegen	36 Meter	
5.		Links abbiegen	21 Meter	
6.		Rechts abbiegen	23Meter	

7.		Links abbiegen	6 Meter	
8.		Ziel in Raum C1.43 erreicht		

Aussagen über die Wegbeschreibungen zu Route 2

	(4) = Stimme voll zu	(3) = Stimme eher zu	(2) = Stimme eher nicht zu	(1) = Stimme überhaupt nicht zu	Keine Aussage möglich
Mit der Wegbeschreibung würde ich den Weg zum Ziel leicht finden.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Wegbeschreibung ist klar verständlich.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Bei Auswahl von (1) oder (2) bei der letzten Aussage:

Welche Teile der Wegbeschreibung fandest du eher nicht oder überhaupt nicht klar verständlich? (*Mehrfachantwort möglich*)

Übersicht über die gesamte Route

Detaillierte Anweisungen zur Wegführung:

Symbole

Textuelle Anweisungen

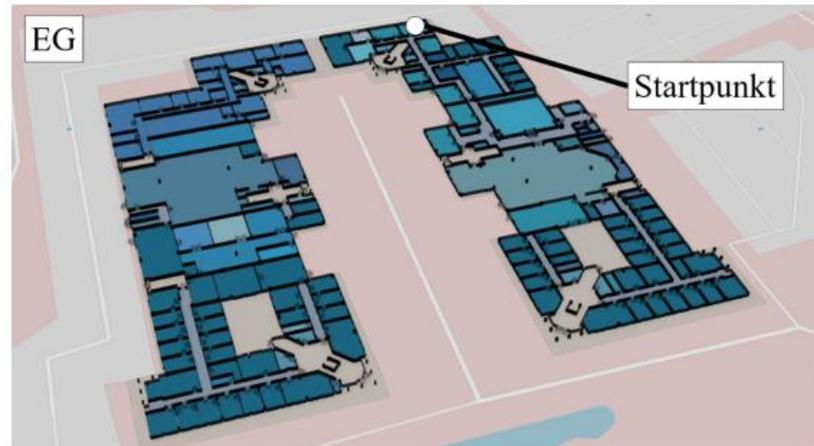
Entfernungen

Kartenausschnitte

Anderes: [Klicken oder tippen Sie hier, um Text einzugeben.](#)

Erläuterung (*optional*): [Klicken oder tippen Sie hier, um Text einzugeben.](#)

	(4) = Stimme voll zu	(3) = Stimme eher zu	(2) = Stimme eher nicht zu	(1) = Stimme überhaupt nicht zu	Keine Aussage möglich
Die Wegbeschreibung ist hilfreich für Gäste und Besucher, die mit dem Bürokomplex nicht vertraut sind.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Route 3**Startpunkt:** Raum DE.07 (Erdgeschoss)**Ziel:** Raum F1.09

Ich kann nachvollziehen, wo sich der Startpunkt im realen Gebäudekomplex befindet:

ja nein **Aussagen zur Zielfindung**

	(4) = Stimme voll zu	(3) = Stimme eher zu	(2) = Stimme eher nicht zu	(1) = Stimme überhaupt nicht zu	Keine Aussage möglich
Ich weiß, wo sich das Ziel befindet.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Auch ohne Wegbeschreibung würde ich den Weg zum Ziel leicht finden.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Auch ohne Wegbeschreibung könnte ich anderen den Weg zum Ziel beschreiben.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Wegbeschreibung Route 3 (DE.07 – F1.09)

Übersicht über die gesamte Route

1. Abschnitt (Erdgeschoss)
119 Meter / ca. 2 Minuten

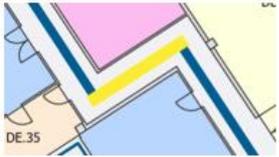
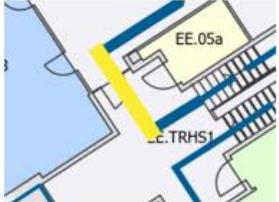


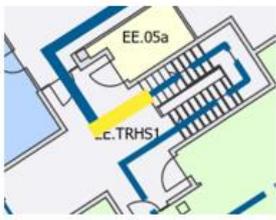
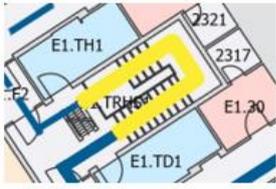
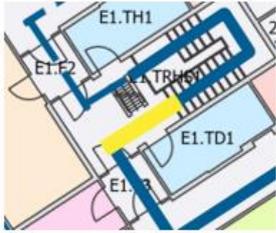
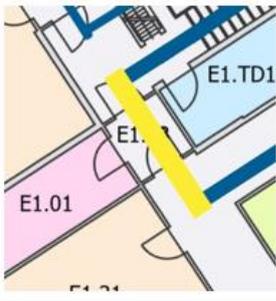
2. Abschnitt (1. OG)
74 Meter / ca. 1 Minute

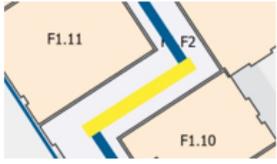
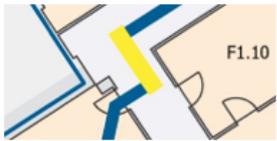


Detaillierte Anweisungen zur Wegführung

1.		Start in Raum DE.07		
2.	↑	Geradeaus	12 Meter	

3.		Links abbiegen	33 Meter	
4.		Links abbiegen	8 Meter	
5.		Rechts abbiegen	45 Meter	
6.		Links abbiegen	6 Meter	

7.		Links abbiegen	4 Meter	
8.		Treppe in 1. OG	12 Meter	
9.		Weiter geradeaus	4 Meter	
10.		Links abbiegen	7 Meter	
11.		Links abbiegen	12 Meter	

12.		Rechts abbiegen	32 Meter	
13.		Rechts abbiegen	8 Meter	
14.		Links abbiegen	3 Meter	
15.		Rechts abbiegen	8 Meter	
16.		Ziel in Raum F1.09 erreicht		

Aussagen über die Wegbeschreibungen zu Route 3

	(4) = Stimme voll zu	(3) = Stimme eher zu	(2) = Stimme eher nicht zu	(1) = Stimme überhaupt nicht zu	Keine Aussage möglich
Mit der Wegbeschreibung würde ich den Weg zum Ziel leicht finden.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Wegbeschreibung ist klar verständlich.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Bei Auswahl von (1) oder (2) bei der letzten Aussage:

Welche Teile der Wegbeschreibung fandest du eher nicht oder überhaupt nicht klar verständlich? (*Mehrfachantwort möglich*)

Übersicht über die gesamte Route

Detaillierte Anweisungen zur Wegführung:

Symbole

Textuelle Anweisungen

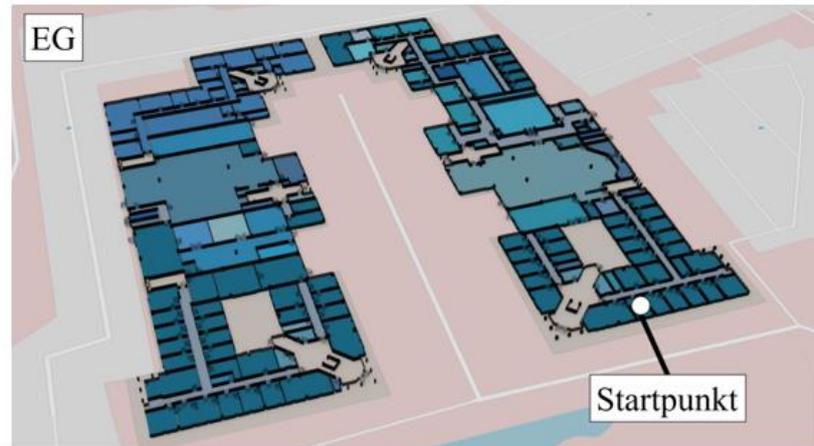
Entfernungen

Kartenausschnitte

Anderes: [Klicken oder tippen Sie hier, um Text einzugeben.](#)

Erläuterung (*optional*): [Klicken oder tippen Sie hier, um Text einzugeben.](#)

	(4) = Stimme voll zu	(3) = Stimme eher zu	(2) = Stimme eher nicht zu	(1) = Stimme überhaupt nicht zu	Keine Aussage möglich
Die Wegbeschreibung ist hilfreich für Gäste und Besucher, die mit dem Bürokomplex nicht vertraut sind.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Route 4**Startpunkt:** Raum FE.37 (Erdgeschoss)**Ziel:** Raum AE.06

Ich kann nachvollziehen, wo sich der Startpunkt im realen Gebäudekomplex befindet:
ja nein

Aussagen zur Zielfindung

	(4) = Stimme voll zu	(3) = Stimme eher zu	(2) = Stimme eher nicht zu	(1) = Stimme überhaupt nicht zu	Keine Aussage möglich
Ich weiß, wo sich das Ziel befindet.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Auch ohne Wegbeschreibung würde ich den Weg zum Ziel leicht finden.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Auch ohne Wegbeschreibung könnte ich anderen den Weg zum Ziel beschreiben.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Wegbeschreibung Route 4 (FE.37 – AE.06)

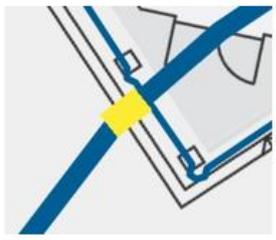
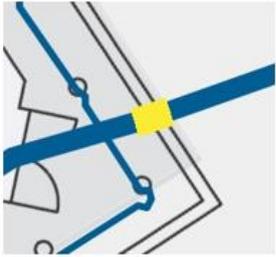
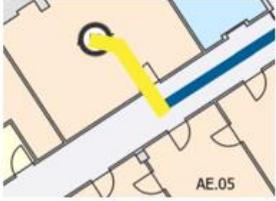
Übersicht über die gesamte Route

1. Abschnitt (Erdgeschoss)
134 Meter / ca. 2 Minuten



Detaillierte Anweisungen zur Wegführung

1.		Start in Raum DE.07		
2.	↑	Geradeaus	6 Meter	
3.	↶	Links abbiegen	33 Meter	

4.		Treppe	1 Meter	
5.		Geradeaus	54 Meter	
6.		Treppe	1 Meter	
7.		Geradeaus	34 Meter	
9.		Rechts abbiegen	6 Meter	
10.		Ziel in Raum AE.06 erreicht		

Aussagen über die Wegbeschreibungen zu Route 4

	(4) = Stimme voll zu	(3) = Stimme eher zu	(2) = Stimme eher nicht zu	(1) = Stimme überhaupt nicht zu	Keine Aussage möglich
Mit der Wegbeschreibung würde ich den Weg zum Ziel leicht finden.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Wegbeschreibung ist klar verständlich.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Bei Auswahl von (1) oder (2) bei der letzten Aussage:

Welche Teile der Wegbeschreibung fandest du eher nicht oder überhaupt nicht klar verständlich? (*Mehrfachantwort möglich*)

Übersicht über die gesamte Route

Detaillierte Anweisungen zur Wegführung:

Symbole

Textuelle Anweisungen

Entfernungen

Kartenausschnitte

Anderes: [Klicken oder tippen Sie hier, um Text einzugeben.](#)

Erläuterung (*optional*): [Klicken oder tippen Sie hier, um Text einzugeben.](#)

	(4) = Stimme voll zu	(3) = Stimme eher zu	(2) = Stimme eher nicht zu	(1) = Stimme überhaupt nicht zu	Keine Aussage möglich
Die Wegbeschreibung ist hilfreich für Gäste und Besucher, die mit dem Bürokomplex nicht vertraut sind.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Abschließende Fragen

	(4) = Oft	(3) = Manchmal	(2) = selten	(1) = nie	Keine Meinung
Ein System zur Suche von Zielen* (ohne Routenberechnung und Wegbeschreibung) würde mir bei meiner Arbeit im Bürokomplex helfen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ein System zur Suche von Zielen* mit zusätzlicher Routenberechnung (und detaillierter Wegbeschreibung) würde mir bei meiner Arbeit im Bürokomplex helfen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ein System, mit dem ich mich mit einem Smartphone durch den Bürokomplex zu Zielen* navigieren lassen kann, würde mir bei meiner Arbeit im Bürokomplex helfen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

	(4) = Stimme klar zu	(3) = Stimme eher zu	(2) = Stimme eher nicht zu	(1) = Stimme überhaupt nicht zu	Keine Meinung
Ein System zur Suche von Zielen* (ohne Routenberechnung und Wegbeschreibung) würde ich mir für den Bürokomplex wünschen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ein System zur Suche von Zielen* mit zusätzlicher Routenberechnung (und detaillierter Wegbeschreibung) würde ich mir für den Bürokomplex wünschen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ein System, mit dem ich mich mit einem Smartphone durch den Bürokomplex zu Zielen* navigieren lassen kann, würde ich mir für den Bürokomplex wünschen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

*Mögliche Ziele sind beispielsweise

- Räume („DE.04“, „Poststelle“, ...)
- Arbeitsplätze („Büro von Max Mustermann“, ...)
- Erste-Hilfe- und Brandschutzeinrichtung („Defibrillator“, „Feuerlöscher“, ...)
- Veranstaltungen („Arbeitssicherheitsschulung“, ...)

Vielen Dank für deine Teilnahme!

Glossar

Layer: Ein Layer (auch Ebene oder Kartenebene) bietet in einem Geografischen Informationssystem oder CAD-Werkzeug die Möglichkeit gleiche oder zusammengehörende raumbezogene Objekte zusammenzufassen, um diese gemeinsam zu verarbeiten oder ein- oder auszublenden.

Netzwerk: Ein Netzwerk ist ein System verbundener Elemente von Kanten und Verbindungsknoten, die mögliche Wege von einem Ort zu einem anderen darstellen.

Web Mapping Service: Unter Web Mapping Service versteht man einen kartenbasierten Online-Dienst eines Geoinformationssystems im World Wide Web.

Feature: Ein Feature ist die Abbildung einer realweltlichen Entität mit räumlicher Darstellung (z.B. als Punkt, Linie oder Polygon) im Geoinformationssystem.

Feature-Class: Eine Feature-Class sind homogene Sammlungen von Features, die jeweils die gleichen Attribute und die gleiche räumliche Darstellungsart (wie z.B. Punkte, Linien oder Polygone) haben,

Feature-Dataset: Ein Feature-Dataset ist eine Sammlung miteinander in Beziehung stehender Feature-Classes, die sich ein gemeinsames Koordinatensystem teilen.

Undershoot: Undershoots treten in CAD-Zeichnungen auf, wenn zwischen einem linearen Objekt und dem Schnittpunkt mit einem linearen Zielobjekt eine Lücke besteht (siehe Abbildung 50).

Overshoot: Overshoots treten in CAD-Zeichnungen auf, wenn ein lineares Objekt über einen Schnittpunkt mit einem linearen Zielobjekt hinausgeht (siehe Abbildung 51).

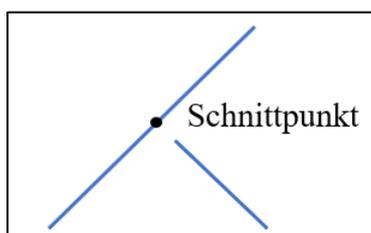


Abbildung 69: Undershoot

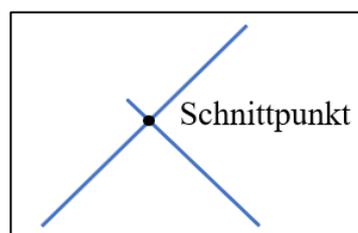


Abbildung 70: Overshoot

Quellenverzeichnis

- [1] Afyouni, I., Ray, C., and Claramunt, C. 2012. Spatial models for context-aware indoor navigation systems: A survey. *JOSIS*, 4.
- [2] Afyouni, I., Ray, C., and Claramunt, C. 2017. Representing Indoor Spaces. In *The international encyclopedia of geography. People, the earth, environment, and technology*, N. Castree, M. F. Goodchild, A. Kobayashi, W. Liu, R. A. Marston and D. Richardson, Eds. John Wiley & Sons, Chichester, UK, Hoboken, NJ, 1–12. DOI=10.1002/9781118786352.wbieg0900.
- [3] Biljecki, F., Ledoux, H., and Stoter, J. 2016. An improved LOD specification for 3D building models. *Computers, Environment and Urban Systems*, 59, 25–37.
- [4] Brown, G., Nagel, C., Zlatanova, S., and Kolbe, T. H. 2013. Modelling 3D Topographic Space Against Indoor Navigation Requirements. In *Progress and New Trends in 3D Geoinformation Sciences*, J. Pouliot, S. Daniel, F. Hubert and A. Zamyadi, Eds. Lecture Notes in Geoinformation and Cartography. Springer, Berlin, Heidelberg, 1–22. DOI=10.1007/978-3-642-29793-9_1.
- [5] Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin. 2012. *Barrierefreie Gestaltung von Arbeitsstätten. ASR V3a.2* zuletzt geändert GMBI 2018, S. 469.
- [6] Cernohorsky, J. and Novak, M. 2016. Mobile robot indoor navigation. In *Proceedings of the 2016 17th International Carpathian Control Conference (ICCC). Grandhotel Praha, High Tatras, Tatranská Lomnica, Slovak Republic, May 29-June 1, 2016*. IEEE, Piscataway, NJ, 151–155. DOI=10.1109/CarpathianCC.2016.7501084.
- [7] Cho, Y. C. and Choi, J. F. 2015. Spatial Information-Based 3D GIS for Indoor & Outdoor Integrated Platform Development from CRETA Platform. *IJCCE* 4, 6, 397–408.
- [8] Dalton, B., Yu, C.-H., and Yun, M. 2017. Jaguar. In *UIST '17 adjunct. Adjunct publication of the 30th annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology : October 22-25, 2017, Québec City, QC, Canada*. ACM, New York, 129–131. DOI=10.1145/3131785.3131826.
- [9] Dudas, P. M., Ghafourian, M., and Karimi, H. A. 2009. ONALIN: Ontology and Algorithm for Indoor Routing. In *Tenth International Conference on Mobile Data Management: Systems, Services and Middleware*. IEEE, Piscataway, NJ, 720–725. DOI=10.1109/MDM.2009.123.

- [10] Endres, F. 2015. *Robot perception for indoor navigation*. Dissertation, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg.
- [11] Fallaha, N., Apostolopoulou, I., Bekris, K., and Folmer, E. 2013. Indoor Human Navigation Systems: A Survey. *Interacting with Computers*.
- [12] Fellner, I. 2015. *Auto-generated routing instructions with landmarks for indoor navigation*. Master Thesis, Paris Lodron-Universität.
- [13] Fellner, I., Huang, H., and Gartner, G. 2017. "Turn Left after the WC, and Use the Lift to Go to the 2nd Floor" — Generation of Landmark-Based Route Instructions for Indoor Navigation. *IJGI* 6, 6.
- [14] Fleiner, R., Szász, B., Simon-Nagy, G., and Micsik, A. 2017. Indoor Navigation for Motion Disabled Persons in Medical Facilities. *APH* 14, 1.
- [15] Gaber, H., Marey, M., Amin, S., and Tolba, M. F. 2020. Localization and Mapping for Indoor Navigation. In *Robotic systems. Concepts, methodologies, tools, and applications*, I. R. Management Association, Ed. Critical explorations. Engineering Science Reference, an imprint of IGI Global, Hershey, PA, 930–954. DOI=10.4018/978-1-7998-1754-3.ch046.
- [16] Gallistel, C. R. 1993. *The organization of learning*. Learning, development, and conceptual change. MIT Press, Cambridge, Mass.
- [17] Gladston, A. and Duraisamy, A. 2019. Augmented Reality Indoor Navigation Using Handheld Devices. *International Journal of Virtual and Augmented Reality* 3, 1, 1–17.
- [18] Gotlib, D. and Marciniak, J. 2012. Cartographical Aspects in the Design of Indoor Navigation Systems. *Annual of Navigation* 19, 1, 35–48.
- [19] Halili, F. and Ramadani, E. 2018. Web Services: A Comparison of Soap and Rest Services. *MAS* 12, 3, 175.
- [20] Hojjat, A. 2018. *Indoor Navigation Systems for Blind People*, British Columbia, Canada.
- [21] Huang, H. and Gartner, G. op. 2010. A Survey of Mobile Indoor Navigation Systems. In *Cartography in Central and Eastern Europe. Selected papers of the 1st ICA Symposium on cartography for Central and Eastern Europe*, G. Gartner and F. Ortog, Eds. Lecture Notes in Geoinformation and Cartography. Springer, Heidelberg, 305–319. DOI=10.1007/978-3-642-03294-3_20.

- [22] Iida, H., Hiroi, K., Kaji, K., and Kawaguchi, N. 2015. A proposal of IndoorGML extended data model for pedestrian-oriented voice navigation system. In *ISA 2015. Proceedings of the Seventh ACM SIGSPATIAL International Workshop on Indoor Spatial Awareness (ISA) 2015 : November 3, 2015, Seattle, Washington, USA*. ACM International Conference Proceedings Series. The Association for Computing Machinery, New York, 1–6. DOI=10.1145/2834812.2834814.
- [23] Jahnke, M. and Frank, P. 2015. *2D Visualization of 3D Indoor Routes*, Chair of Cartography, Technische Universität München,
- [24] Jayaparvathy, R., Sheeba Angel, A., Nitin Baratwajj, P., Vijappu, S., and Sridhar, S. 2017. Autonomous Indoor Navigation Robot. *IJET* 9, 5, 3931–3944.
- [25] Kapaj, A. 2018. *User-Oriented Campus Routing*. Master Thesis, Technical University of Munich.
- [26] Krisp, J. M., Jahnke, M., Lyu, H., and Fackler, F. 2015. Visualization and Communication of Indoor Routing Information. In *Progress in Location-Based Services 2014*, G. Gartner and H. Huang, Eds. Lecture Notes in Geoinformation and Cartography. Springer International Publishing; Imprint: Springer, Cham, 33–44. DOI=10.1007/978-3-319-11879-6_3.
- [27] Li, K.-J. 2008. Indoor Space: A New Notion of Space. In *Web and wireless geographical information systems. 8th international symposium, W2GIS 2008, Shanghai, China, December 11 - 12, 2008 ; proceedings*, M. Bertolotto, C. Ray and X. Li, Eds. Lecture Notes in Computer Science 5373. Springer, Berlin, 1–3. DOI=10.1007/978-3-540-89903-7_1.
- [28] Liu, L. 2017. Indoor Semantic Modelling for Routing: The Two-Level Routing Approach for Indoor Navigation. In *A+BE | Architecture and the Built Environment*, 1–252. DOI=10.7480/abe.2017.17.1879.
- [29] Loomis, J. M., Klatzky, R. L., and Gollegde, R. G. 2001. Navigating without Vision: Basic and Applied Research. *Optometry and Vision Science* 78, 5, 282–289.
- [30] Maheshwari, N., Srivastava, S., and Rajan, K. S. 2019. Development of an Indoor Space Semantic Model and Its Implementation as an IndoorGML Extension. *IJGI* 8, 8, 333.
- [31] Mittlboeck, M., Knoth, L., and Vockner, B. 2017. Universitäre Campus Maps. Beispiele aus Österreich und Nordamerika: Status quo & quo vadis? In *AGIT: 3-2017*, J. Strobl, B. Zagel, G. Griesebner and T. Blaschke, Eds. Journal für angewandte Geoinformatik 3-2017. Wichmann, Berlin, Offenbach.

- [32] Mortari, F., Clementini, E., Zlatanova, S., and Liu, L. 2019. An indoor navigation model and its network extraction. *Appl Geomat* 11, 4, 413–427.
- [33] Nielsen, J. 2010. *Usability engineering*. Interactive Technologies. Kaufmann, Amsterdam.
- [34] Ohm, C., Müller, M., and Ludwig, B. 2015. Displaying landmarks and the user's surroundings in indoor pedestrian navigation systems. *AIS* 7, 5, 635–657.
- [35] Open Design Alliance. 2018. *Open Design Specification for .dwg files*. Version 5.4.1. https://www.opendesign.com/files/guestdownloads/OpenDesign_Specification_for_.dwg_files.pdf. Accessed 9 May 2020.
- [36] Pang, Y., Zhang, C., Zhou, L., Lin, B., and Lv, G. 2018. Extracting Indoor Space Information in Complex Building Environments. *IJGI* 7, 8, 321.
- [37] Park, S., Yu, K., and Kim, J. 2020. Data Model for IndoorGML Extension to Support Indoor Navigation of People with Mobility Disabilities. *IJGI* 9, 2, 66.
- [38] Pereira, C., Sousa, A., and Filipe, V. 2015. Open-Source Indoor Navigation System Adapted to Users with Motor Disabilities. *Procedia Computer Science* 67, 38–47.
- [39] Roth, R., Ross, K., and MacEachren, A. 2015. User-Centered Design for Interactive Maps: A Case Study in Crime Analysis. *IJGI* 4, 1, 262–301.
- [40] Selamaj, G. 2020. Impacts of Mobile Phone Distractions on Walking Performance. *IJoCED* 2, 1, 32.
- [41] Sharma, P. R. and Suthar, A. C. Analysis on Indoor Navigation System Using Augmented Reality. In *JASC: Journal of Applied Science and Computations*. DOI=10.13140/RG.2.2.11045.65761.
- [42] Tittmann, P. 2003. *Graphentheorie. Eine anwendungsorientierte Einführung ; mit zahlreichen Beispielen und 80 Aufgaben*. Mathematik-Studienhilfen. Fachbuchverl. Leipzig im Hanser-Verl., München.
- [43] Wilkening, J., Kapaj, A., and Cron, J. 2019. *Creating a 3D Campus Routing Information System with ArcGIS Indoors 28. Dreiländertagung der DGPF, der OVG und der SGPF in Wien, Österreich 28*.
- [44] Wilkening, J., Schäffner, R., and Staub, T. 2018. Interaktiver 3D-Routenplaner für den Campus Röntgenring in Würzburg. In *AGIT 4-2018*, J. Strobl, B. Zagal, G. Griesebner and T. Blaschke, Eds. Journal für angewandte Geoinformatik 4-2018. Wichmann, Berlin.

- [45] Winter, S., Tomko, M., Vasardani, M., Richter, K.-F., and Khoshelham, K. 2017. Indoor localization and navigation independent of sensor based technologies. *SIGSPATIAL Special 9*, 1, 19–26.
- [46] Worboys, M. 2011. Modeling indoor space. In *Proceedings of the 3rd ACM SIGSPATIAL International Workshop on Indoor Spatial Awareness*. November 1, 2011 Chicago, IL, USA. ACM, 1–6. DOI=10.1145/2077357.2077358.
- [47] Xin, C., Wu, G., Zhang, C., Chen, K., Wang, J., and Wang, X. 2020 - 2020. Research on Indoor Navigation System of UAV Based on LIDAR. In *2020 12th International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation (ICMTMA)*. IEEE, 763–766. DOI=10.1109/ICMTMA50254.2020.00166.
- [48] Yang, L. 2015. *Theories and Models of Indoor Space*. Dissertation, The University of Maine.
- [49] Zlatanova, S., Liu, L., Sithole, G., Zhao, J., and Mortari, F. 2014. Space subdivision for indoor applications. *GIS Report No. 66*.

Stichwortverzeichnis

Annotation 50, 64–66, **68**

ArcGIS

Enterprise 41

Indoors 39–48, 57

Network Analyst 40

Pro **40, 70, 71, 72**

ArcGIS Indoors Information Model 41–48, 72–76

AutoCAD 63

Barrierefreiheit 24

BIM 21

CAD-Daten 39, 62, 63, 71

Anforderungen an 49–51, 64–65

Campus 31

-Grundkarte **51, 71**

-Netzwerk 78

-Szene **53, 56, 77, 83**

Campus-Routing-Informationssystem 31–33, 105

CRIS *Siehe* Campus-Routing-Informationssystem

DWG *Siehe* CAD-Daten

Gebäudemodell 21

Georeferenzierung *Siehe* Projektion

Indoor

-Navigation 16–31

-Navigationsmodell 44–48

-Netzwerkmodell 19–20

Indoor-

Navigationsmodell **17**

IndoorGML 22

Innenraumnavigation *Siehe* Indoor-Navigation

Lokalisierung 25–26

Network Analyst 83

Network Dataset **40, 46**

Orientierung, räumliche 26

Orientierungspunkt **26, 52, 83, 90**

Ortung *Siehe* Lokalisierung

Pfadintegration 26

Points of Interest 42, **52, 75–76**

Positionierung 25–26

Projektion **50, 70–71**

Semantik **17, 22, 45, 68**

Transitionen 43, 67, **79–81**