

Forschungsbericht

Kontextsensitives RFID-Gebäude-Leitsystem

Institut für Numerische Methoden und Informatik im Bauwesen

Projektleiter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Uwe Rüppel

Bearbeiter: Dipl.-Ing. Kai Marcus Stübbe



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Das Forschungsprojekt wurde mit Mitteln der Forschungsinitiative Zukunft Bau des Bundesamtes für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung in Verbindung mit dem Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung gefördert

Aktenzeichen: Z6 – 10.08.18.7 – 07.30

Projektlaufzeit: November 2007 – Mai 2009

Forschende Stelle: Technische Universität Darmstadt
Institut für Numerische Methoden und Informatik im Bauwesen
Petersenstraße 13
64287 Darmstadt
Telefon 06151 16 3444
E-Mail sekretariat@iib.tu-darmstadt.de

Praxispartner: Bureau Veritas Brandschutzservices GmbH
(vormals Ziller ASS Sachverständigen GmbH Brandschutz)
FLZ, Cargo City Süd, Geb 558a, 60549 Flughafen Frankfurt a. M.
Fraport AG, Flughafenbrandschutz, 60547 Flughafen Frankfurt a. M.

Dieses Forschungsprojekt ist Teil der ARGE RFID im Bauwesen.

Stand: 17.09.2010

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	i
1.....Einleitung	1
1.1. Einführung und Motivation	1
1.2. Zielsetzung	2
1.3. Anforderungen der Feuerwehr an Indoor-Navigation	2
1.4. Schnittstellen zu ARGE-RFID-Projekten	3
1.5. Arbeitsprogramme	5
2.....Stand der Wissenschaft und Technik im Bereich Indoor-Ortungstechnologien	7
2.1. Überblick über Funkortungsverfahren	7
2.1.1. Cell of Origin (COO)	7
2.1.2. Received Signal Strength (RSS)	8
2.1.3. Time of Arrival (TOA)	9
2.1.4. Time Difference of Arrival (TDOA)	9
2.1.5. Angle of Arrival (AOA)	10
2.2. Überblick über verfügbare Techniken zur Indoor-Ortung	10
2.2.1. Aktive und passive Sensoren	11
2.2.2. Autonome Systeme	15
2.2.3. Netzwerkbasierte Systeme	16
2.2.4. Zusammenfassung der vorgestellten Ortungstechnologien	19
2.3. RFID	21
2.3.1. Standard und Frequenzen	23
2.3.2. Spezifikationen für UHF und physikalische Grundlagen	25
2.3.3. Indoor-Ortungsverfahren	29
2.3.4. Vorhandene Systeme und laufende Forschungsprojekte	31
2.4. UWB	33
2.4.1. Standard und Frequenzen	33
2.4.2. Indoor-Ortungsverfahren	33
2.4.3. Vorhandene Systeme und laufende Forschungsprojekte	34
2.5. WLAN	36
2.5.1. Standard und Frequenzen	36

2.5.2.	Indoor-Ortungsverfahren	36
2.5.3.	Vorhandene Systeme und laufende Forschungsprojekte	37
2.6.	Zusammenfassung der Forschung im Bereich der Indoor-Ortung und Forschungsbedarf	39
3.....	Stand der Wissenschaft und Technik im Bereich der technischen Ausstattung der Feuerwehr	41
3.1.	Überblick rechtliche Lage (Gesetze, Vorschriften und Verfahrensanweisungen)	41
3.1.1.	DIN-V-14011 „Begriffe aus dem Feuerwehrwesen“	41
3.1.2.	DIN 14034-6 „Graphische Symbole für das Feuerwehrwesen“	43
3.1.3.	DIN 14675 „Brandmeldeanlagen“	43
3.1.4.	DIN 14095 „Feuerwehrpläne für bauliche Anlagen“	46
3.1.5.	DIN 4844-3 „Flucht- und Rettungspläne“	49
3.1.6.	Weitere Richtlinien und Verordnungen	49
3.2.	Brandmeldeanlagen	50
3.2.1.	Signalverarbeitung	55
3.2.2.	Fehlalarme	55
3.3.	Struktur und Einsatzablauf	56
3.3.1.	Feuerwehreinheiten	57
3.3.2.	Einsatzablauf	59
3.4.	Techniküberblick	61
3.4.1.	Atemschutz	61
3.4.2.	Wärmebildkamera	63
3.4.3.	Eigenschutzrüstung	64
3.4.4.	Mobile Endgeräte in der Feuerwehrpraxis	64
3.5.	BOS-Funk	65
3.6.	Spezielle Anforderungen der Frankfurter Flughafenfeuerwehr	68
3.7.	Grundsätzliche Anforderungen der Feuerwehr	69
4.....	Systemanalyse	71
4.1.	Zielsetzung	71
4.2.	Anwendungsfall	71
4.3.	Analyse und Kategorisierungen von Gebäuden und Raumgrößen	72
4.4.	Gegenüberstellung der Ortungstechniken und Anforderungen an mobile Endgeräte	73
4.5.	Darstellung von Positionsdaten auf mobilen Endgeräten	75

4.6.	Eingesetzte Software	77
4.6.1.	MicroStation	77
4.6.2.	Speedikon Architecture	77
4.6.3.	Project Wise	77
4.6.4.	Facilities Planner	77
4.7.	Programmierschnittstellen	78
4.7.1.	Visual Basic for Applications	78
4.7.2.	MicroStation BASIC-Makros	78
4.7.3.	MDL (MicroStation Development Language)	78
4.7.4.	Weitere MicroStation APIs	78
4.8.	Unterstützte Exportformate	79
4.8.1.	Drawing Interchange Format	80
4.8.2.	Industry Foundation Classes	81
4.8.3.	Green Building XML	82
4.9.	Anforderungen an die Darstellung der Gebäudeinformationen	82
5.....	Systementwurf	84
5.1.	Use Cases	84
5.2.	Multimethodenansatz	86
5.3.	Systementwurf der Indoor-Navigations-Integrationsplattform	87
5.4.	Kontextsensitivität	89
5.5.	Konzept für die Darstellung digitaler Brandschutzpläne	90
5.6.	Konzept für den CAD- und FM-Datenaustausch	92
5.6.1.	green building XML (gbXML)	92
5.7.	Innotec Enterprise Facility Manager	95
5.8.	Building3D	97
5.9.	Analyse der Gebäudedaten und Konzept zur Speicherung	98
5.10.	Datenbankentwurf	100
5.11.	Anforderungen an den Datenzugriff der Gebäude- und Navigationsdatenbank mit mobilen Endgeräten	102
6.....	Prototypische Implementierung	103
6.1.	Umsetzung der Indoor-Navigations-Integrationsplattform mittels Webservices	103

6.2.	Endgeräte und Ortungstechniken	106
6.2.1.	WLAN-Ortung	106
6.2.2.	RFID Tags und Lesegeräte	107
6.3.	Komponenten der Indoor-Navigations-Integrationsplattform (INI)	108
6.3.1.	Location Provider WLAN	108
6.3.2.	Location Provider UWB	109
6.3.3.	Location Provider RFID	110
6.3.4.	Ermittlung der Positionsdaten	110
6.3.5.	Benutzungsoberflächen der INI	111
6.4.	Mehrwert	117
7.....	Evaluation	119
7.1.	Praxistest	119
7.1.1.	Testumgebung	119
7.1.2.	Testszenario	120
7.1.3.	Testdurchführung	121
7.2.	Genauigkeitsmessungen	123
7.2.1.	RFID 123	
7.2.2.	UWB 135	
7.2.3.	WLAN	137
8.....	Ergebnisse und Erkenntnisse	143
9.....	Zusammenfassung und Ausblick	145
9.1.	Zusammenfassung	145
9.2.	Ausblick	145
10. ..	Literaturverzeichnis	149
11. ..	Abbildungsverzeichnis	156
12. ..	Tabellenverzeichnis	160
13. ..	Quellcodeverzeichnis	161
14. ..	Anlagen	162
14.1.	Anlage 1: Geräteübersicht aktive RFID-Hardware	162

1. Einleitung

1.1. Einführung und Motivation

Die digitale Informations- und Kommunikationstechnik hat bereits weite Gebiete des täglichen Lebens und der Produktionsprozesse in der Wirtschaft durchdrungen. Ein Bereich scheint jedoch erst am Anfang einer solchen Entwicklung zu stehen – die Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BOS).

Die BOS, das sind Polizei, Feuerwehr, Rettungsdienste usw., haben die Abwehr von kleinen und großen Gefahren im Rahmen ihrer Kompetenzen durchzuführen. Hierzu werden Einsatzkräfte während eines Einsatzes tätig. Zur Koordinierung der Gefahrenabwehr werden innerhalb eines begrenzten Bereiches stationäre und mobile Leitstellen verwendet.

Die Kommunikation der Rettungskräfte untereinander findet gegenwärtig meist per Sprechfunk statt. Die Orientierung in Gebäuden ist oftmals schwierig – insbesondere bei Verrauchungen – und Einsatzleiter können sich nur schwer einen Überblick über die Lage in einem Gebäude verschaffen. Besonders Einsatzkräfte der Feuerwehr müssen, im Falle einer Alarmmeldung oder eines Brandes, mit besonderen Schwierigkeiten fertig werden:

Die Orientierung in komplexen Gebäuden, wie beispielsweise Flughäfen, ist oft schwierig. Im Falle eines Brandes wird die Orientierung durch dichten Rauch zusätzlich erschwert. Feuerwehrlaufkarten in Papierform, die den Weg zu einem ausgelösten Brandmelder weisen sollen, stellen ein Hilfsmittel dar, das oftmals nicht ausreicht. Gerade Flughäfen unterliegen ständigen Umbaumaßnahmen durch Erweiterungen und bauliche Veränderungen, bedingt durch steigende Sicherheitsanforderungen und -auflagen. Aus diesem Grund sind Laufkarten in Papierform oftmals nicht auf dem aktuellen Stand, da der Aufwand, sie zeitnah zu aktualisieren und an den örtlich verteilten Angriffspunkten am Gebäude zu platzieren, häufig nicht geleistet werden kann.

Wie wichtig die Orientierung für Einsatzkräfte im Gebäude ist und welche Bedeutung der Überblick für Einsatzleiter über die Situation im Gebäude hat, zeigen beispielsweise Brände in Tübingen [Stadt Tübingen, 2005] und Warwickshire [BBC-News, 2007]. In beiden Fällen kamen Einsatzkräfte bei Bränden in Gebäuden aufgrund fehlender Orientierung ums Leben.

In Deutschland kommen pro Jahr ca. 550 Zivilisten und 18 Einsatzkräfte der Feuerwehr bei Bränden in Gebäuden ums Leben [Brettschneider, Brattke, & Rein, 2006]. In den USA sind es 3245 Zivilisten und 106 Feuerwehrleute [U.S. Fire Administration, 2007].

Die Unterstützung der Einsatzleitung mit Kommunikationstechnik ist oft vorhanden, die Unterstützung mittels Technik zur Orientierung in Gebäuden für Feuerwehrleute und ein Überblick für Einsatzleiter fehlt jedoch. Hier herrscht dringender Forschungsbedarf.

1.2. Zielsetzung

Ziel des Forschungsprojektes „Kontextsensitives RFID-Gebäude-Leitsystem“ ist es, Methoden zur Indoor-Ortung und -Navigation für Einsatzkräfte zur schnellen Wegfindung im Einsatzfall in Gebäuden am Beispiel der Flughafenfeuerwehr des Frankfurter Flughafens zu entwickeln. Die bestehenden Feuerwehrlaufkarten in Papierform sollen durch navigationstaugliche, digitale Gebäudepläne (generiert aus CAD-Gebäude-Informationen) zur Verwendung auf mobilen Endgeräten ergänzt werden.

Der Schwerpunkt liegt dabei zum einen auf der Auswahl geeigneter Ortungsmethoden für den Anwendungsfall der Indoor-Ortung für Einsatzkräfte der Feuerwehr und zum anderen auf der Weiterentwicklung von RFID-Technik zur Unterstützung bei der Orientierung und Bereitstellung von Informationen im räumlichen Kontext der Einsatzkraft. Hierbei sollen Einsatzkräfte mit wichtigen Informationen, z. B. Informationen über brennbare Materialien, Starkstromanlagen u. a. versorgt werden. Praxispartner in diesem Forschungsprojekt sind die Flughafenfeuerwehr der Fraport AG und das Brandschutzplanungsbüro Bureau Veritas Brandschutzservices GmbH (vormals Ziller ASS Sachverständigen GmbH Brandschutz).

Über das kontextsensitive RFID-Gebäude-Leitsystem sollen Einsatzkräften zu jeder Zeit aktuelle Informationen über die eigene Position in Relation zu den gegebenen räumlichen Randbedingungen zur Verfügung stehen. Hierdurch wird die Orientierung entscheidend verbessert und der Einsatzort kann auf direktem Wege erreicht werden. Die Ortung der Einsatzkräfte erlaubt die effiziente Koordinierung und Steuerung im Alarmfall und hilft erstens Leben zu retten und zweitens die Gefahr für Einsatzkräfte zu reduzieren.

1.3. Anforderungen der Feuerwehr an Indoor-Navigation

Ein großer Teil der 5000 Feuerwehreinsätze pro Jahr auf dem Frankfurter Flughafen sind auf Fehlfunktionen der Brandmeldeanlage zurückzuführen. Ausgelöste Brandmelder müssen aufwendig anhand von Papierplänen aufgesucht werden, die aktuellen Positionen der Einsatzkräfte im Gebäude können nur über Sprechfunk nachvollzogen werden. Als Hilfsmittel zur Orientierung dienende Feuerwehrpläne bzw. Laufkarten können aufgrund der zahlreichen Umbau- und Erweiterungsmaßnahmen am Frankfurter Flughafen nicht immer auf einem aktuellen Stand gehalten werden. Im Alarmierungsfall kann es passieren, dass Wege, die auf den Plänen und Laufkarten verzeichnet sind, nicht mehr passierbar sind und ein neuer Angriffsweg gesucht werden muss. Darüber hinaus kann der Einsatzleiter nur schwer einen Überblick über die Positionen seiner Einsatzkräfte erlangen und kann sie so nicht optimal koordinieren und leiten.

Die Anforderungen an ein System, das den Einsatzleiter ständig mit aktuellen Plänen und Informationen versorgt und Einsatzkräfte zum Einsatzort im Gebäude leitet, sind im Folgenden aufgeführt:

- Zentrale Erfassung und Speicherung der Gebäudepläne
- Einfache Aktualisierung der Pläne und ein effizienter Zugriff auf aktuelle Informationen bei Umbau- und Erweiterungsmaßnahmen
- Darstellung aller brandschutztechnisch relevanten Informationen
- Nachvollziehbarkeit des Planstandes muss gewährleistet sein
- Ermittlung und Anzeige von Positionen der Einsatzkräfte im Einsatzfall in Echtzeit
- Anzeige der in der Nähe befindlichen Einsatztrupps
- Implementierung einer Notruffunktion zur Anforderung von Rettungstrupps bei Verunglückung einer Einsatzkraft
- Übersicht über alle Rettungstrupps innerhalb eines Gebäudes zur besseren Koordinierung und Übermittlung von standardisierten Statusmeldungen

Der Forschungsansatz verfolgt, um diesen Anforderungen gerecht zu werden, die Weiterentwicklung vorhandener Indoor-Navigationstechniken in Kombination und Ergänzung mit RFID-Technik.

1.4. Schnittstellen zu ARGE-RFID-Projekten

Zur Erforschung der Einsatzmöglichkeiten der RFID-Technologie im Bauwesen wurde vom Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung die Arbeitsgemeinschaft „RFID im Bauwesen“ gegründet. Im Rahmen dieser ARGE RFID im Bauwesen forscht das Institut für Numerische Methoden und Informatik im Bauwesen gemeinsam mit folgenden Partnern:

- Lehr und Forschungsgebiet Baubetrieb und Bauwirtschaft der Bergischen Universität Wuppertal
- Institut für Baubetriebswesen der Technischen Universität Dresden
- Fraunhofer Institute für Bauphysik (Stuttgart) und für Mikroelektronische Schaltungen und Systeme (Duisburg)

Jeder Partner erforscht und entwickelt unterschiedliche Einsatzschwerpunkte von RFID im Bauwesen weiter. Die Zusammenhänge sind in Abbildung 1 grafisch dargestellt.

Die Bergische Universität Wuppertal untersucht, wie die Bau- und Personallogistik durch den Einsatz von RFID-Technik verbessert werden kann. Dabei wird auch die Identifikation von Warenlieferungen anhand von Electronic Product Codes und einem entwickelten „Bauserver“ betrachtet. Darüber hinaus wird ein Konzept für einen standardisierten Baustellenausweis erstellt.

Die Technische Universität Dresden erforscht im Rahmen des Projektes „Intelli-Bau“ Möglichkeiten, wie der gesamte Lebenszyklus eines Bauteils mit eingebauten RFID-Tags – z.B. in Ortbeton eingegossen – modelliert werden kann. Darüber hinaus soll der Nutzen für Unternehmen durch Wirtschaftlichkeitsanalysen anhand einer Zeitaufnahme der Prozesskosten für Gebäude mit und ohne RFID-Tags analysiert und verglichen werden.

Die Fraunhofer Institute für Bauphysik und Mikroelektronische Schaltungen und Systeme erforschen den Einsatz von RFID-Tags und -Sensoren bei Fassaden zur Qualitätsüberwachung und Kennzahlenermittlung während der Bau- und Nutzungsphase. Der Fokus liegt hierbei auf der Sicherstellung der Hygiene (Vermeidung von Schimmelpilzbildung), der Sicherheit (Produktsicherheit) und der Beurteilung der Energieeffizienz.

Die Unterstützung und Verbesserung der Einsatzabläufe von Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BOS) mittels RFID-Technik und Indoor-Navigation ist Forschungsschwerpunkt der Technischen Universität Darmstadt.

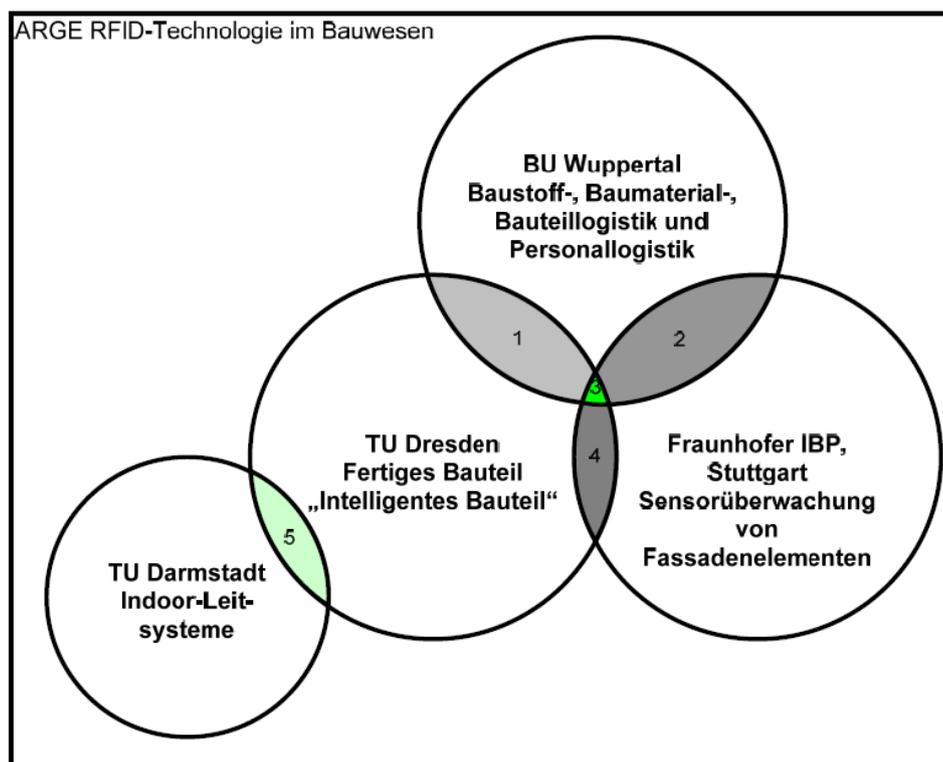


Abbildung 1: Schnittstellen der ARGE RFID-Technologie im Bauwesen
[Jehle, Seyffert, Wagner, & Netzker, 2008]

Die Forschungsprojekte der ARGE RFID Technologie im Bauwesen greifen in einander und ergänzen sich. Die Schnittstellen zwischen den einzelnen Projekten sind in [Jehle, Seyffert, Wagner, & Netzker, 2008] dargestellt. Die Überschneidungen Nummer 1, 3 und 4 zeigen, welche Daten gemeinsam in den Speicher der Bauteil-Transponder übergeben werden. Nummer 3 steht für eine eindeutige Kennnummer der Materialien oder Bauelemente (z. B. Electronic Product Code), Nummer 1

symbolisiert Materialdaten und Nummer 4 Qualitätsmerkmale und Daten zur Qualitätsüberwachung der Fassadenelemente.

Das am Institut für Numerische Methoden und Informatik im Bauwesen erforschte „Kontextsensitive RFID-Indoor-Leitsystem“ nutzt Daten aller anderen Projekte über die Schnittstelle 5. Hierüber sollen, nach Bereitstellung der Daten durch die anderen ARGE-RFID-Projekte, Bauteildaten für die Kontextsensitive Darstellung bezogen werden, die für Einsatzkräfte der Feuerwehr oder anderer BOS relevant sind.

1.5. Arbeitsprogramme

Die Bearbeitung des Projektes „Kontextsensitives RFID-Gebäude-Leitsystems“ erfolgt in den folgenden sechs Arbeitspaketen:

Arbeitspaket 1: Stand der Technik und Forschung mit Schwerpunkt „Indoor-Ortung und Navigation“

Im Rahmen dieses Arbeitspaketes werden aktuelle Forschungsprojekte und Techniken zur Positionsbestimmung im Bereich Indoor-Ortungstechnologien mit Bezug auf den Einsatz bei Notfallsituationen analysiert und der konkrete Forschungsbedarf im Sinne von Anforderungen herausgearbeitet.

Arbeitspaket 2: Stand der Technik für Rettungskräfte

Im Rahmen dieser Analysephase werden die Anforderungen aus Gesetzen, Vorschriften und Verfahrensanweisungen erörtert und für den Anwendungsfall analysiert. Arbeitsabläufe bei der Brandbekämpfung werden vor Ort bei der Flughafenfeuerwehr des Frankfurter Flughafens aufgenommen, derzeitige technische Hilfsmittel vorgestellt und die genauen Bedürfnisse durch eine Befragung in Interviewform herausgearbeitet.

Arbeitspaket 3: Zielsetzung und Systemanalyse der technischen Möglichkeiten zur Ortung mit mobilen Endgeräten

Um die schwierigen Arbeitsbedingungen für die Einsatzkräfte der Feuerwehr zu verbessern, soll ein System mit mobilen Endgeräten eingesetzt werden. Da solche Systeme nur über eingeschränkte Ausgabemöglichkeiten verfügen, sollte sich beispielsweise die Darstellung auf dem Bildschirm an deren geringer Größe und den Bedürfnissen der Einsatzkräfte im Alarmfall orientieren. Zur Ortung innerhalb von Gebäuden werden vorhandene technische Möglichkeiten analysiert und Raumgrößen kategorisiert. Hierbei werden Ortungsverfahren auf Basis von RFID, Sensornetzwerken und Funktechnologien auf ihre Einsatzfähigkeit in diesem Projekt geprüft.

Arbeitspaket 4: Erarbeitung des Systementwurfs

Der Systementwurf für das Kontextsensitive RFID-Gebäude-Leitsystem wird aufbauend auf den Anforderungen aus der Systemanalyse erarbeitet und berücksichtigt die besonderen Randbedingungen der Tätigkeiten vor Ort. Es werden geeignete Notations- und Darstellungsverfahren für eine kontextsensitive Darstellung entwickelt.

Arbeitspaket 5: Prototypische Implementierung

Die exemplarische Umsetzung anhand eines Prototypen erfolgt für ausgewählte, geeignete mobile Endgeräte für ein Anwendungsbeispiel. Die Komponenten für das Ortungssystem in Gebäuden werden entsprechend dem Systementwurf entwickelt bzw. weiterentwickelt und eine Integrationsplattform für verschiedene Ortungstechniken wird erstellt.

Arbeitspaket 6: Evaluation des RFID-Leitsystems, Ergebnisse und Erkenntnisse

Der Prototyp des Kontextsensitiven RFID-Gebäude-Leitsystems wird mit den beiden Praxispartnern bei Einsatzszenarien vor Ort getestet. Die Ergebnisse und Erkenntnisse werden in Interviewform und durch Messungen erarbeitet.

2. Stand der Wissenschaft und Technik im Bereich Indoor-Ortungstechnologien

Die Grundlage eines zu erforschenden RFID-Gebäude-Leitsystems ist die Positionsbestimmung von Einsatzkräften in Gebäuden.

Der Bereich der Indoor-Ortung ist derzeit Gegenstand zahlreicher Forschungsaktivitäten. Eine Indoor-Ortung lässt sich mit unterschiedlichen Techniken - z. B. RFID, WLAN oder Bluetooth - durchführen. Diesen Techniken liegen verschiedene Verfahren zugrunde, die von den meisten Funkortungssystemen genutzt werden. Im Folgenden wird ein Überblick über Verfahren zur Funkortung gegeben und die jeweilige Funktionsweise dargestellt, bevor auf die Techniken im Einzelnen eingegangen und der Forschungsbedarf detailliert dargestellt wird.

Die nachfolgenden Kapitel zur Indoor-Ortung basieren auf den Darstellungen in [Stübbe, 2010] und [Zwinger, 2009].

2.1. Überblick über Funkortungsverfahren

Ein System zur Indoor-Ortung besteht aus Festpunkten zur Ortung mit Ortungsinfrastruktur und aus Nutzern. Während die Orte der Festpunkte bekannt sind, sind die Aufenthaltsorte der Nutzer unbekannt und sollen relational zu den Festpunkten bestimmt werden. Ein Indoor-Ortungssystem verwendet Sensoren zur Messung verschiedener physikalischer Parameter und berechnet hieraus die Position des Nutzers.

Bei funkbasierten Systemen werden folgende Verfahren unterschieden:

- Die einfache Information, ob eine Kommunikation zwischen Sensor und Sender möglich ist oder nicht (Cell of Origin)
- Die Auswertung der Entfernung zu einem Sender durch Betrachten der Signalstärke (Received Signal Strength)
- Die Messung der absoluten Distanz zwischen Sender und Empfänger über die Laufzeit des Signals (Difference of Arrival)
- Die Messung der Zeitdifferenzen von Zeitunterschieden von mehreren Signalen (Time Difference of Arrival)
- Die Ermittlung der Position des Nutzers anhand des Winkels von mehreren gesendeten Signalen (Angle of Arrival)

Diese Verfahren werden im Folgenden näher erläutert.

2.1.1. Cell of Origin (COO)

Elektromagnetische Signale haben eine begrenzte Reichweite Daher werden Sendeantennen in einem bestimmten Raster angeordnet und bilden einzelne Funkzellen(meist wabenförmig). Dieses Phänomen

wird bei der Ortung mittels Cell of Origin (COO) genutzt, indem bestimmt wird, in welcher Zelle sich ein Nutzer befindet (siehe Abbildung 2:). Die Genauigkeit ist hierbei von der Zellgröße abhängig, da lediglich anhand der Cell-ID die jeweilige Zelle, jedoch nicht die Position innerhalb der Zelle bestimmt werden kann.

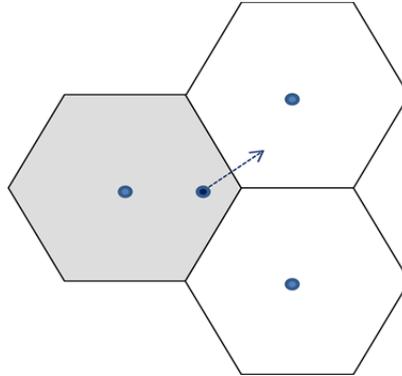


Abbildung 2: Cell of Origin nach [Télématique, 2009]

2.1.2. Received Signal Strength (RSS)

Die Signalstärke elektromagnetischer Signale nimmt mit zunehmender Entfernung zur Sendeantenne ab. Mittels Received Signal Strength kann daher anhand der Signalstärke die Entfernung zur Sendeantenne bestimmt und daraus eine Position bestimmt werden.

Zur Positionsbestimmung werden zwei unterschiedliche Ansätze verwendet:

- Radio Frequency Fingerprinting

Durch die abnehmende Intensität elektromagnetischer Signale ergibt sich, wenn mehrere Sendeantennen in einem bestimmten Gebiet verteilt sind im günstigen Fall an jedem Punkt ein individuelles Bild mit unterschiedlichen Signalstärken der einzelnen Sendestationen. Durch eine Speicherung eines Signalstärkenbilds in einer Offlinephase und einer anschließenden Korrelationsrechnung in einer sogenannten Onlinephase ist eine Positionsbestimmung möglich, indem anhand des aktuell gemessenen Signalstärkenbilds eine Übereinstimmung zu möglichen Positionen und die Berechnung der wahrscheinlichsten Position anhand des in der Offlinephase gespeicherten Signalstärkenbilds erfolgt. Bei diesem Ansatz werden Dämpfungen und Reflexionen elektromagnetischer Signale durch Wände und Oberflächen mit einbezogen.

- Trilaterationsverfahren

Das Trilaterationsverfahren beruht auf der Messung der Freiraumdämpfung (Signalstärkeverlust). Durch einen Vergleich der gesendeten mit der empfangenen Funkleistung ist anhand der Dämpfung der Signale im Freien Raum eine Entfernungsbestimmung vom Empfänger zur Sendeantenne möglich. Hierbei werden jedoch

keine Dämpfung oder Reflexionen berücksichtigt, was in Gebäuden zu deutlich größeren Ungenauigkeiten führt als das Radio Frequency Fingerprinting.

- Aus den ermittelten Entfernungen zu 2 (2D) oder 3 Sendeantennen (3D) kann mittels Kreis- (2D) oder Kugelgleichungen (3D) die Position eines Senders bestimmt werden.

$$R_i = \sqrt{(X_i - x)^2 + (Y_i - y)^2 + (Z_i - z)^2}$$

mit R_i : Abstand Client zur Sendestation
 X_i, Y_i, Z_i : Position der Sendestation
 x, y, z : Position des Clients

2.1.3. Time of Arrival (TOA)

Bei Time of Arrival (TOA) wird die Position aufgrund der Laufzeit eines Signals von mehreren Sendestationen zu einem Empfänger bestimmt (siehe Abbildung 3:). Hierbei spricht man von der „one-way propagation time“. Für diese einfache Laufzeitmessung ist eine hochpräzise Zeitsynchronisation mit einer Genauigkeit von weniger als 1 Nanosekunde zwischen den Sendern und der Antenne notwendig, um anschließend aus der ermittelten Zeitdifferenz anhand der Ausbreitungsgeschwindigkeit der Signale die Entfernungen zu den jeweiligen Sendestationen zu bestimmen. Die Position kann anschließend auf Basis der Kreis- oder Kugelgleichungen berechnet werden. Aufgrund der hohen Anforderungen an die Zeitsynchronisation wird dieses Verfahren selten für die Indoor-Ortung eingesetzt.

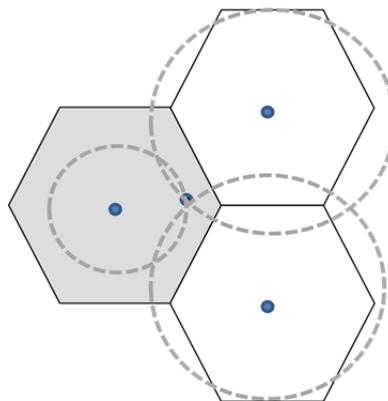


Abbildung 3: Time of Arrival nach [Télématique, 2009]

2.1.4. Time Difference of Arrival (TDOA)

Time Difference of Arrival (TDOA) beruht ebenfalls auf der Laufzeitmessung von Signalen. Hierbei kann beispielsweise ein Signal, das von mehreren zeitsynchronisierten Basisstationen ausgesendet und von einem nicht zeitsynchronisierten Empfänger empfangen wird, zur Positionsbestimmung verwendet werden (siehe Abbildung 4:). Da hierbei die Zeit des Empfängers eine weitere unbekannte Größe darstellt, ist ein zusätzlicher Sender (d. h. mindestens 4 Sendestationen für eine dreidimensionale Positionierung) notwendig.

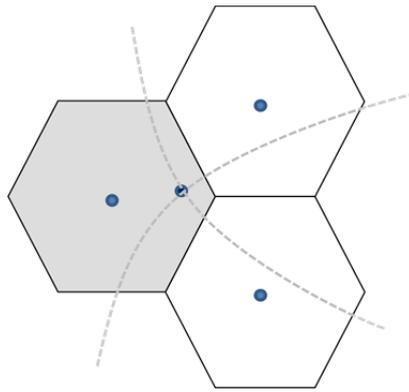


Abbildung 4: Time Difference of Arrival nach [Télématique, 2009]

2.1.5. Angle of Arrival (AOA)

Zur Messung des Winkels aus dem ein Signal eine Empfangsantenne erreicht sind Antennenarrays notwendig. Diese werden beim Angle of Arrival (AOA) verwendet. Durch Messung der Phasenverschiebung an unterschiedlichen Elementen des Antennenarrays kann der Winkel ermittelt werden. Anhand der bekannten Festpunkte der Sendestationen kann mittels Triangulation eine Position bestimmt werden (siehe Abbildung 5:)

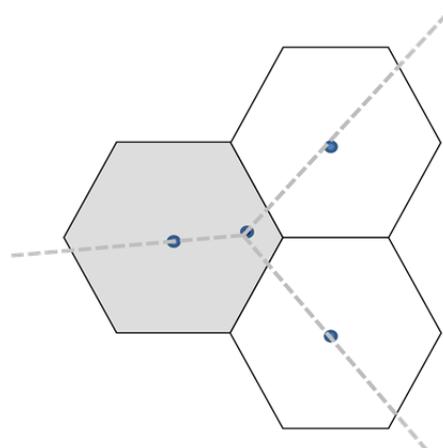


Abbildung 5: Angle of Arrival nach [Télématique, 2009]

Diese grundlegenden Verfahren zur Positionsbestimmung werden bei den unterschiedlichen Techniken zur Indoor-Ortung eingesetzt, die nachfolgend erläutert werden.

2.2. Überblick über verfügbare Techniken zur Indoor-Ortung

Die Basis einer Navigation ist die Positionsbestimmung. Außerhalb von Gebäuden wird meist das Global Positioning System (GPS) verwendet, dieses verfügt über eine Genauigkeit von 5-10 m bei freier Sicht zum Himmel. In Gebäuden ist GPS durch Dämpfungen und Mehrwegeeffekte nicht einsetzbar [Eissfeller, Teuber, & Zucker, 2005], hierbei sind Positionsbestimmung zwar möglich, jedoch nicht ein einer angemessenen Zeit und Genauigkeit. Das von der Europäischen Union geplante Satelliten-Ortungssystem Galileo wird in Kernbereichen von Gebäuden keine ausreichend genaue Ortung ermöglichen.

Aus diesem Grund müssen innerhalb von Gebäuden (indoor) andere Ortungstechniken eingesetzt werden. Leider gibt es derzeit kein System, das den unterschiedlichen Anforderungen durch verschiedene Raumgrößen, Raumgeometrien und Ausstattungen allein gerecht wird. Alle verfügbaren Indoor-Ortungssysteme sind nur in bestimmten Bereichen sinnvoll einsetzbar.

Nachfolgend wird eine Übersicht über Ortungstechniken mit Beispielen zu Systemen aus der Forschung und Wirtschaft dargestellt.

Diese Systeme lassen sich in die Bereiche „Aktive und passive Sensoren“, „Autonome Systeme“ und „Netzwerkbasierte Systeme“ einteilen (siehe Abbildung 6:)

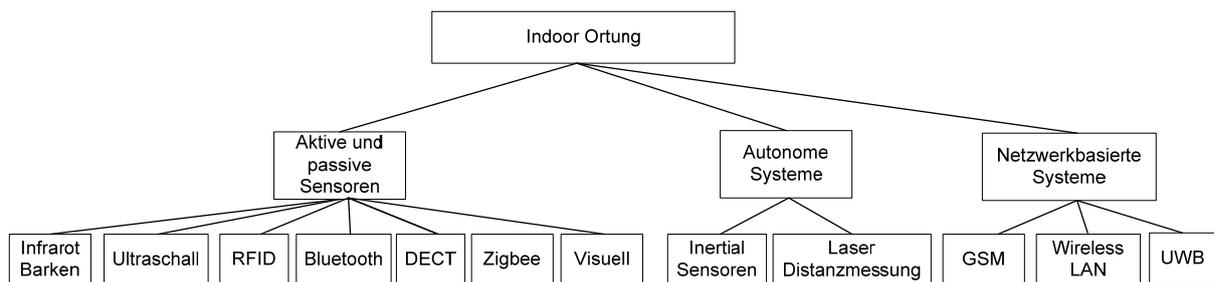


Abbildung 6: Techniken für Indoor Positioning

Im Folgenden werden diese Techniken kurz vorgestellt.

2.2.1. Aktive und passive Sensoren

Mittels aktiver und passiver Sensoren ist eine Ortung von Personen und Gegenständen in Gebäuden möglich. Hierbei werden diese mit einem Sender oder einem Empfänger ausgestattet. Durch die übertragenen Signale zwischen Sendern und Empfängern ist eine Position möglich. Hierbei müssen Gebäude je nach System mit Sendern oder Empfängern ausgestattet sein. Die von den einzelnen Systemen eingesetzten Positionierungsverfahren (siehe Kapitel 2.1) sind hierbei sehr unterschiedlich und werden nachfolgend beschrieben.

Infrarot

Infrarotes Licht wird zur Datenübertragung mittels der „Infrared Data Association“ (IrDA) und zur Fernsteuerung von Elektrogeräten, wie beispielsweise Fernsehern verwendet. Bei IrDA 1.1 können Datenraten von bis zu 16 MBit pro Sekunden auf kurzen Distanzen übertragen werden. Sonnenlicht oder schlechte Sicht zwischen Sender und Empfänger beeinflussen jedoch die Datenkommunikation.

Für die Indoor-Ortung wird Infrarot in mehreren Systemen eingesetzt. Das „Active Badge System“ [Want, Hopper, Falcao, & Gibbons, 1992] beruht auf einer Ortung mittels Aktiver Sender („Badges“) die Signale an in den Räumen installierte Empfänger senden. Hierzu muss jedoch das ganze Gebäude mit Empfängern ausgestattet sein. Bei der Ortung wird das COO-Verfahren eingesetzt. Es wird davon ausgegangen, dass die Positionen von zu ortenden Sendern und des jeweiligen Empfängers, der das Signal empfängt übereinstimmt.

Beim „Wireless Indoor Positioning System“ (WIPS) wurde ein ähnlicher Ansatz gewählt. Im Gebäude installierte IR-Sender senden Signale aus, die von mobilen IR-Empfängern empfangen und über WLAN zum einem Location Server übertragen werden. Die Position wird dann vom Location Server berechnet.

Ultraschall

Ultraschall besteht aus Schallwellen, die für den Menschen nicht hörbar sind. Da die Ausbreitungsgeschwindigkeit von Schall wesentlich langsamer als die Licht oder elektromagnetischer Strahlung ist, wird es gerne zur Laufzeitmessung verwendet. Hierbei lassen sich Entfernungen aus Laufzeiten mit deutlich geringerem Aufwand ermitteln, da kleine Messfehler der Laufzeit aufgrund der geringeren Ausbreitungsgeschwindigkeit einen Geringeren Positionierungsfehler verursachen.

Im Projekt „Active Bat“ [Harter, Hopper, Ward, & Webster, 1999] wird Ultraschall zur Indoor-Ortung verwendet und durch Laufzeitmessungen eine Genauigkeit von ca. 10 cm erzielt. Ultraschallsender („Bat“) beantworten Anfragen von festinstallierten Sendern und Empfängern, die die Laufzeit ermitteln und die Messdaten per LAN an den Location Server weiterleiten. Zur Laufzeitmessung sind mindestens drei fest installierte Ultraschall-Empfänger erforderlich. Daher wird bei diesem System die Decke mit einem Sensornetzwerk im Abstand von wenigen Metern unter der Decke bestückt (siehe Abbildung 7:), dies führt zu einem großem Installationsaufwand für das System.

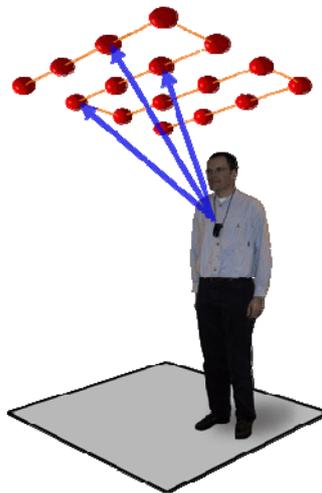


Abbildung 7: Active Bat Quelle: <http://www.cl.cam.ac.uk/research/dtg/attachive/bat/>

RFID

Aus der Warenwirtschaft sind kleine Funkchips bekannt, die einen immer höheren Stellenwert erlangen. Die RFID-Technologie (Radio Frequency Identification) wird fortwährend weiterentwickelt, so dass mittlerweile Reichweiten zwischen wenigen Zentimetern und einigen hundert Metern möglich sind.

Im Gegensatz zu Barcodes sind RFID-Transponder beschreibbar und können eine größere Menge von Daten speichern. Sie können ohne direkte Sichtverbindung ausgelesen werden. Aus diesem Grund werden sie als Warensicherungssysteme, Identifikationssysteme oder als Smart-Cards verwendet. Passive RFID-Transponder besitzen keine eigene Stromversorgung und beziehen ihre Energie aus dem Elektromagnetischen Feld. Aktive RFID-Transponder verfügen meist über eine Batterie als eigene Stromversorgungsquelle. RFID-Lesegeräte gibt es in den unterschiedlichsten Bauformen als Festinstallierte Leseschleusen (Gates) oder als Handlesegeräte.

Eine Möglichkeit RFID-Transponder zur Indoor-Ortung zu verwenden wird durch [Ni, Liu, Lau, & Patil, 2003] beschrieben. In diesem LANDMARK genannten Projekt werden aktive RFID-Transponder verwendet. Im Gebäude installierte RFID-Reader senden Signale aus, bei denen die Signalstärke stufenweise über 8 Level gesteigert wird. Durch die stufenweise Steigerung lässt sich die Frequenzstärke ermitteln ab der der Transponder antwortet. Hieraus kann auf die Entfernung zur Sendeantenne geschlossen werden. Referenztags dienen zusätzlich zur Verbesserung der Positionsbestimmung. (siehe Abbildung 8:

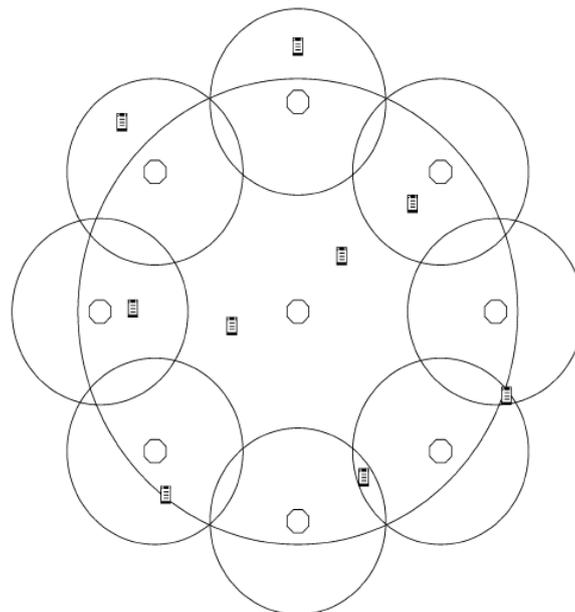


Abbildung 8: Landmark: Aufbau mit 9 Readern mit zwei unterschiedlichen Reichweiten [Ni, Liu, Lau, & Patil, 2003]

Andere RFID-Systeme verwenden ein anderes System zur Ortung hierbei werden RFID-Transponder im Gebäude verteilt. Anhand der Position des RFID-Transponders kann auf den Aufenthaltsort des mobilen Lesegerätes geschlossen werden. Hierbei kann die Position sowohl auf dem RFID-Transponder abgelegt werden, als auch in einer Datenbank gespeichert werden. Die RFID-Technik wird in Kapitel 0 näher beschrieben.

Bluetooth

Zur Vernetzung von Kleingeräten, wie beispielsweise Mobiltelefonen wurde der Funkstandard IEEE 802.15.1 entwickelt, der eine Datenübertragung im Frequenzbereich zwischen 2,402 GHz und 2,480 GHz vorsieht.

Bluetooth kann auch zur Indoor-Ortung verwendet werden, indem über die Freiraumdämpfung der Signalstärke die Entfernung zwischen zwei Bluetooth-Geräten bestimmt wird (Trilateration) [Thapa & Case, 2003]. Hierbei werden jedoch Einflüsse durch Mehrwegeeffekte elektromagnetischer Signale nicht berücksichtigt, was zu größeren Ungenauigkeiten führt.

DECT

„Digital Enhanced Cordless Telecommunications“ (DECT) wird zur Kommunikation im Bereich schnurloser Telefone eingesetzt. Die Reichweite in Gebäuden beträgt 30 bis 50 m. Hierbei werden Frequenzen von 1880 MHz bis 1900 MHz eingesetzt. Basierend auf DECT wurde von Siemens Enterprise Communications GmbH & Co. KG das „DECT Positioning System“ entwickelt [Siemens DPS, 2005]. Hierbei wird eine Ortung mittels der gemessenen Empfangsfeldstärken durchgeführt und eine Genauigkeit von 8-15m erreicht. Nachteilig ist eine lange Zeitdauer zur Positionsbestimmung, sodass dieses System nur zur Ortung von selten bewegten Gegenständen, jedoch nicht von Personen in Gebäuden eingesetzt werden kann.

ZigBee

Ein relativ junger Funkstandard ist ZigBee, für den seit 2005 Produkte auf dem Markt vorhanden sind. Zigbee ist zur Datenkommunikation zwischen Haushaltsgeräten und Sensoren entwickelt worden und kann Reichweiten bis 100 m aufweisen. [Tadakamadla, 2006] beschreibt ein Projekt zur Indoor-Ortung über die Signalstärkenermittlung von Zigbee-Sendern und -Empfängern

Visuelle Positionsbestimmung (Visual Tags)

Mittels visueller Positionsbestimmung können unter Auswertung von Videoaufnahmen Positionsbestimmungen durchgeführt werden. Hierbei werden festgelegte Symbole im Gebäude platziert, die über ein individuelles Muster verfügen und eine definierte Größe haben. Somit ist es möglich das Symbol eindeutig einer Position zuzuordnen und über die im Bild bestimmte Größe im Vergleich zur tatsächlichen Größe eine Entfernung zu bestimmen.

Im Projekt „SignPost“ [Kalkusch, Lidy, Knapp, Reitmayr, Kaufmann, & Schmalstieg, 2002] der TU Wien wird über die visuelle Positionsbestimmung mit einer Kombination aus einer mobilen Videokamera (Helmkamera) und optischen Markern die Position bestimmt. Die optischen Marker haben eine Größe von 20 x 20 cm und wurden innerhalb der Testumgebung an den Wänden platziert wurden. Die entsprechende Auswertung erfolgt auf Grund eines geometrischen Gebäudemodells.



Abbildung 9: SingPost [Kalkusch, Lidy, Knapp, Reitmayr, Kaufmann, & Schmalstieg, 2002]

Der Rechenaufwand zur **Positionsbestimmung aus Videobildern ist sehr hoch, sodass derzeitige Versuchsaufbauten** noch nicht in kleine Anwendungen mit mobilen Endgeräten integriert werden konnten. Darüber hinaus ist eine direkte Sichtverbindung notwendig. Eine Positionsbestimmung in dichtem Rauch ist hierbei nicht möglich.

2.2.2. Autonome Systeme

Autonome Systeme bieten den Vorteil, dass sie ohne eine Installation von Hardware in Gebäuden auskommen. Es sind Systeme, die als mobile Geräte mitgeführt werden können und ohne Kommunikation zu in Gebäude installierten Sendern oder Empfängern auskommen.

Trägheitssensoren

Trägheitssensoren erfassen die relative Bewegung von Personen oder Gegenständen im Raum, somit kann von einem bekannten Ausgangspunkt ausgehend eine Position bestimmt werden. Hierbei wird meist eine Kombination aus 3-achsigem Beschleunigungssensor und Rotationsaufnehmer (Gyroskop) eingesetzt. Ein Ansatz zur [Walder, 2006] beschrieben, werden diese Messgeräte verwendet, um die Bewegungen von Personen zu messen. Bei dieser Technik gibt es jedoch viele Faktoren, die die Präzision beeinflussen können. So spielen Messfehler der Sensoren beispielsweise durch mechanische Ungenauigkeiten bei der Kalibrierung und Abweichungen bei der eigentlichen Messung eine wesentliche Rolle. Die Ungenauigkeiten nehmen mit zunehmender Entfernung vom Startpunkt und mit der Zeit seit der letzten Rekalibrierung an einem Festpunkt zu.



Abbildung 10: Trägheitssensoren [Renaudin, Yalak, Tome, & Merninod, 2007]

Ansätze zur Beseitigung dieser Problematiken und zu einer Genauigkeitssteigerung liegen hierbei unter anderem bei [Gambardella, Marzoli, De Pccoli, & Marasca, 2008] und [Renaudin, Yalak, Tome, & Merninod, 2007] in der Einbeziehung von Referenzpunkten durch RFID Tags. [Renaudin, Yalak, Tome, & Merninod, 2007] erzielen hierbei Genauigkeiten mit reiner Messung über Trägheitssensoren von ca. 20-25m bei der Unterstützung mit RFID-Tags (im Durchschnitt alle 10m) von 5m (siehe Abbildung 10:). [Gemeiner, Einramhof, & Vincze, 2007] betrachtet auch Trägheitssensoren, jedoch werden visuelle Sensoren zur Rekalibrierung verwendet.

Eine weitere Möglichkeit der Repositionierung wird in [Gambardella, Marzoli, De Pccoli, & Marasca, 2008] angesprochen. So handelt es sich hierbei um die Verwendung von RFID Tags, um die Ungenauigkeit auf 5° pro gelaufener 20m zu verringern.

Laserdistanzmessung

Zur Verbesserung der Positionsbestimmung mittels Trägheitssensoren wird bei [Walder, 2006] die Laserentfernungsmessung eingesetzt. Für den Anwendungsfall der Indoor-Ortung von Feuerwehreinsatzkräften ist dieser Ansatz nicht geeignet. Dicker Rauch, Wasser aus Sprinkleranlagen und weitere Hindernisse beeinträchtigen die Laser-Distanzmessung.

Alternativ kann, wie in [Walder, 2006] dargestellt, auch eine manuelle Repositionierung durch Markieren der aktuellen Position in einer Karte erfolgen.

2.2.3. Netzwerkbasierte Systeme

Gebäude sind mit Funktechnik zur Sprach- und Datenkommunikation ausgestattet. Diese Netzwerkbasierten Systeme lassen sich auch zur Ortung verwenden. Hierbei können verschiedene Verfahren zur Positionsbestimmung zum Einsatz kommen.

GSM

Das "Global System for Mobile Communication"(GSM) und das "Universal Mobile Telecommunications System" (UMTS) werden zur Sprach- und Datenkommunikation verwendet. Darüber hinaus werden auch Dienste zur Positionsbestimmung bereitgestellt. Diese sogenannten „Location Based Services“ beruhen meist auf einer Positionsbestimmung über das Mobilfunknetz und dienen z. B. der Anzeige des Weges zur nächsten Apotheke. mittlerweile

Bei GSM und UMTS handelt es sich um ein zellbasiertes Netzwerk in [Roth, 2002]. Der Provider erhält Informationen darüber, welches Mobiltelefon sich in welcher Zelle befindet. Die Größe der Funkzellen kann jedoch stark schwanken. Während in städtischen Gebieten Funkzellen einen Radius von ca. 100 m aufweisen, können sie in ländlichen Gebieten eine Ausdehnung von bis zu 100 m erreichen. Mit zunehmender Zellgröße steigt auch die Ungenauigkeit der Positionsbestimmung.

Das Mobile Positioning System (MPS) [Swedberg, 2004] eine Positionsbestimmung mit höherer Genauigkeit. Dies wird über die Einteilung von Funksendern in mehrere Winkelbereiche realisiert. Durch die Kommunikation zwischen Basisstation und Endgerät per Zeitschlitz kann eine Signallaufzeit ermittelt werden, die eine Entfernung in üblicherweise ca. 550 m Schritten ableiten lässt. Befindet sich ein Endgerät im Überlappungsbereich von Funkzellen, lässt sich eine Genauigkeit von 50 bis 150 m erzielen. Für den Anwendungsfall der Indoor-Navigation ist eine solche Positionierungsgenauigkeit jedoch nicht ausreichend.

Wireless LAN

Das "Wireless Local Area Network" (WLAN) dient der drahtlosen Datenkommunikation und hat sich in den letzten Jahren im öffentlichen und privaten Bereich stark verbreitet. Mit dem Hintergrund, dass der Signalpegel mit zunehmender Entfernung kleiner wird, kann man hieraus eine gewisse Prognose über die Entfernung zum Sender ableiten. Dies geschieht durch Trilateration oder mittels des Radio Frequency Fingerprintings:

Ein Beispiel für die Positionsbestimmung mittels Trilateration ist das System MagicMap der TU Berlin [TU Berlin, 2009], siehe Abbildung 11:. Über die Ermittlung der Entfernung zu mindestens drei Access-Points (AP) mit bekannten Standorten ist eine Positionsbestimmung möglich. Dämpfungen und Reflexionen können bei diesem Ansatz nicht berücksichtigt werden, daher ist mit einer Genauigkeit von ca. 10 m zu rechnen.

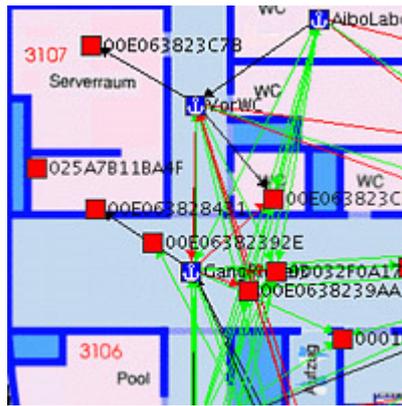


Abbildung 11: MagicMap [TU Berlin, 2009].

Andere Ansätze beruhen auf dem Radio Frequency Fingerprinting (siehe Kapitel 2.1.2). Die Software der Firma Ekahau [Ekahau, 2009] beruht auf einer Positionsermittlung über ein zuvor gespeichertes Modell (siehe Abbildung 12:). In einer sogenannten „Offlinephase“ werden die Signalstärken auf vorgegebenen Wegen als Referenzpunkte in einer Datenbank abgespeichert. Bei der Ortung während der „Onlinephase“ werden die empfangenen Signalstärken mit denen der Datenbank verglichen und eine mögliche Position über eine Korrelationsrechnung ermittelt.

Andere Systeme verwenden einen ähnlichen Ansatz. Probleme mit Schwankungen der Signalstärke, Streuung und Dämpfung werden bei den einzelnen Ansätzen unterschiedlich gehandhabt. Die Genauigkeit von Verfahren zur Indoor-Ortung mit Radio Frequency Fingerprinting liegen nach [Gartner, Radoczky, & Retscher, 2008] bei 1 bis 3 Metern.

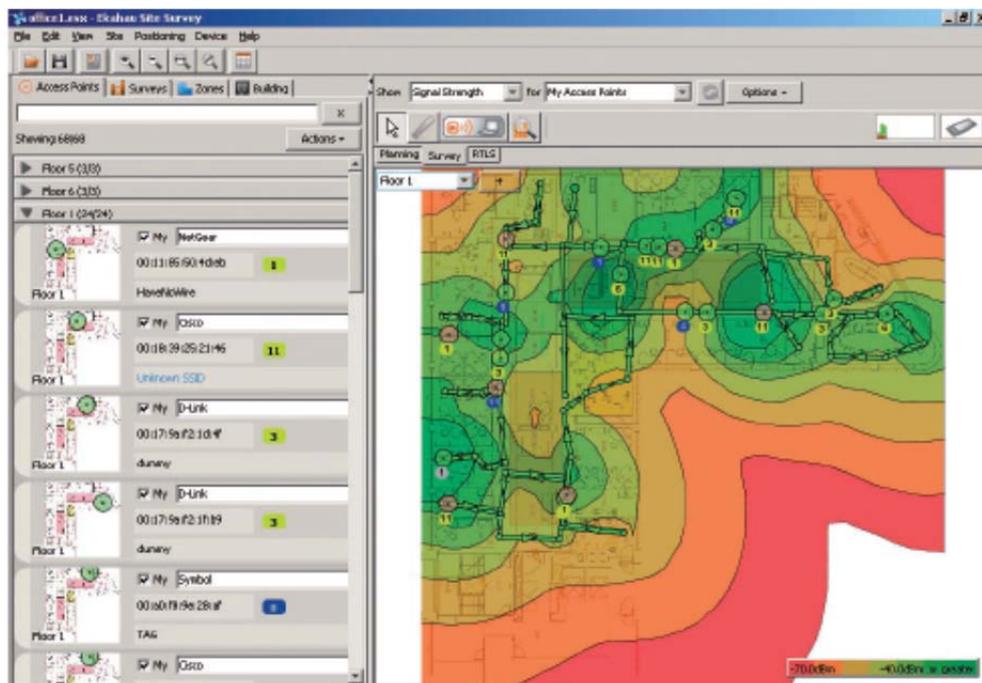


Abbildung 12: Ekahau Site-Survey zur Analyse der Signalstärken [Ekahau, 2009]

Wireless LAN zur Ortung von Personen wird in Kapitel 2.5 genauer erläutert.

UWB

Ultra-Breitband (engl. Ultra Wide Band, UWB) wurde ursprünglich zur hochratischen Datenkommunikation in bereits belegten Frequenzbereichen entwickelt.

UWB verwendet eine große Frequenzbandbreite von mindestens 500 MHz oder 20 % des arithmetischen Mittelwertes von unterer und oberer Grenzfrequenz des genutzten Frequenzbandes [Becker, 2008]. Daten werden bei UWB nicht durch die Modulation von Frequenz oder Amplitude übertragen, wie es bei anderen Funktechnologien der Fall ist, sondern über sehr kurze Impulse im Pico- und Nanosekundenbereich. Hiermit ist es möglich, bereits vergebene Frequenzen für UWB zu nutzen, da diese kurzen Impulse von anderen Funkempfängern lediglich als Hintergrundrauschen wahrgenommen werden. Die kurzen Impulse ermöglichen auch ein einfacheres Herausfiltern von Reflexionen durch Wände und andere Bauteile in Gebäuden. Reflektierte Signale erreichen den Empfänger bedingt durch den längeren Weg, den sie zurücklegen, später. Da die Impulse beim Eintreffen des reflektierten Signals bereits beendet sind, ist eine einfache Extraktion des ursprünglichen Signals i.d.R. möglich. Hierdurch lässt sich eine Ortung mit einer hohen Präzision realisieren. Ein kommerzielles System mit dieser Technik ist das UWB-Ortungssystem von Ubisense (siehe Abbildung 13:).

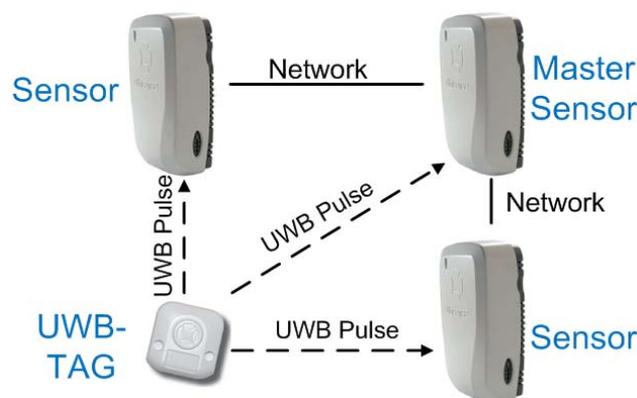


Abbildung 13: Ubisense UWB-System nach [Becker, 2008]

Im Rahmen des Forschungsprojektes "Europcom" [Harmer, Yarovoy, & Schmidt, 2008] werden UWB Antennen auf mobilen Teleskopmasten, die außerhalb des Gebäudes aufgestellt werden, verwendet. Die Positionen der Antennen werden mit Hilfe von GPS eingemessen und kommunizieren über WLAN miteinander. Erste Ergebnisse zeigten, dass eine Ortung in Kernbereichen von Gebäuden nur mit zusätzlichen UWB-Antennen innerhalb von Gebäuden möglich ist.

2.2.4. Zusammenfassung der vorgestellten Ortungstechnologien

Die in den vorigen Kapiteln vorgestellten Ortungstechniken haben Prinzip bedingte Vor- und Nachteile, die in der nachfolgenden Tabelle zusammengefasst werden.

Technik	Genauigkeit	Bemerkung
GPS	< 6 m	Ohne Korrekturverfahren
Infrarot (IR)	ca. 0,1 - 16 cm	Direkte Sichtverbindung erforderlich
Ultraschall	ca. 15 cm	Dichtes Netz an Sensoren notwendig
RFID (aktiv und passiv)	Ca. 0,1 – 8 m (abhängig von der Art des Transponders)	Leseentfernung bis 20 m (mobile Lesegeräte)
UWB	bis zu 15 cm	Wenige Sensoren für einen großen Bereich benötigt
Visuelle Positionsbestimmung	Sichtweite	Sichtverbindung notwendig
Trägheitssensoren	5° pro 20 m	Ungenauigkeit nimmt zunehmender Zeit und Entfernung zu
GSM	50-300 m	Hohe Ungenauigkeit
WLAN	ca. 3-5 m	Vorhandene WLAN-Infrastruktur kann verwendet werden
Bluetooth	ca. 1-2 m	Frequenzbereich auch für andere Anwendungen verwendet. Kann zu Störungen durch andere Geräte kommen
DECT	ca. 8-15 m	Zu großes Aktualisierungsintervall.
ZigBee	ca. 3-6 m	Bisher keine kommerziellen Anwendungen verfügbar

Tabelle 1: Ortungssysteme nach [Aitenbichler, 2008]

Aus Tabelle 1 wird deutlich, dass die unterschiedlichen Ortungssysteme verschiedene Genauigkeiten und Randbemerkungen aufweisen. So sind nicht alle diese Systeme für eine raumgenaue Ortung nutzbar. RFID, WLAN und UWB erscheinen im Hinblick auf einen geringen Installationsaufwand und eine ausreichend hohe Genauigkeit für eine Raumgenaue Ortung am erfolgversprechendsten. Die genauen Anforderungen an das Indoor-Gebäude-Leitsystem werden in Kapitel 3.7 erläutert.

Diese drei Ortungstechnologien werden nachfolgend näher betrachtet.

2.3. RFID

„Radio Frequency Identification“ (RFID) stellt in der Warenwirtschaft eine Ergänzung bzw. teilweise sogar eine Ersetzung des Barcodes dar. Als kontakt- und sichtlose Funkübertragung von Daten [Sharma, 2008] besitzt RFID gewisse Merkmale, die Barcodes nicht bieten können. So besteht hierbei beispielsweise die Möglichkeit des Pulkscannings (Lesen und Schreiben mehrerer Einheiten durch die Verpackung hindurch) und die Verwendung von angeschlossener Sensorik [Oehlmann, 2008]. Durch internationale Standards wird Cross Business (firmen-, markt- und länderübergreifende Verwendung der RFID Technologie) ermöglicht: Die Verfolgung von Waren durch RFID-Tags über die gesamte Lieferkette sowie Visualisierung der Bewegung und des aktuellen Warenbestandes zu jedem Zeitpunkt in Echtzeit.

RFID wird in vielen Bereichen mit unterschiedlichen Frequenzen und Bauformen eingesetzt. Allen gemeinsam ist der Aufbau des RFID Systems aus den folgenden Komponenten (siehe auch Abbildung 14:).

- RFID-Tag (Transponder)

Die Daten eines RFID-Transponders werden auf einem Chip gespeichert. Elektromagnetische Signale werden über eine an den Chip angeschlossene Antenne empfangen und gesendet. Dieser Chip wird bei passiven RFID-Transpondern aus dem elektromagnetischen Feld des Lesegerätes oder bei aktiven RFID-Transpondern durch eine eigene Energieversorgung (Batterie) versorgt.

- Antenne

Die Antenne wandelt Funksignale in Impulse und umgekehrt Impulse in Funksignale um. Die Antenne stellt die sogenannte „Luftschnittstelle“ dar. Sie ist an ein RFID-Lesegerät angeschlossen.

- RFID-Leser (Reader)

Das RFID-Lesegerät (RFID-Leser) steuert das Lesen und Schreiben von und auf RFID-Transponder. Hierzu sendet er einen Strom elektrischer Sendeimpulse aus, die an die Antenne geleitet und von dort gesendet werden.

- PC/Datenverarbeitung

In einem PC werden die Daten des Kontrollers (z. B. Tag-Nummer) verarbeitet und evtl. an einen Webserver weiter gegeben.

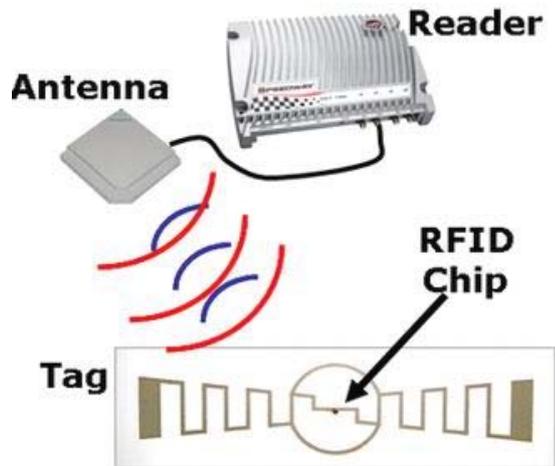


Abbildung 14: Aufbau eines RFID-Systems,
(Quelle: <http://www.logsystems.hu>)

Anhand der Stromversorgung werden folgende Arten von RFID-Tags unterschieden (siehe Abbildung 15:

- Passive Transponder

Passive RFID-Transponder verfügen über keine eigene Energiequelle, sondern beziehen die Benötigte Energie aus dem elektromagnetischen Feld der Sendeantenne. Sie warten auf eine Anfrage und antworten dann direkt. Im Frequenzbereich UHF und MW findet die Energieübertragung durch elektromagnetische Kopplung statt. Durch die fehlende Energieversorgung ist eine Ausrichtung des Lesegerätes auf den Transponder notwendig, um diesen mit ausreichend Energie zu versorgen.

- Semiaktive Transponder

Semiaktive Tags nutzen eine integrierte Stromversorgung (Batterie) zur Versorgung ihres Mikroprozessors. Sie stellen somit eine Hybrid-Variante aus aktiven und passiven Tags dar. Hierdurch werden auch Anwendungen wie Pulkscanning möglich [Clasen, 2006].

- Aktive Transponder

Aktive RFID-Transponder verwenden eine integrierte Stromquelle zum Betrieb des Mikroprozessors und zum Senden von Signalen an den RFID-Reader. Darüber hinaus wird eine selektive zeit-, oder ereignisgesteuerte Datenübertragung möglich. Bei aktiven RFID-Transpondern ist kein Ausrichten der RFID-Lesegeräte auf den Transponder notwendig, da eine geringe Feldstärke zum Ansprechen des Transponders ausreicht.



Abbildung 15: Aktive und passive RFID-Tags (Quelle www.gaorfid.com)

2.3.1. Standard und Frequenzen

Um Funkanwendungen parallel betreiben zu können, bedarf es Regelungen für die Nutzung von Radiofrequenzen. Die RFID-Technik stellt dabei keinen spezifischen Anwendungsfall dar, für den eigene Frequenzbänder ausschließlich freigehalten werden. Hierfür können die für industrielle, wissenschaftliche (scientific) oder medizinische Anwendungen freigegebenen ISM-Frequenzen genutzt werden.

Diese Frequenzen sind quer über das gesamte Spektrum vom Kurz- bis Mikrowellenbereich verteilt. Die Hüter der Frequenzen sind staatliche Einrichtungen und supranationale Organisationen, die in der nachfolgenden Übersicht dargestellt sind.

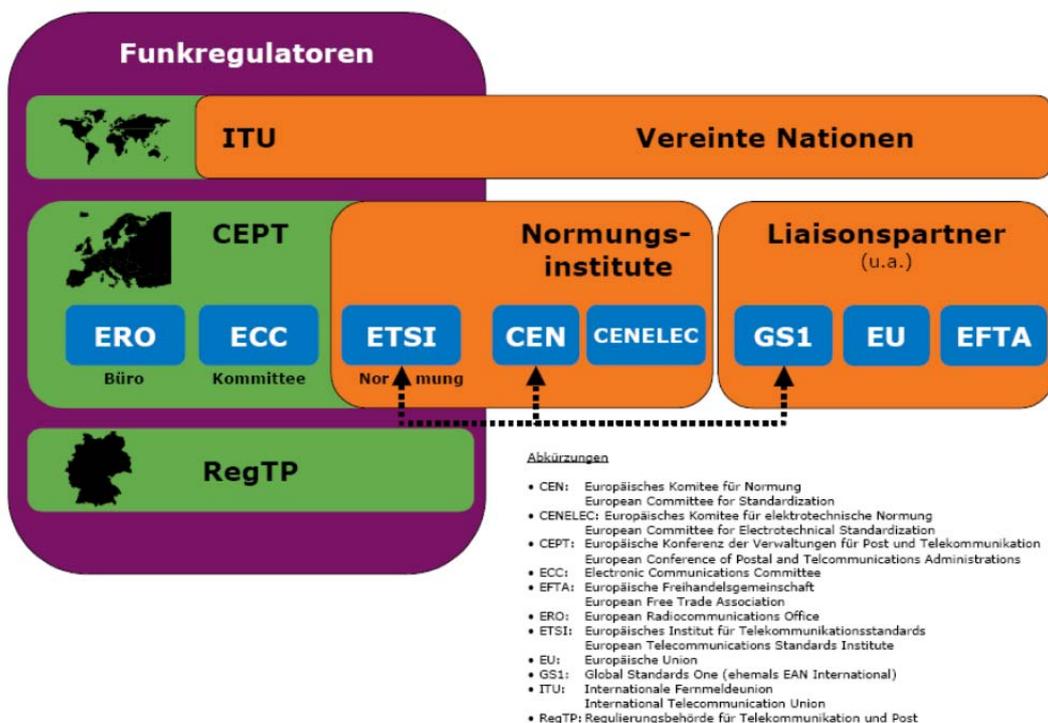


Abbildung 16: Funkregulatoren, Quelle: [Füßler & Clasen, 2005]

In Europa hat die Europäische Konferenz der Verwaltungen für Post und Telekommunikation (CEPT) eine zentrale Funktion. Sie repräsentiert 46 europäische Länder und erstellt Empfehlungen, die zugleich im Wechselspiel zu Richtlinien der Europäischen Union sowie Europäischen Normen stehen. CEPT hat ein Mandat für die Normierung von Informations- und Kommunikationstechnologien in Europa. Für diesen Zweck unterhält CEPT das Europäische Institut für Telekommunikationsstandards (ETSI).

Im Folgenden wird eine Klassifizierung an Hand der benutzten Übertragungsfrequenzen vorgenommen. Tabelle 2: stellt hierzu zunächst einen groben Überblick über die vorhandenen Frequenzbänder und deren Eigenschaften dar. **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** geht näher auf Frequenzen für RFID ein und beleuchtet die einzelnen Vor- und Nachteile.

Frequenz	Wellenlänge	Abkürzung	Bezeichnung	Verwendung
30 - 300 kHz	1 - 10 km	LF	Low Frequency	Rundfunk Langwelle
300 kHz- 3 MHz	100 - 1000 m	MF	Medium Frequency	Rundfunk Mittelwelle
3 - 30 MHz	10 - 100 m	HF	High Frequency	Rundfunk Kurzwelle
30 - 300 MHz	1 - 10 m	VHF	Very High Frequency	Rundfunk, Fernsehen
300 MHz – 3 GHz	0,1 - 1 m	UHF	Ultra High Frequency	Fernsehen, Mobilfunk GSM, Wireless LAN, Mikrowelle
3 - 30 GHz	0,01 - 0,1 m	SHF	Super High Frequency	Radar, UWB

Tabelle 2: Überblick über die Frequenzbänder, Quelle: [Kulpa, 2006]

Die Einsatzmöglichkeiten der RFID-Technik hängen von der Art der Antennenbauweise und von den verwendeten Frequenzen ab. Während niedrige Frequenzen (z.B. Low Frequency, LF) eine gute Durchdringung von metallischen und nichtmetallischen Gegenständen, Wasser und organischem Gewebe möglich machen, ist auf Grund einer nur sehr geringen Übertragungsgeschwindigkeit ein Lesen und Schreiben in Bewegung, „On the fly“, nur sehr begrenzt möglich. Bei sehr hohen Frequenzen besteht die Problematik der eingeschränkten Durchdringung der bereits genannten Stoffe. Diese verfügen jedoch über hohe Übertragungsraten und große Reichweiten.

Für die Realisierung einer Indoor-Ortung sollen Tags im vorbeigehen, „On the fly“, ausgelesen werden können, ohne dass eine gezielte Ausrichtung der Antenne auf die Tags erforderlich ist. Hierbei werden Reichweiten von mindestens 8 m angenommen. Die genauen Anforderungen werden in Kapitel 3.7 erläutert.

Wie aus der vorigen Tabelle zu entnehmen ist, lassen sich aufgrund der Reichweite für eine Indoor-Ortung die meisten Frequenzen ausschließen. Lediglich Tags im UHF-Bereich erreichen die für die Indoor-Ortung erforderlichen Reichweiten. Hierbei wird auch auf Untersuchungen mit passiven UHF-RFID-Tags der Projekte der BU-Wuppertal und der TU Dresden im Rahmen des Forschungsclusters RFID im Bau verwiesen [Helmus, Laußat, Meins-Becker, & Kelm, 2009], [Jehle, Seyffert, Wagner, & Netzker, 2008].

Passive UHF-RFID-Tags werden auch zunehmend im Bereich der Warenwirtschaft eingesetzt. Im Rahmen des Electronic-Product-Codes (EPC) werden Produkte mit einer weltweit einmaligen Identifikationsnummer, gespeichert auf einem RFID-Tag, versehen, die den gesamten Lebenszyklus des Produktes begleitet. Herstellungsort und Ereignisse wie Verkauf oder Wiederverkauf werden mittels Datenbanken (EPC Event Registry) protokolliert. Der Electronic-Product-Code enthält eindeutige IDs zusammengesetzt aus Ländercode, Herstellernummer und Produkt- und Seriennummer und wird für die Nachvollziehbarkeit von Produkten über ihren gesamten Lebenszyklus verwendet. Hierbei verwalten so genannte Object Name Server (ONS) die Daten über das Produkt (z. B. Hersteller, Produktinformationen), wogegen Event Registry Server logistikbezogene Daten (z. B. Warenausgang beim Hersteller und Wareneingang beim Händler) verwalten. Die Verwendung des EPC ist auch im Bauwesen sinnvoll. [Helmus, Laußat, Meins-Becker, & Kelm, 2009] betrachten in ihrem Forschungsabschlussbericht die Anwendung des EPC auf bauleistungsbezogene Prozesse.

Nachfolgend werden die Spezifikationen für UHF-RFID-Tags betrachtet und physikalische Grundlagen erläutert.

2.3.2. Spezifikationen für UHF und physikalische Grundlagen

Im Rahmen der UHF-Regulierung in Europa sind aus der Arbeit der European Conference of Postal and Telecommunications Administrations (CEPT) in den vergangenen Jahren drei Dokumente von besonderer Relevanz hervorgegangen [Füßler & Clasen, 2005]:

- CEPT Rec 70-03

Diese Empfehlung der CEPT weist Anwendungen Frequenzbereiche zu und macht Vorschriften für deren Nutzung. Anlage 11 vom Oktober 2004 sieht explizit für RFID-Anwendungen den Frequenzbereich 865 bis 868 MHz mit folgender Aufteilung vor:

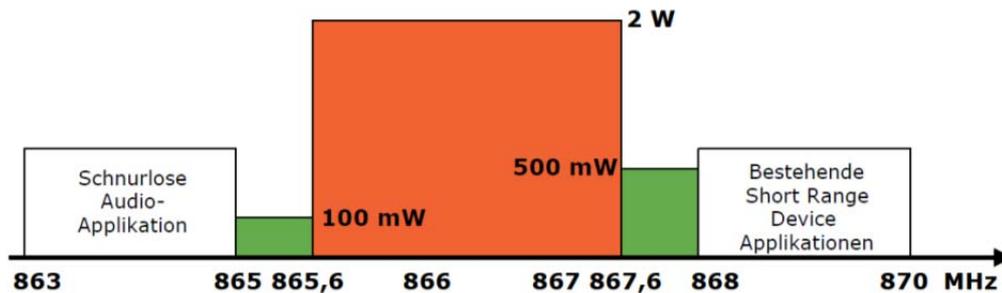


Abbildung 17: UHF Nutzung der Frequenzbereiche [Füßler & Clasen, 2005]:

Die Übernahme in nationale Funkregularien ist in Deutschland durch die Regulierungsbehörde für Telekommunikation und Post bereits im Dezember 2004 erfolgt.

- ETSI TR 101 445

Der ETSI-Fachbericht ist ein Referenzdokument, womit Kompatibilitätsprüfungen von RFID-Equipment im Frequenzbereich 862 bis 870 MHz vorgenommen werden können.

- EN 302 208

Diese Europäische Norm beschreibt Minimalanforderungen an Test- und Messverfahren, die zu berücksichtigen sind, um aus dem Betrieb von RFID-Systemen im Frequenzbereich zwischen 865 und 868 MHz unter den gegebenen Funkregularien einen möglichst hohen Nutzen ziehen zu können.

Dafür gelten folgende Festlegungen:

- Kanalbelegung

Da die Frequenzbereiche auch für andere Funkanwendungen (z. B. schnurlose Telefone) genutzt werden, ist ein Verfahren zur Kollisionsvermeidung notwendig. Hierfür ist keine relative Frequenzbelegungsdauer (duty cycle) einzuhalten, bei der der Anlagenbetrieb auf eine bestimmte Zeit pro Stunde befristet wäre. Stattdessen wird das „Listen Before Talk“-Prinzip eingesetzt. Es wird daher die Kanalbelegungssituation vor Beginn der Aussendung geprüft, um Kollisionen mit anderen Anwendungen auf gleicher Frequenz zu vermeiden. RFID-Anwendungen senden somit nur bei freiem Kanal.

Für den Frequenzbereich 865-868 MHz stehen 15, für den Bereich 865,6-867,6 MHz: 10 und für den Bereich 865,6-868 MHz: 12 Kanäle mit jeweils 200 kHz Breite zur Verfügung [Füßler & Clasen, 2005].

Für den Bereich 865,6 bis 867,6 MHz gibt es folgende Kanäle:

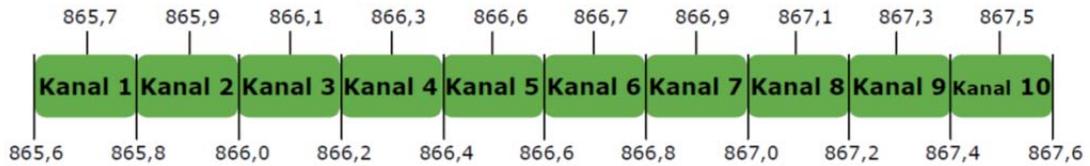


Abbildung 18: Kanalaufteilung, Quelle: [Füßler & Clasen, 2005]

- Antennen

Der horizontale Öffnungswinkel der Antennen für passive RFID-Tags ist beschränkt. Bei Sendeleistungen bis 500 mW beträgt er maximal ± 45 Grad, zwischen 500 und 2000 mW maximal ± 35 Grad

Sendeleistung und Reichweite

Die Reichweite eines Schreib- / Lesegerätes für aktive und passive RFID-Systeme hängt von seiner Sendeleistung ab. Die Kommunikation zwischen Tag und Lesegerät im UHF-Bereich erfolgt über elektromagnetische Wellen, die von stromführenden elektrischen Leitern in alle Richtungen des Raumes ausgesendet werden. Die Strahlungsdichte des elektromagnetischen Feldes nimmt mit zunehmender Entfernung zum Sender überproportional stark ab.

Die Strahlungsdichte S in einer Entfernung r von einem Sender lässt sich über folgende Formel beschreiben:

$$S = \frac{P_{\text{eirr}}}{4\pi r^2}$$

Hierbei gibt P_{eirr} die Sendeleistung der Antenne und $4\pi r^2$ die Größe der Oberfläche einer Kugel mit dem Radius r an.

Man unterscheidet Antennen nach der Art, wie sie elektromagnetische Wellen ausstrahlen. Stabantennen sind isotrope Strahler, die die elektromagnetischen Wellen gleichmäßig in alle Richtungen des Raumes aussenden und so den Bereich um die Antenne gleichmäßig versorgen. Dipolantennen werden eingesetzt, wenn eine Ausbreitung in zwei Richtungen gewünscht ist.

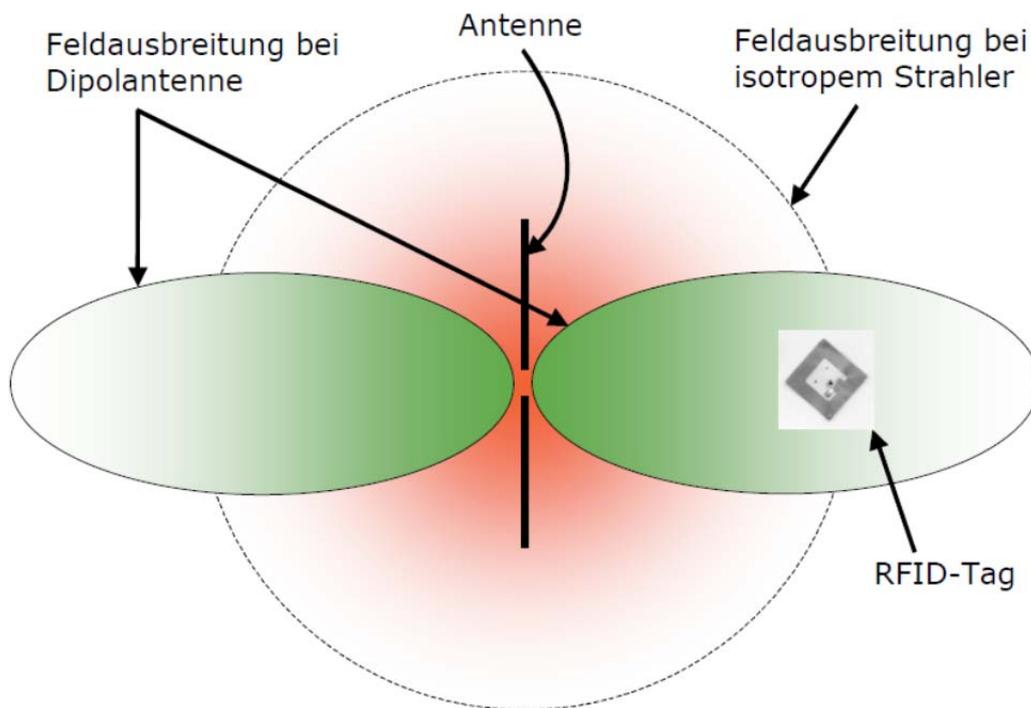


Abbildung 19: Feldausbreitung Isotroper Strahler vs. Dipolantenne, Quelle: [Füßler & Clasen, 2005].

Um einen RFID-Tag in einer bestimmten Entfernung auslesen zu können, kann daher die Sendeleistung bei Verwendung einer Dipolantenne geringer sein als bei einem isotropen Strahler.

Die Übertragung der Daten wird durch Variation des Rückstrahlquerschnittes erreicht. Daten werden in ein digitales Signal codiert, das einen Widerstand parallel zur Antenne ein- und ausschaltet. Die Veränderungen des Widerstandes ändern dabei die Eigenschaften der reflektierten elektromagnetischen Welle und modulieren so die Daten auf die Welle auf. Das Lesegerät demoduliert und dekodiert das Signal.

Begrenzung der Sendeleistung

Die oben genannten Zusammenhänge sind wichtig, um die maximal erlaubte Sendeleistung in unterschiedlichen Ländern vergleichen zu können. In den USA oder Australien wird vorgeschrieben, wie stark eine isotrope Antenne maximal senden darf (eirp = equivalent isotropic radiated power), in anderen Ländern (z. B. Deutschland) wird die Verwendung einer Dipolantenne vorausgesetzt (erp = equivalent radiated power). Aufgrund der Tatsache, dass eine Dipolantenne zielgerichtet sendet, erzielt sie mit ihrer Sendeleistung eine um den Faktor 1,64 größere Reichweite. Der Zusammenhang zwischen der Sendeleistung P nach dem eirp- und dem erp-Messverfahren lässt sich daher wie folgt beschreiben:

$$Peirp = Perp * 1,64$$

In Deutschland sind 2 Watt erp erlaubt, dies entspricht daher 3,28 Watt eirp (2 Watt erp x 1,64). Die maximal erlaubte Sendeleistung in den USA liegt knapp 24% über der in Deutschland erlaubten Sendeleistung. Diese Begrenzungen richten sich nach der Erfassung mit RFID-Lesern für Euro-1-Paletten [Füßler & Clasen, 2005].

Weitere Details über die Funktionsweise und Standards finden sich in den Abschlussberichten der anderen ARGE RFID im Bau-Projekte, beispielsweise im Forschungsbericht zum Projekt "Integriertes Wertschöpfungsmodell mit RFID in der Bau- und Immobilienwirtschaft" [Helmus, Laußat, Meins-Becker, & Kelm, 2009] oder im Abschlussbericht zum Projekt RFID-Intellibau der Technischen Universität Dresden [Jehle, Seyffert, Wagner, & Netzker, 2008].

2.3.3. Indoor-Ortungsverfahren

Für die Indoor-Ortung werden aktive und passive RFID-Tags in unterschiedlichen Frequenzbereichen eingesetzt. Man unterscheidet zwischen stationären Readern (oft Readerportale) mit mobilen RFID-Tags und im Gebäude angebrachten RFID-Tags sowie mobilen Lesegeräten (Selbstortung).

Hierbei gibt es folgende Konzepte, um mit RFID-Tags eine Positionsbestimmung von Objekten in Gebäuden durchzuführen (siehe auch Abbildung 20: und [Stübbe, 2010]).

Leseschleusen

Festinstallierte Leseschleusen ermöglichen die Ortung eines RFID-Tags in bestimmten Bereichen eines Gebäudes. In der Regel werden Readerportale an den Zugängen aufgestellt, die Tags erfassen, die in den Bereich hinein oder heraus gebracht werden. Hierfür sind spezielle Reader notwendig, die die Durchschrittrichtung des RFID-Tags erfassen können. Die Genauigkeit ist durch die Größe des Raumes bestimmt. Dieses Konzept eignet sich für aktive und passive RFID-Tags und wird überwiegend zur Lagerverwaltung in Verbindung mit passiven RFID-Tags eingesetzt.

Punktbasierte Positionsbestimmung

Bei der punktbasierten Positionsbestimmung sind RFID-Tags im Gebäude verteilt, die Informationen über ihren Standort enthalten. Das zu ortende Objekt bewegt sich mit einem RFID-Reader durch das Gebäude. Passiert es einen RFID-Tag, so kann es über das Auslesen der im Tag gespeicherten Position auf seine eigene Position schließen. Dieses Konzept wird i.d.R. mit aktiven RFID-Tags verwendet. Hier ist eine Erfassung im Vorbeigehen möglich, ohne das Lesegerät auf den Tag ausrichten zu müssen. Mit passiven RFID-Tags wird dieses Konzept vorwiegend für Sicherheitsdienste verwendet. Um nachzuweisen, dass ein Mitarbeiter geprüft hat, ob eine Tür verschlossen ist, muss er sein mobiles Lesegerät an den RFID-Tag an der Tür halten.

Positionsbestimmung durch Signalstärkemessung

Bei dieser Art der Positionsbestimmung werden stationäre Lesegeräte im Raum verteilt. Diese messen die Signalstärke. Ist ein Tag weiter entfernt wird diese schwächer und somit kann auf die Entfernung geschlossen werden. Diese Methode ist allerdings sehr störungsanfällig, da die Signalstärke durch Abschattungen und weitere im Raum befindliche Objekte beeinflusst werden kann. Die dadurch entstehenden Abweichungen wirken sich dann sofort auf die berechnete Position im Raum aus [TFH Wildau, 2009].

Positionsbestimmung mittels Referenz-Tags

Ein Beispiel für die Ortung mittels Referenz-Tags ist das Projekt Landmark [Ni, Liu, Lau, & Patil, 2003]. In einem Raum werden mehrere RFID-Reader aufgestellt und RFID-Tags an bekannten Positionen im Raum, meist als Raster, angebracht. Anhand der vom RFID-Reader empfangenden Signalstärken der Referenztags und des zu lokalisierenden Tags kann auf seine Position rückgeschlossen werden. Die Idee hierbei ist, dass ein zu ortender RFID-Tag stets von Referenztags umgeben ist. Unter der Annahme, dass die Signalstärke des zu ortenden Tags möglichst gleich ist mit den Signalstärken der ihn umgebenden Referenz-Tags, kann anhand der bekannten Positionen auf die Position des zu ortenden Tags geschlossen werden. Je nach Rastergröße der Referenztags lassen sich Genauigkeiten von bis zu 1 m erreichen. Nachteilig bei diesem System ist die sehr aufwändige Installation von Readern und Referenztags im Gebäude.

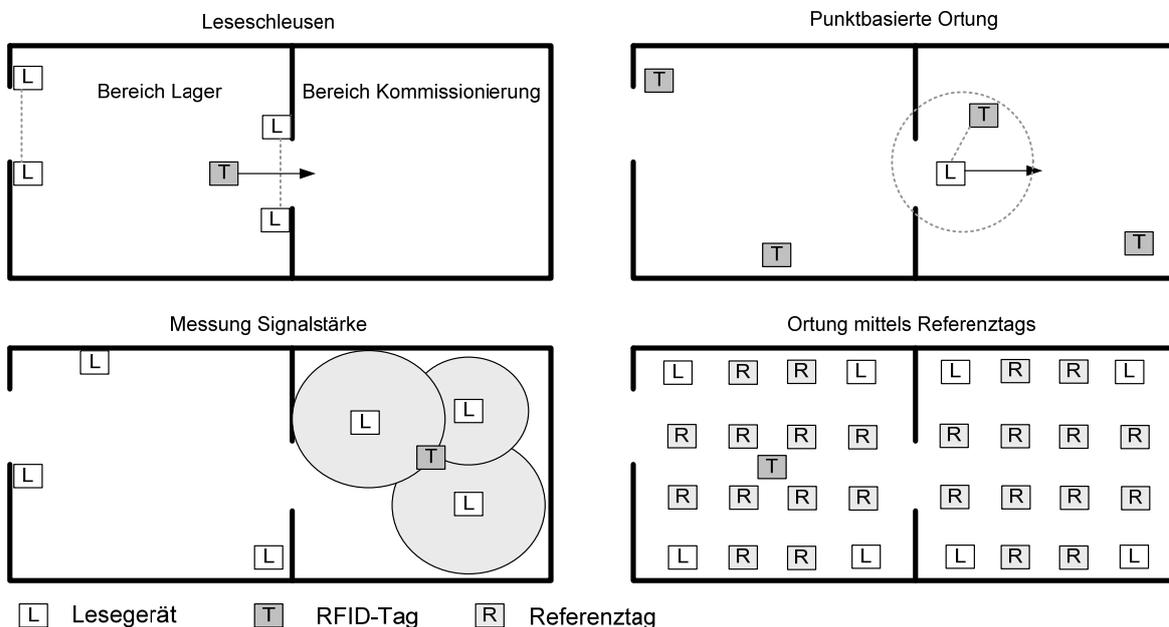


Abbildung 20: Ortung mit RFID-Tags nach [TFH Wildau, 2009]

Passive RFID-Tags sind in der Regel preisgünstiger als aktive, haben jedoch oft geringere Reichweiten als aktive RFID-Tags. Darüber hinaus sind die Lesegeräte für passive RFID-Tags in der Regel mit gerichteten Lesekeulen ausgestattet, so dass das Lesegerät direkt auf den RFID-Tag ausgerichtet sein muss. Bei passiven RFID-Tags wird meist das Cell of Origin (COO)-Verfahren genutzt, hierfür gibt es z.

B. Ansätze RFID-Tags in Teppichböden einzubringen und mit Lesegeräten direkt über dem Boden die jeweilige Position zu bestimmen.

Aktive RFID-Tags erlauben in der Regel größere Lesereichweiten (bis zu 50 m im Gebäude). Daher werden bei fest eingebauten Tags weniger RFID-Tags benötigt. Hierfür können auch Stabantennen eingesetzt werden, die einen Lesebereich von 360° um die Antenne aufweisen und somit eine Erfassung der RFID-Tags ohne direkte Ausrichtung der Antenne auf den Tag ermöglichen.

Dieses Kapitel basiert auf der Darstellung in [Stübbe, 2010].

2.3.4. Vorhandene Systeme und laufende Forschungsprojekte

Für den Anwendungsfall der Indoor-Ortung gibt es verschiedene Forschungsprojekte, die auf den im vorigen Kapitel beschriebenen Ansätzen beruhen.

- **Im Gebäude installierte Sensoren**

LANDMARC

Im oben erwähnten System LANDMARC [Ni, Liu, Lau, & Patil, 2003] werden RFID-Tags über stationär im Gebäude angebrachte Sensoren geortet. Die Entfernung zum Sensor wird über die Signalstärke von mobilen Tags und Referenztags ermittelt.

Flughafen München

Die Maximilians-Universität [Tsakiridou, 2008] hat für den Flughafen München einen intelligenten Wegweiser auf Basis von RFID-Karten entwickelt. Über im Gebäude installierte Informationsterminals kann sich der Fluggast den Weg zum Gate anzeigen lassen, wenn er seine RFID-Karte auf den Reader am Info-Terminal legt.

TU Chemnitz

Einen ähnlichen Ansatz verfolgt die TU Chemnitz [Heise, 2009] mit einem System aus RFID-Karten und Reader-Toren, die im Gebäude installiert sind. Somit ist eine punktweise Ortung im Gebäude möglich und Besucher können anhand von berührungsempfindlichen Displays zu ihrem jeweiligen Ziel (z. B. zum Konferenzraum) geleitet werden.

ZOMOFI

An der Fachhochschule Nordwestschweiz wurde [Koukolikova, Nicola, & Stamm, 2008] die Genauigkeit eines aktiven RFID-Systems ZOMOFI von Siemens anhand eines Modells untersucht. Verwendet werden aktive RFID-Tags im 2.45 GHz-Bereich und Sensoren, die am Rande einer Zelle mit einer Kantenlänge von bis zu 80 m aufgestellt werden. Die Positionsbestimmung erfolgt anhand der Stärke des Rücksignals der RFID-Tags. Dieses wird in 32 Stufen eingeteilt und hieraus näherungsweise die Position bestimmt. Laut der Fachhochschule Nordwestschweiz wird bei der Positionsbestimmung von einem vereinfachten

Modell ausgegangen, das Reflexionen der Signale und Dämpfung durch Wände nicht berücksichtigt.

Diese Annahmen treffen in Gebäuden in der Regel nicht zu und beschreiben daher nur annähernd die Genauigkeiten innerhalb eines großen Raums ohne Einbauten, die Reflexionen und Dämpfung verursachen.

Mojix eLocation System

Die Firma Mojix Inc. aus Los Angeles (U.S.A.) hat ein weiteres Indoor-Lokalisierungssystem basierend auf passiven UHF-RFID-Tags entwickelt. Dieses System ist für die Ortung von Waren in der Logistik ausgelegt und besteht aus im Gebäude installierten Readern des Mojix STAR Systems, die zu so genannten eNodes zusammengefasst werden. Diese im Gebäude installierten Sensoren identifizieren die Waren, die mit passiven UHF-Tags ausgestattet sind, an Punkten, an denen die Reader installiert sind. Das Mojix System erlaubt die Verwaltung von vielen Readern in Gebäuden und ermöglicht so eine Positionierung über Leseschleusen.

- **Im Gebäude installierte RFID-Tags**

Carnegie Mellon University

[Akinci, 2008] verwendet aktive RFID-Tags, die im Gebäude angebracht sind. Auf Grund der in einer Datenbank hinterlegten Positionsangabe kann zu einer empfangenen TagID eine punktbasierte Positionsbestimmung durchgeführt werden.

Mems und RFID

[Renaudin, Yalak, Tome, & Merninod, 2007] und [Gambardella, Marzoli, De Pccoli, & Marasca, 2008] verwenden Trägheitssensoren, um eine Ortung im Gebäude durchzuführen. Da diese jedoch mit zunehmender Zeit und Entfernung erheblich ungenauer werden, muss die Position alle ca. 10-20 m durch einen Fixpunkt korrigiert werden. Hierzu verwenden beide RFID-Tags, die im Gebäude platziert werden (punktbasierte Ortung).

EMIKA

Die FHTW Berlin [Mohnke & Meriac, 2008] hat im Rahmen des Projektes EMIKA einen Museumsführer entwickelt, der Besucher in verschiedenen Räumen ortet und mit Informationen über Exponate versorgt. Hierfür wurde die Ausstellungsfläche in 14 Bereiche geteilt und jeweils mit aktiven RFID-Tags ausgestattet, die auf 2,45 GHz ihre ID senden. Über mobile Lesegeräte integriert in PDAs wird der jeweils am stärksten sendende Tag ermittelt und anhand der bekannten Position des Tags auf die Position des PDAs geschlossen (punktbasierte Ortung).

Anhand des Anwendungsfalls muss jeweils entschieden werden, ob mit stationären Lesegeräten oder mit stationären RFID-Tags gearbeitet werden kann. Hierauf wird in Kapitel 4.1 weiter eingegangen.

Ein weiteres, anhand der Gegenüberstellung in Kapitel 2.2.4 ausgewähltes Verfahren, ist Ultra Wide Band (UWB). Dieses wird nachfolgend eingehender erläutert.

2.4. UWB

Ultra-Breitband (engl. Ultra-Wide-Band, UWB) wurde auf Kriegsschiffen für den Bordfunk genutzt, da die UWB-Signale für einen schmalbandigen Empfänger wie Rauschen erscheinen.

2.4.1. Standard und Frequenzen

Bei UWB wird eine große Frequenzbandbreite verwendet. Sie besteht aus mindestens 500 MHz oder mindestens 20 % des arithmetischen Mittelwertes von unterer und oberer Grenzfrequenz des genutzten Frequenzbandes [Becker, 2008].

Bei UWB werden Signale auf nicht auf eine Trägerfrequenz moduliert, die Übermittlung der Signale geschieht durch sehr kurze digitale Impulse. Diese müssen zeitlich sehr präzise festgelegt sein, um beispielsweise eine hohe Genauigkeit bei der Ortung durch Radartechnik zu gewährleisten.

Die gesetzlichen Rahmenbedingungen für die UWB-Nutzung sind erst kürzlich durch die EU-Kommission geregelt worden. Daraufhin wurde die Nutzung für Deutschland von der Bundesnetzagentur im Januar 2008 geregelt. Hiernach ist der Frequenzbereich zwischen 30 MHz und 10,6 GHz für UWB-Anwendungen mit Einschränkungen in der Sendeleistung nutzbar. [BNetzA_2, 2008]

2.4.2. Indoor-Ortungsverfahren

Die für UWB charakteristische große Frequenzbandbreite ermöglicht das Senden sehr kurzer Impulse. Da diese kurzen Impulse von anderen Funkempfängern lediglich als Hintergrundrauschen wahrgenommen werden, ist das Herausfiltern von Reflexionen durch Wände und andere Bauteile in Gebäuden möglich. Reflektierte Signale erreichen den Empfänger bedingt durch den längeren Weg, den sie zurücklegen, später, d.h. zu diesem Zeitpunkt, sind die ursprünglichen Signale bereits eingetroffen und es gibt i.d.R. keine Überlagerungen der Signale (siehe Abbildung 21:).

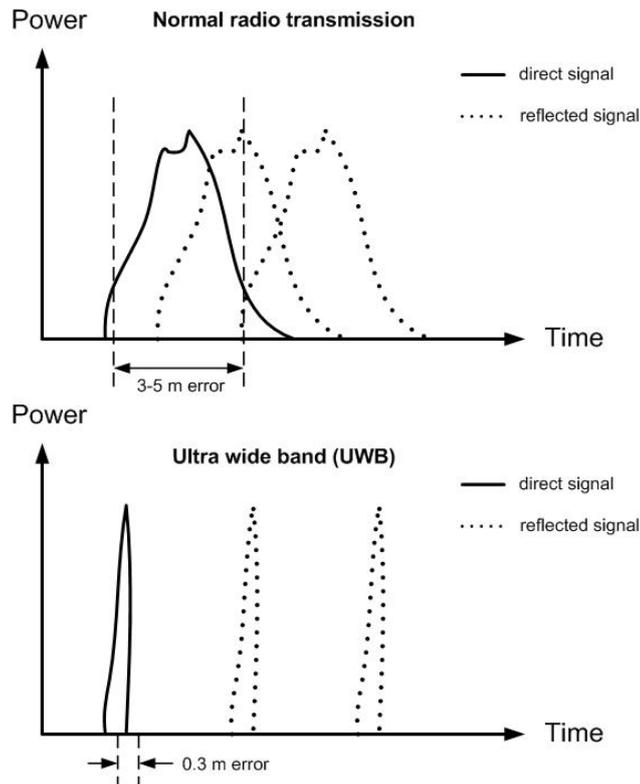


Abbildung 21: Signalausbreitung Konventionelle Funktechnologie und UWB nach [Becker, 2008]

Für die Ortung wird oft eine Kombination aus Time Difference of Arrival und Angle of Arrival eingesetzt. Für das TDOA sind zeitsynchronisierte Sensoren notwendig, die i. d. R. im Gebäude installiert oder auf Fixpunkten außerhalb eines Gebäudes positioniert sind. Über die Laufzeit der Signale vom UWB-Tag zu den Sensoren kann die Entfernung bestimmt werden. Wird zusätzlich noch das TDOA eingesetzt, indem die Sensoren mit mehreren Antennen ausgestattet sind, ist auch eine Richtungsmessung möglich, aus der das Signal kommt. Hierdurch kann die Genauigkeit erhöht werden.

2.4.3. Vorhandene Systeme und laufende Forschungsprojekte

Im Bereich der UWB-Technik gibt es zahlreiche Forschungsaktivitäten und erste kommerzielle Systeme, eine Auswahl dieser Projekte und Systeme wird nachfolgend vorgestellt.

- EUROPCOM

Im Forschungsprojekt EUROPCOM [Thapa & Case, 2003] wird der Einsatz der UWB-Technik zu Ortungs- und Kommunikationszwecken erforscht. In dem von [Gambardella, Marzoli, De Pccoli, & Marasca, 2008] beschriebenen Anwendungsfall werden die Einsatzkräfte mit einer UWB-Einheit (Sender) ausgestattet. UWB-Antennen werden auf Einsatzfahrzeugen außerhalb des Gebäudes aufgestellt und mittels GPS eingemessen. Da das System jedoch oft nicht bis ins Gebäudeinnere vordringt, wurden mobile UWB-Einheiten entwickelt, die von Einsatzkräften im

Gebäude fallen gelassen werden (sog. „Droppable Units“) [Gambardella, Marzoli, De Pccoli, & Marasca, 2008].

- **UWB Positionierung Geodätisches Institut TU Darmstadt**

Am Geodätischen Institut der Technischen Universität Darmstadt wird ein Positionierungssystem auf Basis von UWB erforscht. Einheiten, die sowohl Sender als auch Empfänger sind messen Durch Laufzeitmessungen die Distanzen zu einer mobilen Einheit. [Blankenbach, Schlemmer, Norrdine, & Willert, 2007]. Hierbei werden auch die Durchdringungseigenschaften von UWB-Signalen durch verschiedene Baustoffe untersucht. Derzeit ist eine Durchdringung einer Betonwand bis zu einer Dicke von 25 cm möglich.

- **Ubisense**

Eine bereits in der Automobilindustrie verbreitete Ortungslösung ist das System der Firma Ubisense. Im Gebäude installierte Sensoren ermöglichen das Orten von UWB-Tag innerhalb einer UWB-Zelle. Diese ist rechteckig aufgebaut und kann eine Größe von bis zu 1.000 Quadratmetern haben. Befindet sich eine Person innerhalb einer Zelle, sendet der mitgeführte UWB-Tag Signale aus, die von zeitsynchronisierten UWB-Empfängern empfangen und anhand der Signallaufzeit (TDOA) ausgewertet werden. Hierdurch kann die Position innerhalb der Zelle bestimmt werden. Darüber hinaus sind die installierten Sensoren mit Antennenarrays ausgestattet. Dies ermöglicht eine zusätzliche Validierung des zu ortenden Tags indem mittels „Angle of Arrival“ (AOA) Mehrdeutigkeiten bei der Positionsbestimmung behoben werden können. Nach Herstellerangaben wird mit dem System eine Genauigkeit von bis zu 15 cm erreicht. Ein UWB-Tag und ein Sensor (Antenne) ist nachfolgend dargestellt. (siehe Abbildung 22:).



Abbildung 22: Ubisense Tag und Sensor [Becker, 2008]

Eine weitere als geeignet erscheinende Technik zur Indoor-Ortung, ist Wireless LAN (WLAN). WLAN wird nachfolgend dargestellt.

2.5. WLAN

WLAN bezeichnet ein "Wireless Local Area Network" und dient dem drahtlosen Netzwerkzugang im privaten und kommerziellen Bereich. Je nach Art des WLAN-Hotspots sind Reichweiten von 30 bis 100 Metern möglich.

2.5.1. Standard und Frequenzen

Zum Betrieb mehrerer WLAN-Netze nebeneinander bedarf es einer Standardisierung. Hierzu wurde vom „Institute of Electrical and Electronics Engineers“ (IEEE) unter der Bezeichnung 802.11 ein Standard entwickelt, der für Europa den Frequenzbereich um 2,4 und 5 GHz lizenzfrei nutzbar macht.

Die detaillierte Unterteilung der Standards und zugehörige Reichweiten sowie Datenraten sind in Tabelle 3: dargestellt.

Standard	Frequenzen	Datenraten	Reichweiten (indoor/outdoor)
IEEE 802.11 a	5.15 GHz bis 5,725 GHz	54 Mbps maximal	35 m / 120 m
IEEE 802.11 b	2,4 GHz bis 2,4835 GHz	11 Mbps maximal	38 m / 140 m
IEEE 802.11 g	2,4 GHz bis 2,4835 GHz	11 Mbps maximal	38 m / 140 m
IEEE 802.11 h	5.15 GHz bis 5,35 GHz und 5.47 GHz bis 5,725 GHz	54 Mbps maximal	
IEEE 802.11 n	2,4 GHz und 5 GHz	54 Mbps maximal 300 Mbps maximal	70 m / 250 m

Tabelle 3: WLAN Standards 802.11 mit Frequenzen, Datenraten und Reichweiten [Zwinger, 2009]

Obwohl der Standard IEEE 802.11n noch nicht veröffentlicht ist, sind hierfür bereits zahlreiche Geräte auf dem Markt verfügbar.

Die Standards IEEE 802.11. b/g sind in Europa in 13 Unterbereiche eingeteilt (13 Kanäle). Hierbei besteht das Problem, dass diese Kanäle nicht unabhängig voneinander genutzt werden können, da es zu Überlappungen der Frequenzbereiche der Kanäle kommt. Dies kann beim Betrieb von WLAN-Hotspots mit benachbarten Kanälen zu einer gegenseitigen Beeinflussung der Reichweite und gegenseitigen Auslöschung von Signalen in bestimmten Bereichen kommen. Insgesamt existieren nur drei überlappungsfreie Kanäle (1, 6, 13)

2.5.2. Indoor-Ortungsverfahren

Die WLAN-Ortung das Phänomen der Freiraumdämpfung zur Entfernungsbestimmung zwischen WLAN-Hotspot und WLAN-Gerät. Im Freien Raum nimmt die Signalstärke quadratisch mit

zunehmender Entfernung von der Sendeantenne ab. Mittels des Received Signal Strength-Verfahrens (RSS) (siehe Kapitel 2.1.2) gibt es zwei Alternativen der Standortbestimmung:

- **Trilateration**

Mittels der Trilateration werden die Signalstärken zu drei Access-Points (AP) ermittelt und daraus jeweils die Distanz zu den AP abgeleitet. Hierbei müssen die Standorte der einzelnen AP bekannt sein. Allerdings berücksichtigt dieses Verfahren keine Reflexionen und Dämpfungen von Signalen durch Wände und andere Bauteile oder Gegenstände und erreicht daher nur eine geringe Genauigkeit.

- **Fingerprintverfahren**

Beim Fingerprintverfahren wird vor der Ortung eine Ermittlung der Signalstärken der jeweiligen AP an unterschiedlichen Punkten durchgeführt und gespeichert. Durch einen anschließenden Vergleich und eine Korrelationsrechnung während der Ortung werden die Gemessenen Signalstärken mit den zuvor gespeicherten Werten verglichen und der Aufenthaltsort mit der höchsten Wahrscheinlichkeit ermittelt.. Probleme mit Schwankungen der Signalstärke, Streuung und Dämpfung werden bei den einzelnen Ansätzen unterschiedlich gehandhabt.

2.5.3. Vorhandene Systeme und laufende Forschungsprojekte

Im Bereich der WLAN-Ortung gibt es verschiedene kommerzielle Systeme und Forschungsprojekte. Eine Auswahl wird nachfolgend vorgestellt.

- **MagicMap**

Das Institut für Informatik der Humboldt Universität Berlin hat ein System namens MagicMap entwickelt. Dieses ist frei verfügbar. Mittels Signalstärken-Trilateration werden Positionen von fixen oder mobilen WLAN-Karten bestimmt. Die Positionsberechnung bei MagicMap finden auf den mobilen Endgeräten statt. Ein Server liefert die Signalstärkenbilder für das RSS-Verfahren, das zusätzlich genutzt werden kann [Schweigert & Hübner, 2005]. Die Genauigkeit wird mit ca. 10m für die Ortung mittels Trilateration und mit ca. 3 m bei der Positionsbestimmung mittels Fingerprinting angegeben. Da bei Trilateration die komplexen Ausbreitungseigenschaften elektromagnetischer Signale nicht berücksichtigt werden, ist die erzielbare Genauigkeit deutlich geringer, was die Verwendung des Systems für manche Anwendungen deutlich einschränkt.

- **Ekahau RTLS**

Die Ekahau Positioning Engine ist ein kommerzielles Produkt und basiert auf dem Fingerprint-Prinzip. Es besteht aus einer zentralen Position-Engine, die Karten des Überwachungsbereichs verwaltet und die eingemessenen Fingerprints speichert und zur Ortung heranzieht. Um

Positionen bestimmen zu können ist die Installation eines Client-Tools auf dem zu ortenden Gerät und eine ständige Verbindung zur Positioning Engine notwendig. Das Clientprogramm ermittelt die Signalstärken und sendet sie per WLAN an die Positioning Engine, die wiederum die Positionen ermittelt und über einen Webservice bereit stellt.

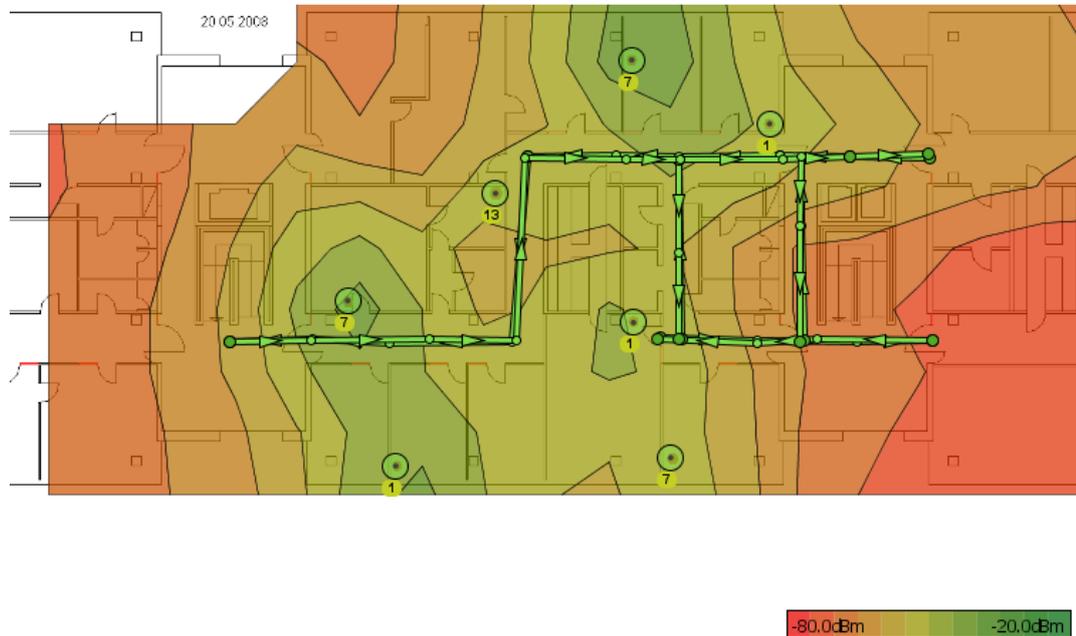


Abbildung 23: Einmessung mit vorgegebenen Wegen mit der Ekahau Sitesurvey

Die angegebene Genauigkeit von Ekahau liegt bei ca. einem Meter. [Shun-yaan Veh, 2005] haben in ihren Messungen eine Genauigkeit von 3 m ermittelt. Eigene Genauigkeitsmessungen werden in Kapitel 7.2 erläutert. Die von Ekahau erstellte Clientsoftware ist jedoch nicht zu allen WLAN-Karten kompatibel, sodass auf eine vom Hersteller empfohlene Karte geachtet werden muss.

Änderungen in der Gebäudestruktur wie z.B. Umpositionierungen von Access Points oder der Einbau neuer Wände erfordern eine Neueinmessung des Beobachtungsbereichs.

- **Fraunhofer Locating System**

Das Fraunhofer Institut für Integrierte Schaltungen (IIS) hat ein WLAN-Ortungssystem entwickelt, das seit Anfang 2008 in Nürnberg auf einer Fläche von 25 km² erprobt wird [IIS, 2009]. Dieses System ermöglicht auf Basis eines aus den Signalstärken ermittelten Fingerprints eine Ortung indoor und outdoor. Hierzu wurden alle Straßenzüge vorher eingemessen und auch Gebäude, in denen eine Ortung ermöglicht werden soll, mussten vorher erfasst werden. Die Darstellung der Positionen geschieht auf GIS-Systemen, der Import von Gebäudedaten ist vorgesehen, jedoch nicht Schwerpunkt des Projektes. Nach Aussage des Fraunhofer IIS lassen sich mit dem System Genauigkeiten von 10 m outdoor und bis zu 3 m indoor erreichen.

2.6. Zusammenfassung der Forschung im Bereich der Indoor-Ortung und Forschungsbedarf

Im Bereich der Indoor-Ortung für den Einsatzfall von BOS wird derzeit auf unterschiedlichsten Gebieten geforscht, einige Projekte wurden oben bereits kurz angesprochen. Nachfolgend werden die Aktivitäten im Forschungsbereich zusammengefasst, bewertet und der Forschungsbedarf aufgezeigt.

Die Technische Universität Graz betreibt Forschung zu einer Ortungstechnologie auf Basis von Trägheitssensoren mittels eines 3-Achsen Gyroskopes und drei Beschleunigungsmessern für den Einsatz der Feuerwehr. Da jedoch die Genauigkeiten für eine Indoor-Positionierung nicht ausreichend sind, wird versucht, durch User-Interaktion eine Repositionierung durchzuführen [Walder, 2006]. Zusätzlich sollen Gebäudemodelle aus einem Facility-Management-System (Speedikon FM) exportiert und auf mobilen Geräten zur Anzeige gebracht werden [Wießflecker, 2008].

Einen ähnlichen Ansatz verfolgen [Shun-yaan Veh, 2005], die in Sandalen integrierten Sensoren für Ultraschall (Entfernung) und Drucksensoren. Diese messen, sobald beide Füße auf dem Boden sind, den Abstand der Füße, um damit die zurückgelegte Entfernung zu bestimmen. Die erzielten Genauigkeiten sind jedoch auch hier für eine autonome Ortung zu ungenau, so dass eine Repositionierung nach ca. 20 m stattfinden muss.

Im Rahmen des Europäischen Forschungsprojektes WearIT@work erforschen [Lukowicz, Timm-Giel, Lawo, & Herzog, 2007] kontextadaptive Softwarelösungen in den Bereichen Flugzeugwartung, Automobilproduktion, Gesundheitswesen und Feuerwehreinsatz. Hierbei liegt der Schwerpunkt auf der Überwachung des Gesundheitszustandes der Einsatzkräfte. Über drahtlose Sensoren sollen Sauerstoffversorgung, Herzfrequenz und Temperatur jedes einzelnen Feuerwehrmanns überwacht werden.

[Gambardella, Marzoli, De Pccoli, & Marasca, 2008] untersuchen in Italien in einem Sicherheitsforschungsprogramm Indoor-Ortungsmethoden auf Basis von WLAN, Micro Electro Mechanical Sensors (Mems) und Ultra-Wide-Band (UWB). Der Schwerpunkt dieses Forschungsprojektes liegt auf der Genauigkeitsbestimmung der einzelnen Systeme. Als Ergebnis wurde eine erhebliche Ungenauigkeit für die WLAN-Ortung ermittelt. Mems zeigten sich nach einigen Meter als zu ungenau, so dass auch hier eine Repositionierung stattfinden musste. Die Genauigkeiten, des im Forschungsprojekt Europcom entwickelten UWB-Systems, in dem Sensoren auf den Einsatzfahrzeugen außerhalb eines Gebäudes zur Ortung in Gebäuden verwendet werden, erwiesen sich als zu gering. Hier soll an weiteren Sensoren geforscht werden, die beim Einsatz im Gebäude fallen gelassen werden (sog. Droppable Units).

[Akinci, 2008] betreibt Forschung zur Indoor-Ortung mit aktiven RFID-Tags. Schwerpunkt ist die Messung der Frequenzstärke zur Bestimmung der Entfernung zum jeweiligen RFID-Tag. Die

Untersuchungen zeigten, dass die Frequenzstärke zur Entfernungsbestimmung innerhalb von Gebäuden zu ungenau ist.

In zwei vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderten Projekten werden einerseits Möglichkeiten zur Indoor-Ortung mittels Signallaufzeitmessungen im 2,4 GHz-Bereich und Ad-hoc-Netzwerken [Feuerwhere, 2008] und andererseits eine Positionsbestimmung über Sensornetzwerke mit sogenannten „Landmarken“ im Gebäude und in der Kleidung integrierter Sensoren für Einsatzkräfte der Feuerwehr erforscht [Landmarke, 2008].

Im Projekt Next Generation Networks [U2010, 2008] werden Methoden der drahtlosen Kommunikation bei Einsätzen untersucht. Videobilder werden über mobile Access-Router übertragen, die selbständig die beste Verbindung aus UMTS, WLAN oder Satellit auswählen. Verletzte Personen werden mit RFID-Tags mit Informationen über den Status der medizinischen Versorgung ausgestattet. Hier findet ebenfalls eine Ortung statt: Beim Verladen des Patienten und Einliefern ins Krankenhaus wird jeweils der RFID-Tag gelesen und somit punktuell die Position des Patienten bestimmt.

Alle diese Forschungsprojekte zeigen, dass eine Unterstützung der BOS mit Methoden der Indoor-Ortung und Navigation in Kombination mit digitalen Kommunikationsmethoden ein Gebiet ist, in dem Forschung notwendig ist und bereits betrieben wird. Eine ganzheitliche Lösung der Problematik der Orientierung im Gebäude durch die Generierung von Feuerwehrlaufkarten für die Darstellung auf mobilen Endgeräten aus CAD-Gebäudeinformationen heraus und Einbindung verschiedener Ortungstechnologien gibt es jedoch bisher nicht. Hier besteht dringender Forschungsbedarf.

3. Stand der Wissenschaft und Technik im Bereich der technischen Ausstattung der Feuerwehr

Nach der Darstellung des Stands der Technik und der Forschung im Bereich der Indoor-Ortung soll der Stand der Technik im Bereich der technischen Ausstattung der Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben am Beispiel der Feuerwehr erläutert werden. Hierbei wird auf die rechtliche Lage, Einsatzabläufe, technische Ausstattung und die Anforderungen der Feuerwehr eingegangen.

Die nachfolgenden Kapitel zum Brandschutz basieren auf [Stübbe, 2010] und [Schatz, 2008]

3.1. Überblick rechtliche Lage (Gesetze, Vorschriften und Verfahrensanweisungen)

Einsatzkräfte der Feuerwehr verwenden Feuerwehrpläne, um sich mit den räumlichen Gegebenheiten eines Gebäudes vertraut zu machen, die Angriffstaktik zu planen und Fahrzeugstandorte festzulegen.

Darüber hinaus werden Feuerwehr-Laufkarten für die Navigation zu einem Rauchmelder im Gebäude, sowie Flucht- und Rettungspläne verwendet. Nachfolgend ist unter Anleitung des Praxispartners Bureau Veritas Brandschutzservices GmbH ein Überblick über die rechtliche Lage im Bereich Brandschutz erarbeitet worden.

3.1.1. DIN-V-14011 „Begriffe aus dem Feuerwehrwesen“

Die DIN-V-14011 definiert Begriffe des Feuerwehrwesens. Da sich andere Normen zum Teil auf diese Norm beziehen, soll hier zum besseren Verständnis eine Zusammenfassung über die häufig verwendeten Begriffe gegeben werden [DIN-V-14011].

Vorbeugender Brandschutz

Der vorbeugende Brandschutz oder die Brandverhütung beschreibt alle Maßnahmen, um den Ausbruch eines Brandes zu verhindern und/oder die Brandfolgen zu begrenzen. Zu diesem Bereich gehören der bauliche (Verhinderung der Brandausbreitung durch bauliche Maßnahmen), der technische (Branderkennung und Verhinderung der Brandausbreitung durch technische Maßnahmen) und der betriebliche oder organisatorische Brandschutz (Feuerwehrpläne, Brandschutzordnungen).

Abwehrender Brandschutz

Der abwehrende Brandschutz umfasst Maßnahmen zur Bekämpfung von Gefahren für Leben, Gesundheit und Sachen, die durch Brände entstehen können. Diese Maßnahmen werden meist von der Feuerwehr durchgeführt.

Brandmeldeanlagen (BMA)

Brandmeldeanlagen sind Gefahrenmeldeanlagen, die Personen zum direkten Hilferuf bei Brandgefahren dienen und/oder Brände zu einem frühen Zeitpunkt erkennen und melden.

Brandmeldezentrale (BMZ)

Die Brandmeldezentrale ist Bestandteil eines Brandmeldesystems, durch welches andere Bestandteile mit Energie versorgt werden können. Sie verarbeitet Signale der angeschlossenen, um eine Brandmeldung zu deuten. Die Alarmierung findet durch akustische und optische Signale oder durch Weiterleitung an andere Einrichtungen statt.

Feuerwehr-Anzeigetableau (FAT)

Das Feuerwehr-Anzeigetableau ist an eine Brandmeldezentrale angeschlossen und zeigt Informationen über bestimmte Betriebszustände der Brandmeldeanlage (BMA) in einer einheitlichen Erscheinungsform an.

Feuerwehr-Bedienfeld (FBF)

Da Brandmeldezentralen im Einsatzfall schnell bedient werden können, besteht mit dem Feuerwehr-Bedienfeld eine einheitliche, normierte Schnittstelle für die Betätigung der BMA im Alarmfall und bei Funktionsprüfungen der wichtigsten Funktionen.

Übertragungseinrichtung (ÜE)

Eine Übertragungseinrichtung dient der Weiterleitung der Brandmeldung von der Brandmeldezentrale zu einer Empfangszentrale für Brandmeldungen.

Brandmelder

Bei Brandmeldern wird zwischen automatischen oder manuellen Brandmelder unterschieden. Ein automatischer Melder enthält einen Sensor, der eine Brandkenngröße (z.B. Wärme, Rauch) überwacht und der BMZ signalisiert, wenn eine Kenngröße außerhalb der Toleranz liegt. Manuelle Brandmelder oder Handfeuermelder werden von Hand ausgelöst.

Einsatz und Fehleinsatz

Ein Einsatz stellt die Gesamtheit aller Maßnahmen und Tätigkeiten von Einsatzkräften an einer Einsatzstelle dar. Ein Fehleinsatz bezeichnet einen Einsatz obwohl keine Gefahr vorliegt/-lag oder keine sonstige Hilfeleistung durchzuführen ist/war.

Einsatzplan

Ein Einsatzplan ist ein objekt- oder ereignisbezogener Plan für die Feuerwehr mit Hinweisen auf einsatztaktische Maßnahmen.

Der schematische Aufbau eines Feuerwehreinsatzplans ist in Abbildung 24: graphisch dargestellt.



Abbildung 24: Bestandteile eines Feuerwehreinsatzplans nach [Mayr & Battran, 2005]

3.1.2. DIN 14034-6 „Graphische Symbole für das Feuerwehrwesen“

In Teil 6 der DIN 14034 sind die graphischen Symbole für die Darstellung von baulichen Einrichtungen in Brandschutzplänen geregelt.

Die verschiedenen Symbole lassen sich nach Rahmenfarbe in unterschiedliche Bereiche aufteilen:

Bereich	Rahmen-Form	Rahmen-farbe	Grund-farbe	Symbol-farbe	Beispiel
Vorbeugender baulicher Brandschutz		Rot	Weiß	Schwarz	
Löscheinrichtungen Löschmittelversorgung Löschmittelbevorratung Umweltschutz		Blau	Weiß	Blau oder Schwarz	
Schmutzwasser		Braun	Weiß	Braun	
Sonstige Zeichen		Schwarz	Weiß	Schwarz	

Tabelle 4: Graphische Symbole – Rahmen und Farben [DIN 14034, 2005]

Mit dieser Farbvorgabe legt diese DIN eine umfangreiche Symbolsammlung mit 79 Symbolen für die Kennzeichnung von baulichen Anlagen fest.

3.1.3. DIN 14675 „Brandmeldeanlagen“

Die DIN 14675 legt die Anforderungen für den Aufbau und Betrieb von Brandmeldeanlagen fest.

Wird eine Brandmeldeanlage (BMA) nach der Errichtung abgenommen, müssen mit der Dokumentation zu der Anlage Laufkarten dem Auftraggeber vorgelegt werden. Bei späteren Änderungen durch Umbauten im Gebäude oder Veränderungen in Brandmeldeanlagen ist der Betreiber für die Aktualisierung der Feuerwehr-Laufkarten verantwortlich.

Da Feuerwehr-Laufkarten ein Mittel zur Orientierung und Navigation für Einsatzkräfte im Gebäude sind, werden Sie in einem gesicherten Depot in der Nähe der Brandmeldezentrale oder des Feuerwehr-Anzeigetableau aufbewahrt. Laufkarten weisen Einsatzkräften den Weg vom Standort der Brandmeldezentrale bzw. des Anzeigetableaus zum Ort des ausgelösten Melders. Für jede Meldergruppe existiert i.d.R. eine gesonderte Laufkarte. Im Gegensatz zu Feuerwehrplänen enthalten sie meist eine detailliertere Darstellung des jeweiligen Gebäudeabschnitts [Schatz, 2008].

Die Vorderseite einer Laufkarte zeigt eine Übersicht über die Ebene in der sich die BMZ oder das Feuerwehr-Anzeigetableau befindet. Auf ihr ist der Weg bis zum Treppenhaus oder dem Feuerwehraufzug eingezeichnet. Die Rückseite (siehe Abbildung 25:) zeigt den Meldebereich detaillierter und weist Einsatzkräften den direkten Weg bis zum Einsatzort in einer Gebäudeübersicht mit Grundriss. Die Rückseite einer Feuerwehrlaufkarte, muss folgende Mindestangaben enthalten [DIN-14675, 2003]:

- Meldergruppe
- Meldernummer(n)
- Melderart und -anzahl
- Gebäude/Geschoss/Raum
- Standort der BMZ, der ÜE und des FAT/FBF
- Laufweg vom Standort zum Meldebereich
- im Laufweg liegende Treppen und Türen
- Raumkennzeichnung/Nutzung
- Bemerkungen
- Objektname oder Ort
- Datum der letzten Aktualisierung

Wichtig ist, dass die Feuerwehr-Laufkarten gut lesbar und übersichtlich aufgebaut sind, um für die Einsatzkräfte der Feuerwehr eine schnelle Lokalisierung der Brandmeldung bzw. des Brandortes im Gebäude sicherzustellen. Hierbei erfolgt die Festlegung der genauen Gestaltung in Absprache mit der zuständigen Feuerwache. Die Gestaltungshinweise und Symbole (siehe Tabelle 8) in der DIN 14675 sind hierbei nur Mindestangaben

	Brandmeldezentrale (Anzeige- und Bedienfeld für die Feuerwehr)
	Feuerwehr-Bedienfeld
	Übertragungseinrichtung
	Feuerwehr-Anzeigetableau
	Sprinklerzentrale (SPZ)/Löschzentrale (LZ)
	Zugang zum Objekt
	Standort
	Einsatzweg
	Handfeuermelder
	Automatischer Brandmelder
	Etagenkennzeichnung
	Standort eines Brandmelder-Tableau
	Überwachungsbereich einer Löschanlage
	Überwachungsbereich Sonder-Brandmeldesysteme

Tabelle 5: Symbole für Feuerwehr-Laufkarten [DIN-14675, 2003]

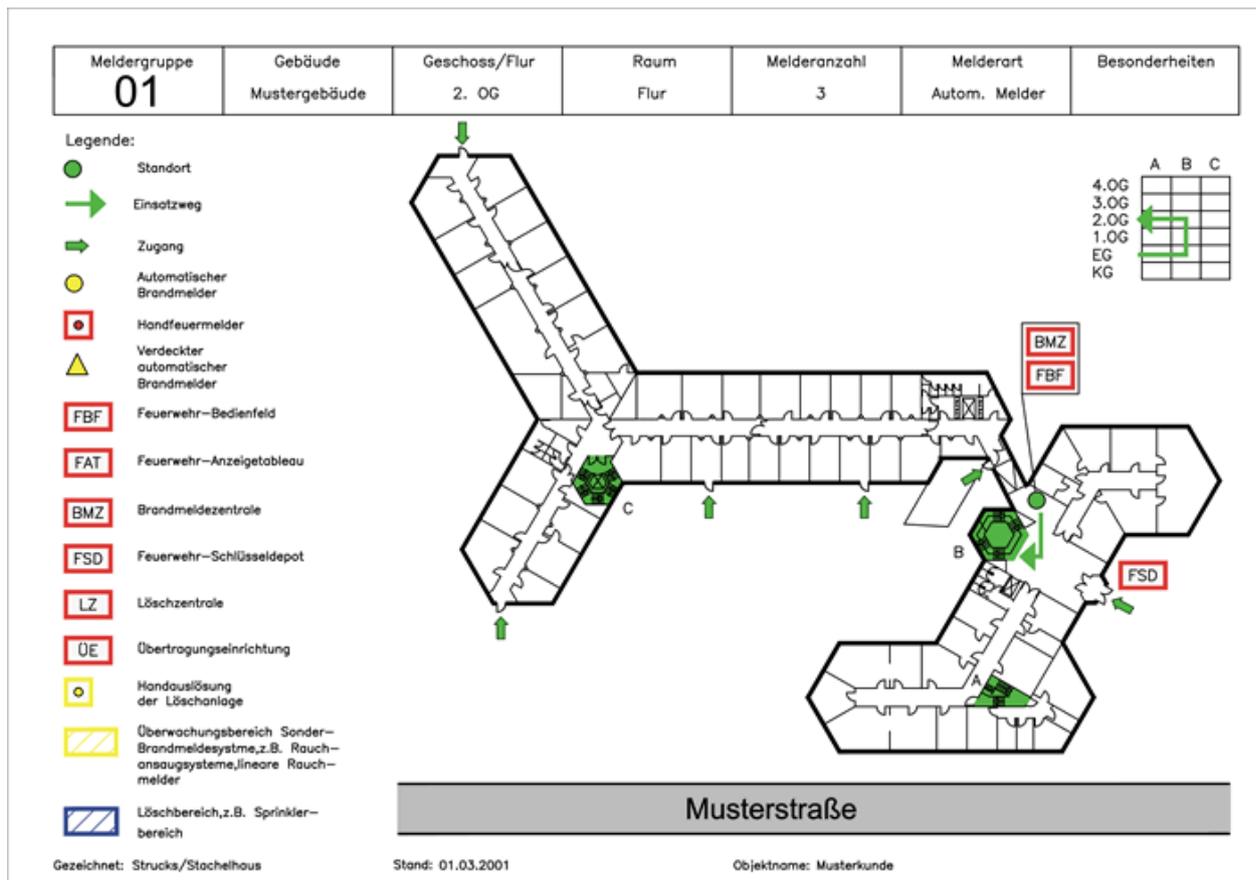


Abbildung 25: Feuerwehr-Laufkarte [Walter, 2009]

3.1.4. DIN 14095 „Feuerwehrpläne für bauliche Anlagen“

Neben Feuerwehr-Laufkarten verwenden Einsatzkräfte der Feuerwehr auch Feuerwehrpläne. Diese sind Führungsmittel und dienen der Einsatzvorbereitung und der raschen Orientierung sowie zur Beurteilung der Lage und werden meist auf der Feuerwache vorgehalten. Zur Vereinheitlichung von Feuerwehrplänen legt die [DIN-14095, 2007] Anforderungen an Bestandteile, an den Planinhalt und die Ausführung fest. Ob für eine bauliche Anlage Feuerwehrpläne erforderlich sind, richtet sich nach deren Lage, Art und Nutzung [Schatz, 2008].

Feuerwehrplan bestehen aus einem textlichen und einem grafischen Teil. Der grafische Teil umfasst in der Regel einem Übersichtsplan und mehrere Detailpläne, wie Geschosspläne oder Löschwasserrückhaltepläne. Unter bestimmten Umständen (komplette Darstellung passt auf eine Seite, keine relevanten Informationen vorhanden) kann auf eine Erstellung von Detailplänen verzichtet werden. Die Inhalte und der Aufbau des Feuerwehrplans sind mit der zuständigen Feuerwehr und/oder mit der Behörde des vorbeugenden Brandschutzes abzustimmen.

In [DIN-14095, 2007] sind Vorgaben zum Maßstab und zum Raster, zur Kennzeichnung und Darstellung der Elemente, sowie zur Beschriftung und zu Schriftfeldern vorgegeben. Grafische Symbole sind nach DIN 14034-6 und GUV-V A 8 darzustellen und müssen als Legende auf dem Plan erklärt werden. In den beiden folgenden Abbildungen sind Beispiele für Feuerwehrpläne dargestellt.

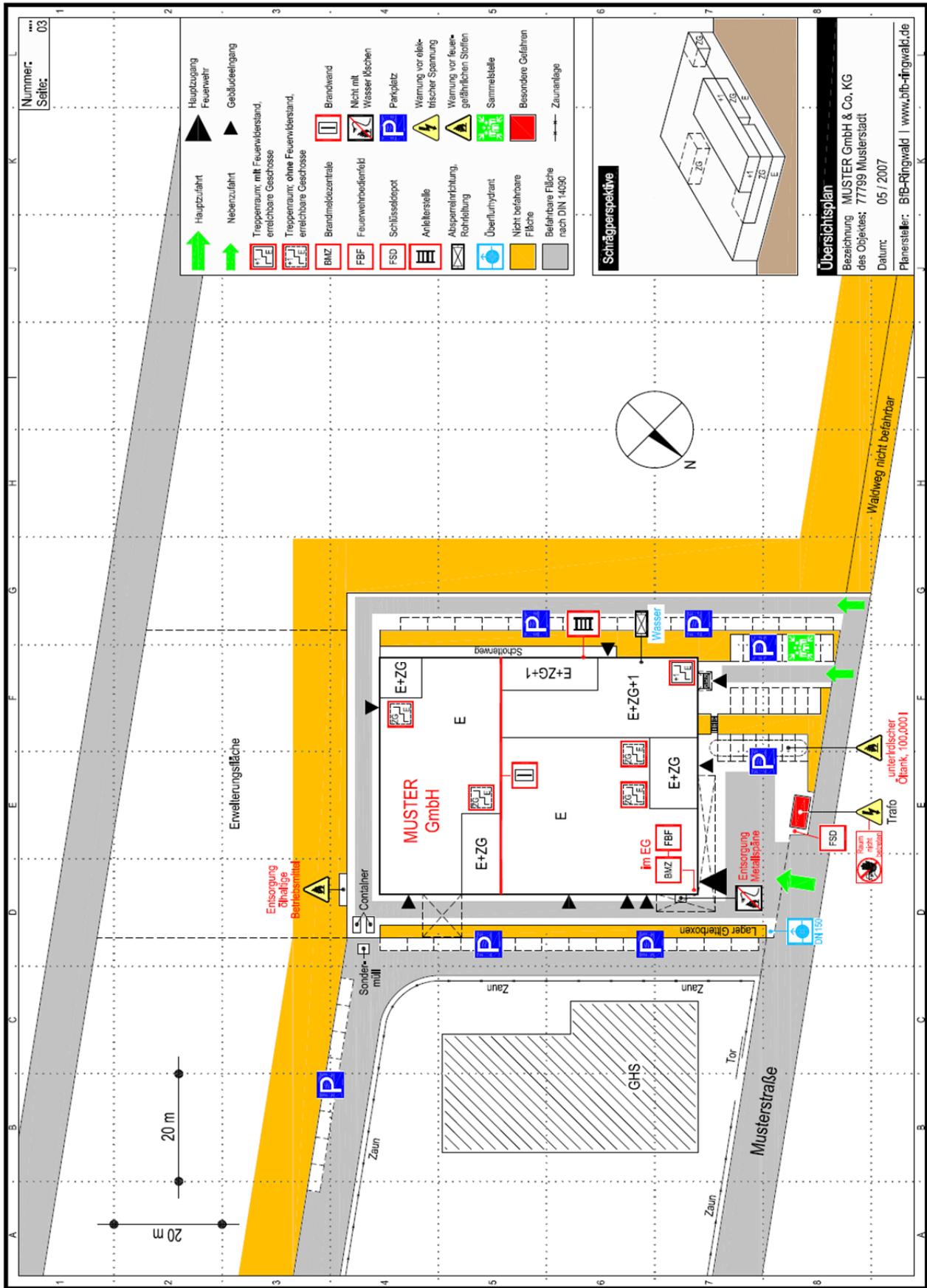


Abbildung 26: Feuerwehrplan – Übersichtsplan [de Haan, Krannich, & Landsperger, 2008]

3.1.5. DIN 4844-3 „Flucht- und Rettungspläne“

Die Art, Ausführung und Gestaltung von Flucht- und Rettungsplänen werden durch die DIN 4844-3 festgelegt.

In Flucht- und Rettungsplänen soll der Verlauf der Rettungswege, sowie die Rettungs- und Brandschutzzeichen dargestellt werden. Hierbei können Grundrisse vereinfacht wieder gegeben werden. Zusätzlich ist nach DIN 14096 Teil A die Regeln für das Verhalten im Brandfall und nach DIN 4844 Regeln zum Verhalten bei Unfällen zu integrieren, siehe Abbildung 31.

Neuerdings werden Flucht und Rettungspläne auch mit dreidimensionaler Grundrissdarstellung (Grundriss mit hochgezogenen Wänden) erstellt, bei der der Betrachter eine bessere räumliche Vorstellung bekommt und sich so gezielter orientieren kann.



Abbildung 28: Flucht- und Rettungsplan [de Haan, Krannich, & Landsperger, 2008]

3.1.6. Weitere Richtlinien und Verordnungen

Die Arbeitsstättenverordnung regelt Anforderungen an das Betreiben von Arbeitsstätten und verpflichtet Arbeitgeber dazu, Vorkehrungen zu treffen, damit sich im Betrieb Beschäftigte bei Gefahr unverzüglich in Sicherheit bringen, bzw. schnell gerettet werden können. Hierzu gehört z.B. auch die Verpflichtung zur Aufstellung von Flucht- und Rettungsplänen.

BGV A8

Darüber hinaus beschäftigt sich die berufsgenossenschaftliche Vorschrift für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit (BGV A8 / Unfallverhütungsvorschrift) mit der Sicherheits- und

Gesundheitsschutzkennzeichnung am Arbeitsplatz. Hier werden unter anderem die Rettungszeichen und Brandschutzzeichen definiert [BGV, 2002].

Während Rettungszeichen beispielsweise einen Rettungsweg oder Notausgang kennzeichnen, sind Brandschutzzeichen Sicherheitszeichen, die Standorte von Feuermelde- und Feuerlöscheinrichtungen kennzeichnen.

3.2. Brandmeldeanlagen

Wie in Kapitel 3.1.1 beschrieben, sind Brandmeldeanlagen Gefahrenmeldeanlagen, die Personen zum direkten Hilferuf bei Brandgefahren dienen und/oder Brände zu einem frühen Zeitpunkt erkennen und melden. Sie sind nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik zu planen, zu errichten und zu betreiben.

Sie unterliegen einem recht umfangreichen Katalog von Bestimmungen deren jeweils gültige Fassung zu beachten ist:

- DIN EN 54 spezifiziert die Bestandteile von Brandmeldesystemen
 Teil 1: Bestandteile automatischer Brandmeldeanlagen
 Teil 2: Brandmeldezentralen
 Teil 3: Feueralarmeinrichtungen – Akustischer Signalgeber
- DIN 14 675 Brandmeldeanlagen; Aufbau und Betrieb
- DIN 14 661 Feuerwehr-Bedienfeld für Brandmeldeanlagen
- DIN 14 662 Feuerwehr-Anzeigetableau für Brandmeldeanlagen
- DIN VDE 0800-1 Bestimmungen für die Errichtung und den Betrieb von
 Fernmeldeanlagen
- DIN VDE 0833-1 Gefahrenmeldungen – Allgemeine Festlegungen
- DIN VDE 0833-2 Gefahrenmeldungen – Festlegungen für BMA

Diese Bestimmungen werden darüber hinaus durch eine große Anzahl von Richtlinien und weiterer Normen ergänzt, insbesondere durch Regelwerke für Brandschutzeinrichtungen und Ausführungsbestimmungen für Gebäudetechnik sowie raumluftechnische Anlagen.

Die Brandmeldeanlage ist ein wesentlicher Bestandteil eines Brandschutzkonzeptes und muss mit den Maßnahmen des vorbeugenden Brandschutzes eine konzeptionelle Einheit bilden, damit der Schutz für Personen und Sachwerte gewährleistet ist.

Wenngleich das Normen- und Regelwerk viele Bände füllt, sind es doch im Wesentlichen drei Risiken, die minimiert werden sollen. An erster Stelle steht die Gefahr für Leib und Leben durch elektrische Durchströmung und Lichtbogen, des weiteren soll der Gefahr der Entstehung und Weiterleitung von Bränden sowie der Freisetzung toxischer Gase entgegen getreten werden. Als dritter Punkt steht der

Ausfall von sicherheitstechnischen Einrichtungen, der vermieden werden soll. Aus diesen drei Gefahren leiten sich die drei wichtigsten Schutzziele ab (vgl. [Stübbe, 2010]):

- Schutz von Menschen und Tieren vor den Gefahren des elektrischen Stroms,
- Schutz vor der Entstehung und Ausbreitung von Bränden,
- Zuverlässige Funktion und hohe Störfestigkeit sicherheitstechnischer Einrichtungen.

Über ihre Schutzziele und damit über ihre Aufgaben werden Brandmeldeanlagen als Gefahrenmeldeanlagen definiert. Die Aufgaben einer Brandmeldeanlage sind in der DIN 14 675 sowie in der DIN EN 54 und den VdS-Richtlinien grundsätzlich definiert als (vgl. [Rüppel & Stübbe, 2007]) :

- Frühzeitiges Erkennen von Gefahren
- Alarmierung bei Gefahr
- Melden bei Störung
- Handeln,

dazu zählt:

- automatisches Ansteuern von Brandschutz- und Betriebseinrichtungen
- schnelle Alarmierung der Feuerwehr und anderer hilfeleistenden Stellen
- eindeutiges Lokalisieren des Gefahrenbereiches und dessen Anzeige

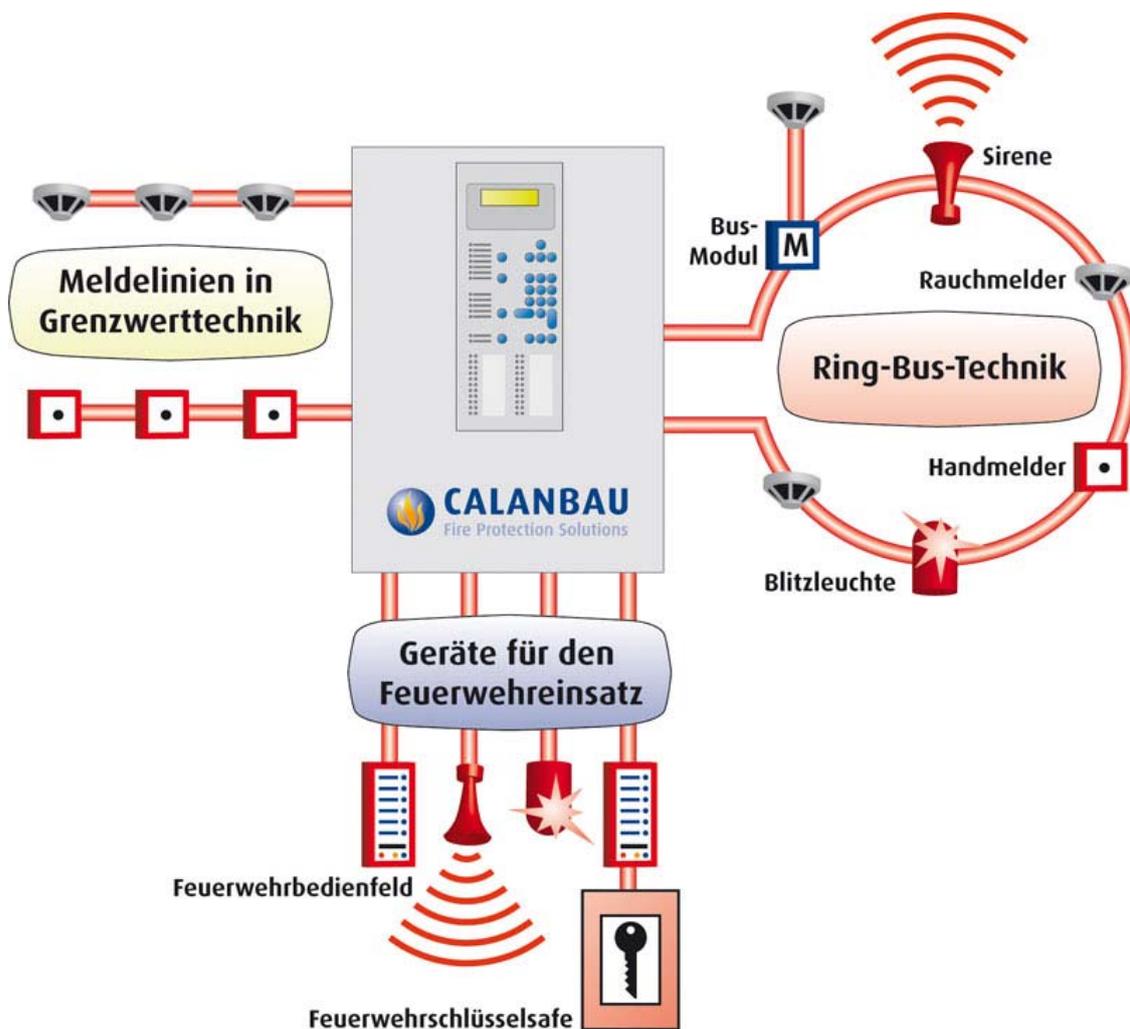


Abbildung 29: Aufbau einer Brandmeldeanlage

(Quelle: http://www.fire-protection-solutions.com/images/19_CalBrandmeldeanlage_gr.jpg)

Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden. zeigt anschaulich die einzelnen Funktionen der Brandmeldeanlage. Der Brand kann durch Personen entdeckt und durch Betätigen eines Druckknopfmelders (eines nichtautomatischen Brandmelders) an die Brandmeldezentrale (BMZ) gemeldet werden. Diese Alarmierung kann auch durch automatische Brandmelder geschehen, die Branderscheinungen durch ihre Sensoren erkennen und melden.

Eine wesentliche Aufgabe der Brandmeldeanlage ist neben dem Entdecken und Lokalisieren eines Brandes die sichere Alarmierung. Nach dem Signaleingang geschieht diese vor Ort je nach Bauweise auf optische und/oder akustische Art. Des Weiteren werden die verschiedenen Anlagen zum Löschen und zum Rauchschutz ausgelöst. Über die Übertragungseinrichtung wird die Einsatzleitzentrale und damit auch die Feuerwehr benachrichtigt, so dass auch der abwehrende Brandschutz zum Tragen kommt.

Der Auftraggeber hat mit den zuständigen Stellen die Mindestanforderungen für den Aufbau und den Betrieb der Brandmeldeanlage eindeutig zu klären und festzulegen. Hierzu zählen insbesondere die

Bauaufsichtsbehörde, Brandschutzdienststellen (z.B. Feuerwehr oder Amt für Brand- und Katastrophenschutz) und der Versicherer.

Branderkennung

Die rechtzeitige und zuverlässige Erkennung von Bränden in Wohn- und Arbeitsbereichen oder in technischen Anlagen kann Sach- und/oder Personenschäden vermeiden oder zumindest verringern.

Aufgrund steigender Komplexität moderner technischer Prozesse und Systeme nehmen mögliche Brandursachen und Brandauswirkungen zu. Gleichzeitig vergrößert sich die Bandbreite an Täuschungs- bzw. Störereignissen, die zu Fehlalarmen führen. Fehlalarme führen zum unnötigen Einsatz von Feuerwehr und Polizei und somit zu hohen Kosten.

Aufbau

Im Rahmen des anlagentechnischen Brandschutzes ist eine Brandmeldeanlage gemäß DIN EN 54-1 wie folgt strukturiert bzw. besteht aus folgenden Bestandteilen:

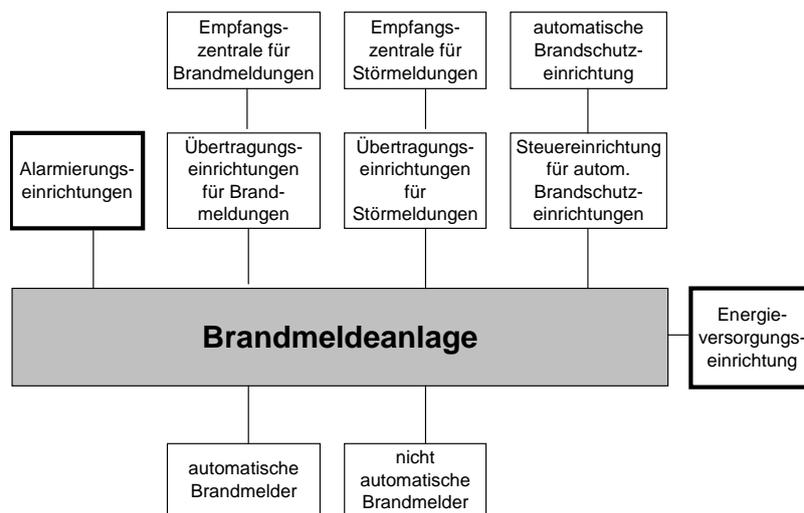


Abbildung 30: Schematische Struktur einer BMA [de Haan, Krannich, & Landsperger, 2008]

Darin enthalten sind Anlagen zur Brandvermeidung, die den Sauerstoffgehalt der Raumluft reduzieren. Die Anlagen der Branderkennung werden durch die Brandmelder (automatisch und nicht-automatisch) realisiert. Für die Alarmierung und spätere Evakuierung sind Komponenten wie Sirenen, elektroakustische Notfallwarnsysteme, Fluchttürsteuerungen, Aufzugssteuerungen, Sicherheitsbeleuchtung und Rettungswegkennzeichnung einzuplanen. Um die Rauchentwicklung bei einem Brand zu reduzieren, werden natürliche Rauch- und Wärmeabzüge, maschinelle Entrauchungen und Druckbelüftungen eingesetzt. Unter Anlagen zum Löschen versteht man mobile Löschgeräte, Sprinkleranlagen, Sprühnebellöschanlagen und Gaslöschanlagen. Vervollständigt werden diese Anlagen durch Komponenten, die den Einsatz der Feuerwehr unterstützen, wie Feuerwehraufzüge, Gebäudefunk, Anzeigetableau und Laufkarten [Gerber, 2006].

Zu den abgebildeten Komponenten gehören auch die Verbindungen zwischen den Bestandteilen. Diese Leitungen haben bestimmte Anforderungen bezüglich Verfügbarkeit und Überwachung zu erfüllen.

Brandmeldeanlagen sind nach DIN VDE 0833-1 zu betreiben. Zum Betrieb gehört die Fortschreibung der Alarmorganisation sowie das Aktualisieren und Vervollständigen der Feuerwehr-Laufkarten. Die Dokumentation von Feuerwehreinsatzplänen und Feuerwehr-Laufkarten nach der DIN 14 095 sowie die Visualisierung von Brandschutzkonzepten sind zu aktualisieren. Brandmeldeanlagen müssen ständig betriebsbereit gehalten werden. In regelmäßigen Abständen muss eine Prüfung und Wartung veranlasst werden.

Sensoren für die Brandkenngrößen

In heutigen Brandmeldeanlagen werden entsprechend den Brandkenngrößen - Rauchpartikel, Temperaturänderung oder Strahlung - Rauchmelder, Wärmemelder (Temperatursensoren) oder Flammenmelder einzeln oder in Kombination eingesetzt.

Rauchmelder (Abbildung 31:) sprechen auf die Brandparallelerscheinung Rauch an. Bei der Installation von Rauchmeldern ist die Raumgeometrie zu beachten. Es muss sichergestellt werden, dass der Rauchmelder bereits in der Anfangsphase eines Entstehungsbrandes von einer ausreichend hohen Rauchkonzentration erreicht wird. Sie werden zur Überwachung von Kabelkanälen, Schächten, Lüftungsleitungen und Klimaanlage eingesetzt. Es besteht das Risiko, dass betriebsbedingt auftretender Feinstaub Fehlalarm auslösen kann.



Abbildung 31: Rauchmelder (Quelle: <http://www.elektrofachmarkt-online.de/Media/Shop/701151.jpg>)

Wärmemelder sprechen auf eine Temperaturerhöhung an. Es handelt sich hierbei um ein sehr träge reagierendes System, das Brände mit geringer Heizleistung (z.B. Schwelbrände) gar nicht oder relativ spät anzeigt. Sie werden daher vorwiegend in staubigen Werkstätten und Bewirtschaftungsräumen von Gaststätten angewendet, in denen Rauchmelder nicht eingesetzt werden können.

Flammenmelder sprechen auf die von Bränden ausgehende Strahlung an. Hierbei wird sowohl der infrarote Bereich (IR-Flammenmelder) als auch der ultraviolette Bereich (UV-Flammenmelder) des von einem Feuer ausgehenden Strahlungsspektrums zur Branderkennung genutzt. Das Anwendungsgebiet ist allerdings begrenzt, da energiereiche Strahlung und Rauch sowie einige Industriegase das Ansprechverhalten verändern. Ihre Anwendung erstreckt sich auf die Überwachung sauberer Arbeitsbereiche, in denen im Brandfall mit offener Flamme gerechnet werden muss.

3.2.1. Signalverarbeitung

Die Signalverarbeitung heutiger Brandmelder basiert auf dem Schwellwertverfahren. Dabei wird beim Über- oder Unterschreiten einer vorher definierten Schwelle Alarm ausgelöst. Diese Art der Signalverarbeitung führt zu physikalisch bedingten Fehlalarmen. Dieser Effekt ist typisch für Rauchmelder, die keinen Unterschied zwischen Rauchpartikeln eines Brandes oder eines Störereignisses, wie z. B. Tabakrauch, erkennen können. Eine mögliche Lösung kann durch die Verschiebung der Alarmschwelle verwirklicht werden. Das führt entweder zu höheren Detektionsgeschwindigkeiten mit höheren Fehlalarmraten oder umgekehrt.

Die Messkammer der Rauchmelder ist generell einer Verschmutzung ausgesetzt. Dies führt zu Empfindlichkeitsänderungen sowie zur Verringerung des Abstandes zwischen Ruhewert und der Alarmschwelle der Melder. Das wiederum führt im ungünstigsten Fall zu einem Fehlalarm, wenn die Veränderung des Ruhesignals die Alarmschwelle erreicht. Dieses Problem kann durch Austausch gelöst werden, was allerdings mit einem hohen Kostenaufwand verbunden ist. Eine weitere Möglichkeit stellt die digitale Nachführung des Ruhewertes dar [Derbel, 2002].

Zur Erhöhung der Detektionssicherheit von Brandmeldern wurde die Betrachtung des Zeitfaktors unter der Voraussetzung eingeführt, dass ein Störereignis einmal innerhalb einer kurzen Beobachtungsspanne auftritt. Somit wird ein Alarm erst ausgelöst, wenn das Ereignis in mehreren Beobachtungsspannen auftritt. Dies führt zu niedrigen Detektionszeiten.

3.2.2. Fehlalarme

Ein Fehlalarm ist ein durch eine falsche Information erfolgte Alarmierung, die zu keinem notwendigen Einsatz führt und kann durch einen Irrtum oder eine bewusste Irreführung erfolgen. Diese irrtümliche Alarmierung kann beispielsweise durch schlecht eingestellte Sensoren einer Brandmeldeanlage erfolgen, aber auch durch ungewollte Aktivierung, wenn ein Rauchmelder z. B. auf Zigarettenqualm anspricht.

Heutige Brandmelder basieren hauptsächlich auf der Detektion von Rauchpartikeln und Wärmeentwicklung. Die Brandmelder können zwischen den Rauchpartikeln eines echten Brandes und Störereignissen, wie eben Tabakrauch, nicht unterscheiden. Außerdem tritt eine Temperaturerhöhung

oder eine höhere Rauchpartikelkonzentration am Brandmelderort erst nach längerer Zeit ein. Das führt bei Schwelbränden zu langsamen Reaktionen der Brandmelder. Da viele Brände mit der Verbrennung organischer Stoffe beginnen, entstehen besonders am Anfang eines Brandes verschiedene Gase. Diese Gase können als zusätzliche Brandkenngröße zur Brandfrüherkennung herangezogen werden. Der Vorteil liegt darin, dass Gase schneller als Rauchpartikel diffundieren und in unterschiedlicher Konzentration bei Brandfällen und Störereignissen entstehen.

Belastbare Aussagen über Fehllarme sind auf Grund der unterschiedlichsten Alarmursachen und der sensiblen Daten aus dedizierten Brandmeldeanlagen nur schwer zu erhalten. Aus [Friedl, 1998] ist zu entnehmen, dass aus einer Untersuchung Anfang der neunziger Jahre bei der norddeutschen Feuerwehr lediglich 3,4 % der Alarmierungen durch Brandmeldeanlagen auch tatsächlich begründet waren. Andere Aussagen sprechen von 8,5 % realer Alarme im Bezug auf Industriebetriebe.

Vor dem Hintergrund des volkswirtschaftlichen Nutzens von Brandmeldeanlagen wird jedoch häufig übersehen, dass aufgrund der damit wachsenden Zahl von Fehllarmen die Leistungsfähigkeit der Hilfskräfte in erheblichen Maß belastet wird. Zwar stieg in den letzten Jahren, nicht zuletzt durch die Verwendung moderner Technologien, die Zahl der Falschmeldungen unterproportional an, dennoch ist angesichts der weiter steigenden Anlagenzahl eine Reduzierung der Falschmeldungen zwingend erforderlich.

Am Frankfurter Flughafen gibt es verschiedene Anlagen, die je nach Alter des Gebäudes auf unterschiedlichem technischen Stand sind. Über das Jahr verteilt gibt es ca. 5000 Alarme von denen ca. 3500 in Gebäuden registriert werden. Nach dem Ausrücken stellen sich ungefähr 95 % davon als Fehllarme heraus. Aus diesem Grund ist es wichtig, die notwendigen Einsätze – insbesondere auch im Ernstfall – zu beschleunigen, weil jeder Einsatz einen hohen Zeit- und Kostenaufwand bedeutet. Die Zeitreduktion bis zum Erreichen des Einsatzortes erhöht dabei grundsätzlich die Sicherheit für Retter und Opfer.

3.3. Struktur und Einsatzablauf

Neben den Gesetzesgrundlagen für Einsatzabläufe und den Ausführungen über Brandmeldetechnik soll nachfolgend auch der Einsatz von Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben am Beispiel der Flughafenfeuerwehr des Frankfurter Flughafens erläutert werden.

Bei der Klassifizierung von Einsätzen unterscheidet man gemäß Federal Emergency Management Agency [FEMA, 2008] folgende Phasen der Gefahrenabwehr:

- Vorbeugung (Mitigation), bspw. durch bauliche Maßnahmen
- Vorbereitung (Preparedness), bspw. durch Notfallübungen
- Abwehr (Response) von Gefahren nach dem Eintritt eines Unglücks

-
- Erholung (Recovery), bspw. durch Nachsorgemaßnahmen in Kliniken

Vorbeugung wird bei Fraport durch den baulichen und organisatorischen Brandschutz sichergestellt, wohingegen die Einsätze der Flughafenfeuerwehr in den abwehrenden Brandschutz fallen. Hierfür ist die Feuerwehr in verschiedene Einheiten unterteilt.

3.3.1. Feuerwehreinheiten

Um die Feuerwehreinsatzkräfte im Einsatzfall leiten zu können, bedarf es einer straffen Organisation. Die wichtigsten Organisationseinheiten werden nachfolgend dargestellt [DIN-V-14011]:

Trupp

Der Trupp ist die kleinste taktische Einheit. Eine taktische Einheit entspricht der Kombination von Personen und Gerät nach taktischen Gesichtspunkten zur selbstständigen Durchführung bestimmter Einsätze. Es gibt zwei Arten von Trupps: Der eine ist keine selbständige operierende Einheit, besteht aus einem Truppführer und einem Truppmann und ist Bestandteil der Staffel oder Gruppe. Daneben gibt es noch den selbstständigen Trupp, der aus zwei Truppmännern besteht und von einem Truppführer geführt wird.

Staffel

Eine Löschstaffel besteht aus sechs Personen. Sie setzt sich aus einem Maschinisten, einem Angriffstrupp, einem Wassertrupp und einem Staffelführer zusammen.

Gruppe

Die Gruppe ist die taktische Grundeinheit der Feuerwehr und ist eine Staffel, die um einen Schlauchtrupp und einen Melder erweitert worden ist. Sie besteht demnach aus neun Personen. Sie kann aus der Besatzung eines Fahrzeuges gebildet werden.

Zug

Der Zug ist die größte reguläre taktische Einheit und besteht aus zwei Gruppen. Zusätzlich bilden Zugführer, Führungsassistent (Stellv. Zugführer), Kraftfahrer und Melder den sogenannten Zugtrupp.

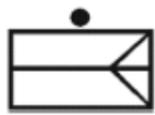
Verband

Beim Zusammenwirken eines Zuges mit anderen Zügen oder Trupps wird von einem Verband gesprochen. Geführt wird dieser von einem Verbandsführer, der meistens von einer Führungsstaffel oder einer Führungsgruppe unterstützt wird.

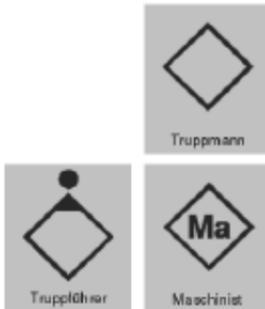
Einen Überblick über die Struktur der Feuerwehreinheiten ist in der nachfolgenden Abbildung dargestellt.

Taktische Zeichen der Katastrophenschutzorganisationen - hier mit Beschriftung für Feuerwehren

Trupp (selbstständig)



=



-/1/2/3

Staffel



=

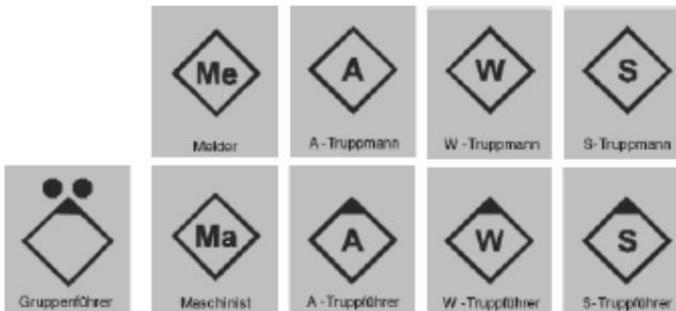


-/1/5/6

Gruppe

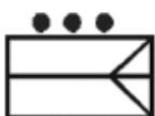


=

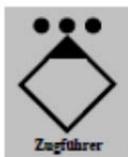


-/1/8/9

Zug



=



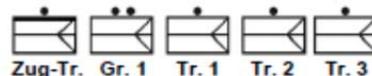
+

Teileinheiten, z.B.



1/3/18/22

oder



1/5/16/22

□ - taktische Einheit
◇ - Person

◁ - Einheit für Brandbekämpfung/Löscheinsatz, inkl. Retten
⚙ - Einheit für Technische Hilfeleistung, inkl. Retten

Quellen: FwDV 3 des AFKzV & DV 102 der SKK

Stand: August 2006

Layout ©: www.feuerwehr-schwallungen.de

Abbildung 32: Organisationseinheiten der Feuerwehr (Quelle: http://www.feuerwehr-schwallungen.de/dokumente/Taktische_Zeichen_Feuerwehr.pdf)

3.3.2. Einsatzablauf

Die Vermeidung von Personen- und Sachschäden und die Gewährleistung der Brandsicherheit in Gebäuden und auf dem Vorfeld - dies sind die Aufgaben beim abwehrenden Brandschutz. Hierbei werden nach [Meißner & Steinebach, 2003] folgende Phasen eines Einsatzes durchlaufen:

- Notrufannahme
- Disposition der Einsatzkräfte
- Alarmierung der Einsatzkräfte
- Einsatzsteuerung
- Maßnahmen zur Bekämpfung der Gefahr

Die Feuerwehr kann durch einen Telefonanruf von Personen, durch die Betätigung eines Druckknopfmelders (nicht automatischer Brandmelder) oder automatisiert durch Brandmelder alarmiert werden. Der Einsatzablauf am Flughafen Frankfurt bei einer Alarmierung durch einen Brandmelder ist in Abbildung 33: dargestellt.



Abbildung 33: Einsatzablauf [Stübbe, 2010]

Der Frankfurter Flughafen mit einer ca. 4.000.000 m² Gebäudefläche verfügt über ca. 50.000 automatische Brandmelder, die in sogenannten Meldelinien (ca. 3300) zusammengefasst werden. Für jede Meldelinie existiert i.d.R. eine Feuerwehr-Laufkarte, die in einem Laufkartenkasten in dem jeweiligen Gebäude am Angriffspunkt der Feuerwehr (i.d.R. Brandmeldezentrale) aufbewahrt wird. In neueren Gebäuden (z. B. im Terminal 2), existiert statt einer Feuerwehr-Laufkarte ein Brandmeldetableau. Auf diesem ist der Gebäudegrundriss dargestellt und der ausgelöste Melder durch LED gekennzeichnet (siehe Abbildung 34:). Die Orientierung mit Hilfe eines Brandmeldetableaus ist in der Regel schwieriger, da kein Grundrissplan auf dem Weg durch das Gebäude mitgenommen werden kann.



Abbildung 34: Brandmeldetableau [Wikipedia]

Jede Meldelinie bei der Fraport AG ist mit einer der 230 Brandmeldezentralen (BMZ) verbunden. Im Alarmfall wird von der angeschlossenen BMZ das Signal an die Einsatzleitstelle der Feuerwehr weitergeleitet. Dort wird aus einem Registerschrank (siehe Abbildung 35:.) eine Anfahrtskarte für die Anfahrt zum Angriffspunkt am Gebäude gezogen.



Abbildung 35: Anfahrtkarten-Register

Bei Erreichen des Zentralen Angriffspunktes am Gebäude informiert sich die Feuerwehr an der Brandmeldezentrale über den ausgelösten Brandmelder, dort entnimmt sie aus einem Laufkartendepot die passende Laufkarte, mit dieser kann sich der Einsatztrupp vor Ort orientieren und sich seinen Weg durch das Gebäude suchen.

3.4. Techniküberblick

Eines der wichtigsten technischen Geräte für die Einsatzkräfte der Feuerwehr ist das Atemschutzgerät, das dazu dient, in verrauchten Umgebungen atmen zu können. Daneben werden zunehmend Wärmebildkameras eingesetzt, die es ermöglichen, Personen auch in verrauchten Umgebungen zu erkennen. Diese werde nachfolgend näher beschrieben. Dieses Kapitel basiert auf den Darstellungen in [Stübbe, 2010].

3.4.1. Atemschutz

Die Aufgaben und der Umgang mit technischen Hilfsmitteln sind in Vorschriften geregelt. Daher gibt es auch für den Atemschutz eine eigene Feuerwehrdienstvorschrift, kurz FwDV 7. Diese Dienstvorschrift regelt unter anderem die Anforderungen an Atemschutzgeräteträger, die Aus- und Weiterbildung, die Abläufe im Einsatz und die Instandhaltung der Geräte. Weitere Bestimmungen, gerade in Sachen Unfallschutz, liefern Vorschriften der Unfallkassen.

Geräte

Für den Atemschutz wird die notwendige Atemluft in Druckluftflaschen „gespeichert“, daher werden sie auch als Pressluftatmer (PA) bezeichnet. Hierbei ist zu beachten, dass es sich bei der komprimierten Luft um besonders gereinigte und entölte Atemluft nach DIN EN 12021 handelt und die Behälter daher als Atemluftflaschen bezeichnet werden.

Feuerwehren verwenden unterschiedliche Geräte, die zum einen nach Einsatzdauer und zum anderen nach dem Funktionsprinzip unterschieden werden. Alle Geräte sind jedoch Isoliergeräte, das bedeutet

sie bedienen sich des Flascheninhalts zur Luftversorgung, weshalb man sie auch als umluft-unabhängige Atemschutzgeräte bezeichnet. Sie dürfen dabei, unabhängig vom Typ, maximal 19 kg wiegen.

Unterschieden wird bei der Einsatzdauer zwischen Langzeitatemschutzgeräten und Normalzeitgeräten. Ein Normalgerät ist für eine Einsatzdauer von ca. 30 Minuten, ein Langzeitatmer für ca. 60 Minuten vorgesehen, siehe Abbildung 36:



Abbildung 36: Links Langzeitgerät, rechts Normalzeitgerät.

Einsatzgrundsätze

Die Feuerwehrdienstvorschrift nennt einige Einsatzgrundsätze, die der Atemschutzträger beachten muss, wenn er Atemschutzgeräte tragen möchte.

Jeder Atemschutzgeräteträger ist für seine eigene Sicherheit selbst verantwortlich. Dies bedeutet, dass er sicherstellen muss, dass er seine Schutzkleidung vollständig anlegt und das Atemschutzgerät auf einwandfreie Funktion überprüft hat. Diese so genannte Einsatzkurzprüfung stellt sicher, dass die akustische Restdruckwarneinrichtung funktioniert. Sie gibt bei 55 bar \pm 5 bar Flaschendruck einen akustischen Warnton aus. Dies ist der Zeitpunkt, an dem der Atemschutzgeräteträger den Rückzug antreten muss.

Darüber hinaus gilt: Einfacher Hinweg ist doppelter Rückweg. Dies bedeutet, dass die Einsatzkraft bei einem Verbrauch von 40 bar auf dem Weg zum Brandort, spätestens bei 80 bar Restdruck den Rückweg anzutreten hat. In einem Trupp ist die Einsatzkraft mit dem höchsten Luftverbrauch maßgebend.

Darüber hinaus ist es wichtig, zwischen mehreren Atemschutzeinsätzen Ruhepausen einzulegen, da der Körper stark belastet wird. Hierfür ist jeweils die vorhergegangene Einsatzzeit als Ruhepause

vorgeschrieben. Darüber hinaus muss der Flüssigkeitsmangel, hervorgerufen durch Schweißbildung, ausgeglichen werden.

Jeder Atemschutztrupp muss grundsätzlich mit einem Handsprechfunkgerät ausgestattet sein. Hierbei muss die Funkverbindung sichergestellt sein. Das Funkgerät stellt sicher, dass im Notfall eine Meldung gegeben werden kann. Um weitere Schritte planen zu können, sind Rückmeldungen für den Einsatzleiter notwendig.

Sicherungstrupp

Gemäß der Feuerwehrdienstvorschrift 3 (FwDV3), die den Atemschutzeinsatz der Feuerwehren regelt, muss bei jedem Einsatz, bei dem Atemschutz verwendet wird, für jeden Angriffsweg ein so genannter Sicherungstrupp zur Verfügung stehen, um bei einer Notsituation umgehend eingreifen zu können.

Der Sicherungstrupp muss unverzüglich nach Eingang einer Notfallmeldung aktiv werden können. Hierzu ist es unerlässlich, dass auch Feuerwehrkräfte, die diese Aufgabe wahrnehmen, voll ausgerüstet mit angelegter Atemschutzmaske und einsatzklarem Atemschutzgerät in Reichweite des betroffenen Bereiches auf ihren Einsatz warten.

Nach Aktivwerden hat der Trupp zunächst die Aufgabe den in Not geratenen Trupp aufzufinden und die Lage vor Ort zu stabilisieren. Dies bedeutet vor allem, die Luftversorgung für den Betroffenen sicherzustellen.

Anschließend gilt es, den verunfallten Trupp unverzüglich und ohne große Umwege aus dem Gefahrenbereich zu bringen, um eine mögliche medizinische Versorgung einleiten zu können.

Zum Auffinden von Personen im Gebäude werden zunehmend auch Wärmebildkameras eingesetzt, diese werden nachfolgend dargestellt.

3.4.2. Wärmebildkamera

Eine Wärmebildkamera (auch als Thermografie-Kamera bezeichnet) ist ein bildgebendes Gerät ähnlich einer herkömmlichen Kamera, das Infrarotstrahlung empfängt, die von Personen und Objekten ausgestrahlt wird. Wärmebildkameras lassen sich universell bei vielen Einsätzen nutzen. Sie ermöglichen auch bei verrauchten Umgebungen eine Sicht von einigen Metern (siehe Abbildung 37:).



Abbildung 37: Wärmebildkamera [Stübbe, 2010]

Gerade bei Brandeinsätzen lassen sich hiermit verletzte Personen leichter auffinden und sie dienen der Sicherheit der vorgehenden Einsatzkräfte. So verkürzt sich die Zeit bis zum Auffinden einer vermissten Person in verqualmten Bereichen um bis zu 75% [Gefas, 2008].

Während sich Wärmebildkameras in Deutschland erst seit wenigen Jahren durchsetzen, sind sie in den USA seit längerem Standard. So wurde 2001 in Kalifornien beschlossen, jede Feuerwehr unabhängig von Größe und Einsatzaufkommen mit einer Wärmebildkamera auszustatten. In Deutschland verfügen momentan vorwiegend größere Feuerwehren über eine Wärmebildkamera.

Weiter verbreitet als Wärmebildkameras sind diverse Geräte zur Eigenschutzrüstung auf die im nächsten Abschnitt eingegangen wird.

3.4.3. Eigenschutzrüstung

Viele Feuerwehren ergänzen die vorgeschriebene Ausrüstung um das ein oder andere nützliche Utensil, welches dem Eigenschutz dienlich sein kann.

Sehr weit verbreitet sind so genannte Notsignalgeber, umgangssprachlich auch „Totmannwarner“ genannt. Diese Geräte bestehen aus einem Sensor, der auf Bewegung reagiert, und einer akustischen und optischen Warnmöglichkeit in Form eines Lautsprechers bzw. blinkender LED Anzeigen. Sie werden mittels eines Sicherungsstifts zu Beginn des Einsatzes durch einfaches Abziehen aktiviert.

Eine Aktivierung des Warntons erfolgt im Falle der Bewusstlosigkeit des Feuerwehrmanns automatisch. In diesem Fall erkennt der Sensor ein Nichtbewegen des Gerätes, resultierend aus der Bewusstlosigkeit der betroffenen Person. Nach 10 Sekunden wird ein Voralarm ausgelöst. Sollte sich der Träger darauf hin nicht rühren, wird nach spätestens 30 Sekunden der Vollalarm ausgelöst.

Sollte der Feuerwehrmann bemerken, dass er sich in einer Notlage befindet, kann er über einen Taster manuell den Alarm auslösen. Es ertönt sofort ein ohrenbetäubender Warnton.

3.4.4. Mobile Endgeräte in der Feuerwehrpraxis

Im Jahr 2004 wurde die Leitstelle der Werkfeuerwehr der Technischen Universität München vollständig modernisiert [Sollinger, 2004]. Hierbei wurde eine Lösung mit mobilen Endgeräten (Tablet-PC) eingeführt, die Einsatzleiter mit aktuellen Informationen versorgt. Diese umfassen sowohl einsatzspezifische als auch allgemeine Informationen. Hierbei werden Informationen in einem digitalen Aktenordner [Schmidt & Sollinger, 2005] verwaltet, der mit dem zentralen Server synchronisiert wird. Das Einsatz-Informationen-System (EIS) ist eine Eigenentwicklung und umfasst folgende Informationsbereitstellung.

- Feuerwehreinsatzpläne als Pixelgrafik

-
- Rufbereitschaftslisten
 - Objektinformationen
 - Stadtpläne
 - Gefahrgutauskunftsdateien
 - Atemschutzüberwachung
 - Einsatzleiterhandbuch
 - Verzeichnis aller „Standing Orders“ (Verfahrensanweisungen)

Beim EIS handelt es sich um ein reines Informationsverwaltungs- und Bereitstellungssystem. Eine Kommunikation mit den Einsatzkräften oder eine Personenortung sind nicht vorgesehen.

Tablet-PCs oder Toughbooks (Outdoor-Notebooks) werden auch von der Feuerwehr Düsseldorf und der Feuerwehr Frankfurt eingesetzt, auch hier werden Pläne als Bilddateien und Gefahrstoffkataster verwendet.

Zur Kommunikation verwenden Feuerwehren den BOS-Funk, der im nächsten Kapitel dargestellt wird.

3.5. BOS-Funk

Derzeit verwenden Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BOS) zur Kommunikation bei Einsätzen den analogen BOS-Funk, einen nichtöffentlichen mobilen UKW-Landfunkdienst (nömL). In Deutschland werden hierfür Trägerfrequenzen im 4m Band (74 MHz bis 88 MHz) für die Fahrzeugkommunikation und im 2m Band (167 MHz bis 174 MHz) für die Kommunikation an der Einsatzstelle verwendet. In diesen Frequenzbereichen gibt es mehrere Kanäle aus denen für jeden Einsatz ein freier Kanal ausgewählt wird, der auf allen Funkgeräten eingestellt werden muss.

Die Probleme der derzeitigen analogen Funktechnik sind vielfältig: Alle Teilnehmer auf dem Kanal können mithören (Broadcast). Einzelne Teilnehmer werden über Funknamen angesprochen, daher muss den anderen Teilnehmern der Name bekannt sein, wenn sie einen Teilnehmer ansprechen wollen. Dies führt zu Problemen, wenn zusätzliche Trupps eingebunden werden müssen. Dieses System setzt voraus, dass alle Teilnehmer immer aufmerksam sein müssen, ob sie gerufen werden. Die schlechte Skalierbarkeit der Sprachkommunikation zeigt sich besonders deutlich, wenn zu viele Teilnehmer auf dem gleichen Kanal funken und jeder Teilnehmer die für ihn relevanten Informationen herausfiltern muss. Hinzu kommt, dass der Sprechfunk unverschlüsselt übertragen wird. Zur Nachvollziehbarkeit und Dokumentation müssen Protokolle über proprietäre Stenografiemethoden erstellt werden.

Die Übermittlung der Daten ist nur anhand von einfachen Statusmeldungen möglich. Das Funkmeldesystem (FMS) ermöglicht nur die Übertragung von fest vorgegebenen Kurznachrichten, die

als Ziffern oder Buchstaben codiert sind. Der analoge BOS-Funk dient hierbei immer als Übertragungsmedium für die Informationen [Marten, 1995].

Innerhalb von größeren Gebäuden ist aufgrund der Abschirmung durch Mauerwerk und Stahlbeton oft kein Empfang möglich. Daher müssen diese Gebäude mit so genannten Gebäudefunkanlagen ausgestattet werden. Speziell hierfür installierte Antennen in Gebäuden ermöglichen im Einsatzfall eine Kommunikation zwischen Handgeräten der Einsatzkräfte im Gebäude und den Funkgeräten von Einsatzwagen und Einsatzleitung außerhalb des Gebäudes.

Aufgrund der vielfältigen Probleme der analogen Funktechnik wurde nach langjähriger Planung der Aufbau eines einheitlichen, digitalen Sprech- und Datenfunksystems beschlossen. Zur bundesweiten Koordinierung der Einführung des Digitalfunks wurde die Bundesanstalt für den Digitalfunk der Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben errichtet [Corte, 2009].

Derzeit werden bundesweit die ersten Netzabschnitte aufgebaut, eine Übersicht über den aktuellen Stand wird in der nachfolgenden Abbildung dargestellt.

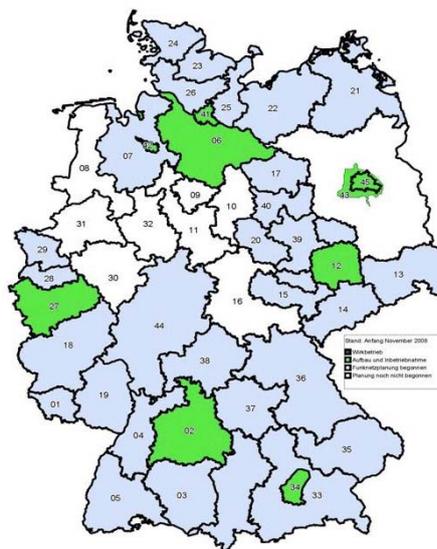


Abbildung 38: Stand des digitalen BOS-Netzaufbaus Ende November 2008,
Quelle www.bdbos.bund.de

(grün: im Aufbau; hellblau: Funknetzplanung begonnen; weiß: Planung noch nicht begonnen)

Die Funktionsweise des digitalen BOS-Tetra¹-Funks ähnelt der des GSM-Funknetzes. Hierbei werden Frequenzen zwischen 380 und 400 MHz verwendet. Bundesweit werden Basistationen (in Hessen mehr als 400) aufgebaut. Diese ermöglichen die Kommunikation über Ländergrenzen hinweg. Analog zu Mobiltelefonen lassen sich einzelne Teilnehmer direkt ansprechen und zusätzlich dynamisch Gruppen bilden. Die an einem Einsatz teilnehmenden Einheiten können so zu einer Gruppe zusammen

¹ Terrestrial Trunked Radio (Terrestrisches Bündelfunksystem)

gefasst werden. Nachrichten können direkt an diese Gruppe gesendet werden und die Erweiterung um weitere Einheiten ist möglich, da die Gruppe um weitere Teilnehmer erweitert werden kann.

Die schmalbandige Sprach- und Datenübertragung von Tetra zeichnet sich durch einen schnellen Verbindungsaufbau, hochwertige Sprachqualität sowie eine Reihe von Sicherheitsmaßnahmen, wie Verschlüsselungs- und Authentisierungs-Mechanismen, aus [Projekt Digitalfunk BOS Hessen Newsletter, 2008].

Das Funknetz wird von den Organisationen zusammen betrieben und nicht mehr von Landkreisen geplant. Hierdurch kommt es nicht mehr zu einer Überschneidung der Netze und diese sind strukturiert gegliedert.

In Hessen sind die Branddirektion Frankfurt (Feuerwehr und Rettungsdienst) und die Polizeidirektion Wiesbaden als Pilotdienststellen vorgesehen. Im Frühjahr 2010 ist ein weiteres Pilotprojekt in Kassel geplant. Der Aufbau des Netzes soll nach derzeitigen Planungen bis Ende 2010 abgeschlossen sein. Hierbei sollen 98% der Landfläche Hessens so versorgt werden, dass eine Fahrzeugkommunikation möglich ist. Die Versorgung für Handsprechfunkgeräte ist mit 85% der Landesfläche geplant [Projekt Digitalfunk BOS Hessen Newsletter, 2008].

Neben dem reinen Sprechfunk ist auch die Möglichkeit der schmalbandigen Datenübertragung vorgesehen. Vergleichbar der SMS gibt es die SDS (Short Data Service), um Kurznachrichten mit wenigen Zeichen zu übertragen. Darüber hinaus gibt es eine IP-basierte Paketdatenübertragung („IP-über-TETRA“) mit einer Rate von bis zu 3,0 kBit/s² [BDBOS, 2008]. Dies ist im Vergleich zu GPRS (bis 40 kBit/s), UMTS (bis 384 Kbit/s, bzw. HSPDA³ 7,2 MBit/s) oder WLAN (11MBit/s) sehr gering und ermöglicht nur die Übertragung von einfachen Zeichenketten.

Von EADS Defence&Security wurde TEDS (Tetra enhanced Data Service) entwickelt, diese Technologie soll in Zukunft Datenübertragungsraten von bis zu 300Kbit/s [Kaszynski, 2008] ermöglichen. Derzeit wird diese Technologie jedoch erst entwickelt, mit ersten Endgeräten ist frühestens ab Ende 2010 zu rechnen (siehe Abbildung 39:).

² Mittlere Datenübertragungsrate

³ High Speed Downlink Packet Access wird derzeit z. B. im Netz von Vodafone und T-Mobile verwendet.

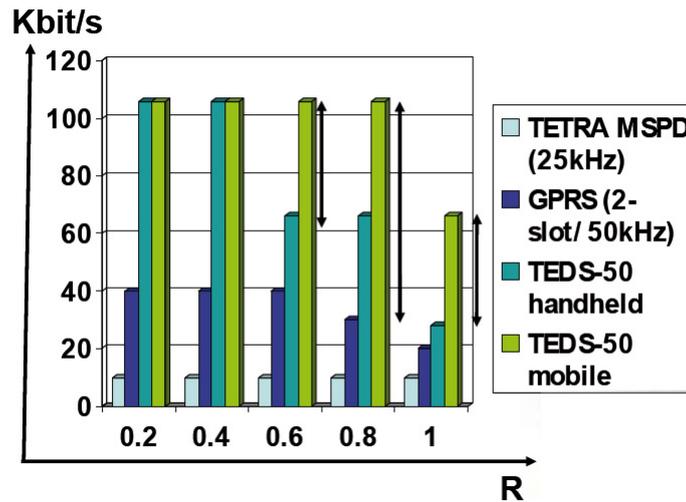


Abbildung 39: Datenraten BOS-Funk [Kaszynski, 2008]

Die derzeitige Übertragungsrate erlaubt nur die Übermittlung kurzer Textnachrichten, eine Übertragung von größeren Datenmengen, wie beispielsweise Gebäudepläne oder regelmäßige Positionsmeldungen (jede Sekunde von mehreren Trupps) sind hiermit nicht realisierbar. In Zukunft wäre jedoch mit TEDS auch über Übermittlung komplexer Daten denkbar.

Damit der Digitalfunk für Feuerwehr- und Polizeieinsätze auch in komplexen Gebäuden funktioniert muss die so genannte „Inhouse-Versorgung“ sicher gestellt werden. Hierfür ist es erforderlich, Verstärkeranlagen – so genannte „Repeater“ – zu installieren. Somit ist es erforderlich bestehende Gebäudefunkanlagen auf den neuen digitalen Standard umzurüsten. Dies kann jedoch erst geschehen, wenn das neue Digitalfunknetz betriebsbereit ist. Nach [Corte, 2009] werden jedoch hierfür noch mehrere Jahre vergehen.

Handsprechfunkgeräte für die Feuerwehr sind derzeit noch nicht verfügbar, da diese Geräte in einer höheren Schutzklasse ausgeführt werden und größere Tasten besitzen müssen, damit das Gerät auch mit Schutzhandschuhen bedient werden kann [Newsletter Projekt Digitalfunk BOS Hessen, 2008].

Dieses Kapitel basiert der Darstellung in [Stübbe, 2010].

3.6. Spezielle Anforderungen der Frankfurter Flughafenfeuerwehr

Recherchen bei der Feuerwehr des Frankfurter Flughafens haben unterschiedliche Anforderungen ergeben, die für den Anwendungsfall eines Indoor-Leitsystems eingehalten werden müssen.

Der Flughafen verfügt über eine Vielzahl unterschiedlicher Gebäude mit breit variierenden Nutzungszwecken. Diese Gebäude unterliegen aufgrund von Umnutzungen und Erweiterungen einem stetigen Wandel. Daher müssen Feuerwehr-Laufkarten fortwährend aktualisiert werden. Hierfür ist die ausführende Firma verantwortlich.

Interviews mit Mitarbeitern der Feuerwehr und der Abteilung Immobilien und Facility Management, die im Rahmen des Forschungsprojektes geführt worden sind, haben folgendes deutlich gemacht: Die dynamischen baulichen Veränderungen in den Gebäuden der Fraport AG führen mitunter dazu, dass Laufkarten z. T. nicht immer auf einem aktuellen Stand sind und sich die Feuerwehr unter Umständen selbst einen Weg im Gebäude suchen muss, wenn der auf der Feuerwehr-Laufkarte eingezeichnete Weg nicht passierbar sein sollte.

Diese Problematik und ihre Auswirkungen wird nachfolgend aufgeführt:

- Ein großer Teil der 3.500 Feuerwehreinsätze pro Jahr sind auf Fehlfunktionen der Brandmeldeanlage zurückzuführen.
- Brandmelder müssen im Alarmfall anhand von Papierplänen aufwendig gesucht werden.
- Feuerwehrpläne/Laufkarten und Tableaus können aufgrund der Vielzahl der Baumaßnahmen nicht zeitnah aktualisiert werden. Baumaßnahmen und Umnutzungen von Räumen sind besonders bei Gebäuden mit vielen unterschiedlichen Nutzern der Fall. Im Alarmierungsfall muss dann aufwendig ein neuer Angriffsweg gesucht werden.
- Im Einsatzfall können Räume verraucht sein, die Heranführung an die Schadensstelle und die Orientierung in verrauchten Bereichen ist selbst für erfahrene Einsatzkräfte sehr schwierig, hierbei können sich Einsatzkräfte auch leicht „verirren“.
- Kommt ein Trupp während eines Einsatzes vom Weg ab, ist es für Rettungstrupps sehr schwierig den verletzten Kollegen zu finden.
- Im Einsatzfall kann der Einsatzleiter nur per Nachfrage über Sprechfunk die Positionen seiner Einsatzkräfte anfragen, was die Koordinierung und Leitung eines Einsatzes erschwert.

Bei der Analyse dieser Probleme wurden grundsätzliche Anforderungen der Feuerwehr an ein Feuerwehr-Leitsystem erarbeitet, die nachfolgend dargestellt werden.

3.7. Grundsätzliche Anforderungen der Feuerwehr

Aus der im vorigen Kapitel beschriebenen Problematik ergeben sich unterschiedliche Informationsanforderungen für Einsatzkraft und Einsatzleiter sowie unterschiedliche Systemanforderungen:

Die Einsatzkräfte der Feuerwehr benötigen Informationen über

- die Umgebung (Pläne),
- den aktuellen Standort,
- den Kontext der Umgebung, in der sie arbeiten,
- Aufgabe und Ressourcen,
- und den Alarm (Ursache, Meldernummer).

Für Einsatzkräfte wäre ein höherer „Level of Situation Awareness“⁴ sinnvoll, in dem Routen automatisiert in Echtzeit berechnet und Orientierungshilfen gegeben werden können, um Einsatzkräfte direkt an den Einsatzort oder zu einem verletzten Kollegen zu führen. Darüber hinaus sind Ersatzrouten wichtig, denn teilweise sind durch Umbaumaßnahmen und temporäre Baustellen in Gebäuden einzelne Routen nicht mehr passierbar.

Einsatzleiter hingegen benötigen zur optimalen Leitung eines Einsatzes folgende Informationen und Funktionen:

- Möglichkeit der einfachen Anforderung neuer Ressourcen
- Status der Ressourcen/ Trupps (verfügbar, nicht verfügbar)
- Gebäudeinformationen (Pläne, Technische Anlagen)
- Positionen der Trupps, Wegänderungen der Trupps
- Evtl. eine 3D-Darstellung des Gebäudes

Durch Bereitstellung dieser Informationen wäre auch für Einsatzleiter ein höherer „Level of Situation Awareness“ möglich, da sie somit einen verbesserten Überblick über die Situation im Gebäude erlangen könnten, sich anbahnende Schwierigkeiten besser erkennen und Abhilfe schaffen könnten.

Um die oben genannten Ziele erreichen zu können, werden folgende Anforderungen an das System der Datenhaltung und die Darstellung gestellt:

- Gebäudepläne müssen zentral erfasst werden, um eine jederzeitige Verfügbarkeit zu gewährleisten
- Pläne müssen einfach zu aktualisieren sein, um einen besseren Zugriff auf die Informationen bei Umbau- und Erweiterungsmaßnahmen zu ermöglichen
- brandschutztechnisch relevanten Informationen müssen auf den Plänen dargestellt werden
- Der Planstand muss nachvollziehbar sein.

Basierend auf diesen Anforderungen wird in den nächsten Abschnitten eine Systemanalyse durchgeführt und ein Konzept erstellt, das diesen Anforderungen gerecht wird.

⁴ Mica Endsley unterscheidet in seiner Theorie über Situation Awareness [Endsley, 1995] drei Level: 1) Wahrnehmung der relevanten Information in der Umgebung, 2) Verstehen der Situation auf Grundlage der Synthese der Elemente von Level 1 „im Hinblick auf die Ziele des Handelnden“ und 3) Verhalten der Elemente der Umgebung für die unmittelbare Zukunft vorhersagen.

4. Systemanalyse

4.1. Zielsetzung

Das Ziel der Systemanalyse ist die Untersuchung der Randbedingungen für die Erstellung eines Konzeptes für ein RFID-Gebäude-Leitsystem für Einsatzkräfte der Feuerwehr, um Einsatzkräften eine Orientierung im Gebäude zu ermöglichen und Einsatzleitern einen besseren Überblick über die Lage im Gebäude vor Ort zu bieten.

In diesem Kapitel werden die räumlichen Gegebenheiten mit Blick auf die einzusetzende Technik für die Indoor-Ortung, Möglichkeiten zum Export von Gebäudedaten aus CAD-Anwendungen untersucht und eine Darstellung von CAD-Daten auf mobilen Endgeräten diskutiert. Zunächst wird der Anwendungsfall für das zu entwickelnde System beschrieben.

4.2. Anwendungsfall

Als Anwendungsfall für das zu entwickelnde RFID-Gebäude-Leitsystem wurde der Alarmtyp „Alarm eines Brandmelders“ beim Praxispartner der Werksfeuerwehr des Frankfurter Flughafens gewählt. Diese Art von Alarm deckt einen großen Teil der ca. 3.500 Alarme bei der Werksfeuerwehr am Frankfurter Flughafen ab und ist daher ein repräsentativer Einsatzfall.

Die Vorgehensweise für diesen Einsatzfall wurde bereits in Kapitel 3.3.2 (Einsatzablauf) beschrieben und wird nochmal komprimiert zum besseren Verständnis verdichtet dargestellt:

Ein Brandmelder meldet einen Alarm an die Leitstelle. Je nach Modell und Baujahr der Brandmeldeanlage wird bei neueren Systemen die Brandmeldernummer oder bei älteren Systemen die Hauptmeldernummer (die mehrere Melder umfasst) in der Leitstelle angezeigt.

Die zuständige Feuerwache wird informiert, zieht in der Fahrzeughalle eine Anfahrtskarte anhand der gemeldeten Liniennummer und fährt zum darauf vermerkten Angriffspunkt am Gebäude.

An einem Feuerwehranzeigetableau oder einer Brandmeldezentrale wird die Meldernummer des ausgelösten Melders angezeigt. Aus einem dort hinterlegten Ordner wird die zum Melder passende Laufkarte gezogen. Mit dieser beginnt die Suche nach dem ausgelösten Brandmelder.

Im Rahmen des Forschungsprojektes „Kontextsensitives RFID-Gebäude-Leitsystem“ sollen im Rahmen dieses Anwendungsfalles mittels mobiler Endgeräte und Indoor-Ortung Methoden für eine Navigationsunterstützung und Orientierungshilfe für Einsatzkräfte im Gebäude (ab Feuerwehranzeigetableau oder Brandmeldezentrale) erforscht werden. Hierfür sind verschiedene Indoor-Ortungs-Techniken in den vorigen Abschnitten betrachtet worden. Für eine Auswahl werden zunächst die Raumgrößen analysiert und kategorisiert.

4.3. Analyse und Kategorisierungen von Gebäuden und Raumgrößen

Für einen wirtschaftlichen und sinnvollen Einsatz der unter 2.1 vorgestellten Ortungs-Techniken in einem komplexen Gebäude mit unterschiedlichen räumlichen Umgebungen ist eine Auswahl geeigneter Techniken erforderlich, denn diese Umgebungen unterscheiden sich voneinander und stellen unterschiedliche Anforderungen an den Einsatz von Techniken für die Indoor-Navigation. Auch die Einbeziehung von bereits vorhandener Infrastruktur ist für eine kostenorientierten Installation ausschlaggebend. Für komplexe Gebäude wurden folgende Umgebungen identifiziert (siehe auch [Stübbe, 2010] und [Zwinger, 2009]):

- **Bürobereiche**
Bürobereiche sind meist nicht-öffentlichen Bereiche, deren Gebäudestruktur ist mit leichte bis mittlere Wanddicken aufweist. Hier finden sich Raumgrößen von kleineren Büros bis hin zu Großraumbüros. Da oftmals eine flexible Gebäudeausstattung vorliegt, ist von einer guten Infrastruktur zum Anschluss von technischen Geräten zu rechnen.
- **Passagierbereiche**
In Passagierbereichen ist mit einer hohen Dichte von Personen zu rechnen. Diese um große Hallen und breite Flure sind oft gut überschaubar und beinhalten nur wenige Einbauten. Auch in diesen Bereiche ist eine ausreichende technischen Gebäudeausrüstung vorhanden, so dass sich leicht Geräte für eine Ortung integrieren lassen.
- **Gepäckbereiche**
Gepäckbereiche verfügen über lange Gepäckförderbänder und große Anlagen. Hier werden die Gepäckstücke der Passagiere maschinell sortiert und per Hand auf die entsprechenden Transportfahrzeuge umgeladen. Eine zur Ortung nutzbare technische Infrastruktur ist in diesen Bereichen noch nicht gegeben und muss nachgerüstet werden.
- **Kellerbereiche**
In Kellerbereichen und vor allem in Tiefgaragen befinden sich massive Betonwände. Diese schränken die freie Wahl beliebiger Ortungstechniken stark ein.

Je nach Genauigkeitsanforderungen und Nutzungsart sind andere Ortungs-Techniken einzusetzen. Auch die Gebäudestruktur und die Ausstattung ist von Gebäude zu Gebäude, sogar von Nutzungszone zu Nutzungszone innerhalb eines Gebäudes sehr unterschiedlich. Einen kritischen Bereich bilden vor allem Tiefgaragen- und Kellergeschosse. Massive Betonwände beeinflussen eine Ortung erheblich. Sie dämpfen ausgesendete Signale, verhindern ein flächendeckendes Funknetz und bilden die Grundlage für Mehrwegeeffekte. Aufgrund dieser sehr unterschiedlichen Anforderungen an ein flächendeckendes Indoor-Ortungssystem ist es nicht möglich, nur eine der in Kapitel 2.2 genannten

Ortungstechniken zu verwenden. Es muss hierbei ein Ansatz mit Einbindung für die jeweilige räumliche Umgebung geeigneter Ortungssysteme erfolgen.

4.4. Gegenüberstellung der Ortungstechniken und Anforderungen an mobile Endgeräte

Wie im vorigen Abschnitt deutlich wird, kann eine Ortungstechnik allein den unterschiedlichen räumlichen Gegebenheiten nicht gerecht werden, sodass der in diesem Projekt entwickelte „Multimethodenansatz“ erforderlich ist. Hierfür werden die Ortungsverfahren gegenüber gestellt und Anforderungen für eine Nutzung der Ortungstechnologie auf mobilen Endgeräten definiert.

Einige, der in Kapitel 2.2 genannten technischen Ansätze lassen sich jedoch bereits von vornherein für den Einsatz im Katastrophen-/Brandfall durch die verschiedensten, im Folgenden genannten Gründe ausschließen.

Mit zunehmendem Gebäudeausstattungs Aufwand steigt auch die Höhe der Kosten, so dass Techniken wie beispielsweise Ultraschall (Ultrasonic), die ein flächendeckendes Raster von Sensoren an der Decke benötigen, bei großen Gebäudekomplexen nicht wirtschaftlich sind. Da Einbauten und große Maschinen, wie sie u.a. im Bereich der Gepäckabfertigung zu finden sind, eine freie Sicht beeinflussen, lassen sich alle Systeme mit Sichtverbindung für den Anwendungsfall der Feuerwehr aufgrund von Rauchentwicklung ausschließen. Dies betrifft beispielsweise Anwendungen, die Infrarot verwenden, aber auch Systeme aus dem Bereich der visuellen Positionsbestimmung. Optische Erkennung, wie sie u.a. über Kameras und an Wänden platzierte Symbole durchgeführt wird, ist somit nicht mehr nutzbar.

Autonome Systeme wie Inertialsensoren sind derzeit mit zu großen Ungenauigkeiten behaftet, sodass diese Systeme mit weiteren Ortungssystemen kombiniert werden müssen, was einen wirtschaftlichen Einsatz i.d.R nicht tragbar macht. Grundsätzlich müssen jedoch auch Techniken ausgeschlossen werden, die von Natur aus eine zu geringe Genauigkeit aufweisen. Der Verbreitungsgrad von Mobilfunktelefonen (GSM) ist zwar in der heutigen Zeit sehr hoch und für eine Ortung nutzbar, doch die seitens der Netzstruktur verwendete Technik lässt bisher nur eine sehr ungenügende Genauigkeit zu.

Eine Bewertung der einzelnen Ortungstechniken aus Kapitel 2.2 im Hinblick auf Einsetzbarkeit im Rahmen des Indoor-Leitsystems, wurde in Tabelle 6: vorgenommen (siehe auch [Stübbe, 2010] und [Zwinger, 2009]).

Ortungstechnik	Verwendung bei Rauch	Geringer Installationsaufwand	Geringe Kosten	Hohe Genauigkeit	Gesamt
Infrarot	-	0	0	+	0
Ultraschall	+	-	+	+	++
RFID	+	+	+	0	+++
UWB	+	+	0	+	+++
Visuelle Positionsbestimmung	-	0	0	0	-
Trägheitssensoren	+	+	0	-	+
GSM	+	0	0	-	0
WLAN	+	+	+	0	+++
Bluetooth	+	-	+	+	++
DECT	+	+	-	0	+
ZigBee	+	0	0	0	+

Tabelle 6: Gegenüberstellung und Bewertung der Ortungstechniken

Die Tabelle verdeutlicht, dass die Techniken RFID, UWB und WLAN am geeignetsten erscheinen. Hierfür sollen nun Anforderungen an mobile Endgeräte definiert werden:

Für die Nutzung der WLAN-Ortung ist eine WLAN-Karte in einem Endgerät erforderlich und es muss i. d. R. ein Clienttool auf dem Endgerät installiert werden. Für die UWB-Ortung tragen Einsatzkräfte einen UWB-Tag mit sich. Zum Anzeigen der Positionen wird eine Verbindung zum Positioning-Server benötigt, um Positionsdaten abzurufen und anzuzeigen. Für die Verwendung mit RFID-Ortung sollte ein RFID-Leser integriert sein oder alternativ zum Anschluss eines externen Readers eine PCMCIA- oder USB-Schnittstelle vorhanden sein.

Untersuchungen von [Helmus, Laußat, Meins-Becker, & Kelm, 2009] und [Jehle, Seyffert, Wagner, & Netzker, 2008] haben gezeigt, dass die UHF-Frequenz für den Einsatz im Bauwesen aufgrund ihrer größeren Reichweite der RFID-Tags am besten geeignet ist. Für eine aktuelle Übersicht über passive UHF-Tags und Lesegeräte wird auf diese beiden Berichte der anderen ARGE RFID-im-Bau-Projekte verwiesen. Eine Marktübersicht über aktive RFID-Tags findet sich in Anlage 1: Geräteübersicht aktive RFID-Hardware.

Aufgrund der Untersuchungen zur Eignung des Einsatzes für das Bauwesen im Rahmen der anderen RFIDimBau-Projekte wurden RFID-Tags im UHF-Bereich (Europa 868 Mhz, USA 915 Mhz) ausgewählt. Da für die Nutzung der RFID-Tags ein Auslesen im Vorbeigehen ohne direkte Ausrichtung des Lesegerätes auf den RFID-Tag erforderlich ist, wurden aktive UHF-RFID-Tags ausgewählt, die über Reichweiten von bis zu 100 m oder selbst gemessene >15 m im Gebäude verfügen (siehe Kapitel 7.2). Diese Reichweiten sind voraussichtlich auch mit aktiven RFID-Tags in den Frequenzen 433 MHz und 2,4 GHz zu erzielen.

4.5. Darstellung von Positionsdaten auf mobilen Endgeräten

Mit mobilen Endgeräten ist es einem Benutzer möglich, Dienste über ein drahtloses Netzwerk oder lokal verfügbare mobile Anwendungen zu nutzen. Für den Anwendungsfall der Positionsbestimmung von Einsatzkräften der Feuerwehr werden zur Darstellung von Positionsdaten verschiedene Arten von mobilen Endgeräten betrachtet. Die Bandbreite mobiler Geräte reicht von kleinsten Spezialgeräten bis hin zu Computern mit der Leistungsfähigkeit von stationären Rechnern.

Eine Klassifizierung der Endgeräte gestaltet sich schwierig, weil mobile Endgeräte in einem rasanten Tempo weiterentwickelt werden und ständig neue Gerätetypen auf den Markt kommen. Eine strenge Klassifikation wird zusätzlich dadurch erschwert, dass hybride Geräte entwickelt werden, die mehrere Funktionen in sich vereinen und daher mehreren Kategorien zugeordnet werden können. Begriffliche Einordnungen, die sich beispielsweise an der Leistungsfähigkeit von Geräten orientieren, sind meist sehr unspezifisch und werden häufig schon nach kurzer Zeit durch Weiterentwicklungen überholt. Dennoch lässt sich durch eine anwendungsbezogene Beschreibung eine grobe Einteilung vornehmen.

Man kann mobile Endgeräte in vier Kategorien einteilen:

- **Mobile Standardcomputer:** Hierbei handelt es sich um die mobile Ausführung von Standardcomputern z. B. Notebooks. Mobile Standardcomputer verfügen nahezu über dieselbe Leistungsfähigkeit wie stationäre Standardcomputer.
- **Tablet PCs** sind Computer ohne Tastatur und Laufwerke. Sie sind meist flacher als Notebooks und werden mit einem Stift oder mit dem Finger über Touchscreen bedient.
- **Handhelds:** Handhelds sind kleine mobile Computer, die gegenüber Standardcomputern über eine sehr reduzierte Leistungsfähigkeit verfügen. Sie sind so dimensioniert, dass sie in einer Hand gehalten und auf diese Weise auch bedient werden können. Darin unterscheiden sie sich wesentlich von mobilen Standardcomputern, die in der Regel auf einer ebenen Unterlage aufgestellt werden müssen.
- **Wearables:** Diese Endgeräte werden nicht in der Hand gehalten, sondern am Körper getragen. Dazu sind sie entweder direkt am Körper befestigt (z.B. über ein Armband oder über eine Kopfbefestigung) oder werden in die Kleidung integriert.

Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die zuvor beschriebenen Geräte. Auf Wearables wird hier nicht näher eingegangen, da sie aus sicherheitstechnischen Gründen nicht in die Feuerwehrschutzkleidung integriert werden können. Hinsichtlich ihrer Rechenkapazität sind sie aber mit mobilen Standardcomputern vergleichbar.

	Tablet PC	Handhelds	Mobile Standardcomputer
Arbeitsspeicher	< 2 GB	16- 128 MB	bis 4 GB
Prozessor	< 2 GHz	< 600 MHz	< 2 GHz
Festplatte	120 GB	< 16 GB	Bis 1000 GB
Betriebssystem	Windows, Linux	Windows Mobile, Linux, Palm OS	Windows, Linux, Mac OS
Tastatur	o	o	+
WLAN	o	o	+
Bluetooth	o	o	+
Infrarot	+	+	o
GPS-Empfänger	o	o	o
RFID-Lesegerät	o	o	o
Displaygröße und -auflösung	Bis zu 12.1“ Bis (1024x768) Pixel	Bis 5“ bis (640*480) Pixel	7 bis 20“ Bis (1920*1200) Pixel
PCMCIA	o	-	+
USB	+	-	+
Gewicht	0,5 – 3,0 kg	100-200g	1,0-4,0 kg
Preis in Euro	500-4000	80-600	300-2500

+ = vorhanden o=optional

Tabelle 7: Geräteübersicht

Im Anwendungsfall eines Feuerwehroleitsystems für Einsatzkräfte kommt es darauf an, dass die Geräte für die Feuerwehrleute nicht zu groß sind, um Einsatzkräfte, die bereits ca. 30 kg in Form von Schutzkleidung und Atemgerät und gegebenenfalls noch zusätzliche Ausrüstung mit sich herum tragen, nicht zu behindern. Auf der anderen Seite müssen Informationen über das Gebäude jedoch auf einem ausreichend großen Display dargestellt werden können, um einen Überblick über einen bestimmten Gebäudebereich zu bekommen.

Für die Frage, welcher Gerätetyp geeignet ist, spielen auch die Applikationen eine Rolle, die später auf dem Gerät laufen sollen, daher wird die Wahl des Gerätes in Zusammenhang mit der Konzeption des Feuerwehr-Leitsystems erläutert.

Für die Darstellung von CAD-Daten sind genaue Kenntnisse der beim Praxispartner Fraport eingesetzten CAD-Software notwendig, die im nächsten Abschnitt erläutert wird.

4.6. Eingesetzte Software

Beim Praxispartner Fraport AG wurden in der Abteilung Immobilien und Facility Management (IFM) Interviews zur Verwaltung von CAD-Informationen durchgeführt. Zentrale Frage war hierbei, wie sich diese im Rahmen des RFID-Gebäude-Leitsystems nutzen lassen. Darüber hinaus sind die Schnittstellen zum Export der CAD-Daten untersucht worden, die in den folgenden Abschnitten dargestellt werden.

Bei der Fraport AG werden Produkte der Firma Bentley zur Verwaltung von CAD-Informationen eingesetzt (siehe auch [Schatz, 2008]):

4.6.1. MicroStation

Für das Entwerfen, Modellieren, Visualisieren und Dokumentieren wird das CAD-Programm MicroStation eingesetzt. Die eingesetzte Version am Flughafen ist momentan noch die Version V8 2004 Edition, die komplette Umstellung auf die aktuelle V8 XM-Version ist gegenwärtig noch nicht erfolgt.

Durch eine DWG-Unterstützung ist eine gute Interoperabilität mit anderen Softwarelösungen gewährleistet. Benutzer von MicroStation können Inhalte gleichzeitig in beiden Dateiformaten bearbeiten. [Bentley, 2007].

4.6.2. Speedikon Architecture

Speedikon Architecture erweitert MicroStation, um das Konzept des Building Information Modelling (BIM). Hierbei werden Arbeitsabläufe, Prozesse und Daten für mehrere Gewerke, Unternehmen und Projektphasen in ein Modell integriert. Im Vergleich zu CAD werden Daten über den gesamten Lebenszyklus eines Gebäudes verwaltet. Speedikon Architectural arbeitet auf Basis eines virtuellen Gebäudemodells (BIM) mit "intelligenten" Bauteilen wahlweise in einem 2D- oder 3D-Modus [Bentley, 2006].

4.6.3. Project Wise

Als Dokumenten-Management-System (DMS) unterstützt Project Wise die Zusammenarbeit von verteilten Projektteams in Echtzeit. Hierbei werden Informationen zentral verwaltet und Pläne anhand unterschiedlicher Rechtekonzepte an Nutzer freigegeben.

4.6.4. Facilities Planner

Bentley Facilities Planner nutzt MicroStation (Visualisierung) und Project Wise (Dokumentenverwaltung). Bentley Facilities Planner erlaubt den Zugriff auf Informationen über Lage und Status der Flächen und Anlagen (so genannter Assets), die innerhalb der Liegenschaft verwaltet werden. Es können vorhandene Bestandsdaten importiert oder neue erfasst und in der Datenbank strukturiert werden. [Bentley_Facilities_Planer, 2007].

4.7. Programmierschnittstellen

Um Daten aus den Softwaresystemen der Fraport AG für das Forschungsprojekt nutzbar zu machen, ist eine Betrachtung der Schnittstellen dieser Softwaresysteme sinnvoll. Die wichtigsten Programmierschnittstellen werden nachfolgend betrachtet:

4.7.1. Visual Basic for Applications

Über eine Visual Basic for Applications-Schnittstelle (VBA) ist es möglich mittels VBA-Makros auf Zeichnungselemente zugreifen zu können und diese zu verändern. Hierdurch kann Microstation an die persönlichen Bedürfnisse angepasst werden [Bentley_VBA, 2007].

4.7.2. MicroStation BASIC-Makros

Mittels MicroStation Basic-Makros lassen sich Programme erstellen, die verschiedene Funktionen und Vorgänge, die z. B. manuell innerhalb von Microstation angestoßen werden, automatisiert und in einer speziellen Folge ablaufen können. Microstation Basic-Makros bieten zahlreiche zusätzliche Erweiterungen für Microstation.

4.7.3. MDL (MicroStation Development Language)

MDL (MicroStation Development Language) ist die Standard-Programmierschnittstelle für die Entwicklung von Anwendungen für MicroStation. Die MDL-Sprache ist an die Programmiersprache C angelehnt und verfügt über eine Schnittstelle zu allen Graphik- und Datenbank-Schnittstellenfunktionen. Darüber hinaus wird die Kontrolle über die komplette Benutzeroberfläche mit Menüs und Dialogboxen möglich [Bentley_MDL, 2006].

4.7.4. Weitere MicroStation APIs

Derzeit existiert eine C++-Schnittstelle, die für die Anwendungsentwicklung und für den Datenaustausch genutzt werden könnte. Zukünftig ist auch eine .NET API geplant, die eine komfortable Einbindung in das Visual Studio.Net ermöglichen soll.

Bei der Nutzung aller Programmierschnittstellen besteht das Problem, dass Microstation auf dem jeweiligen Computer, der für den Zugang zu den Gebäudedaten genutzt werden soll, installiert sein muss, um über die Schnittstelle Daten herauszulesen und in einem separaten Gebäudemodell zu speichern.

Ein Zugriff auf Gebäudedaten über die in MicroStation vorhandenen Exportformate bietet hingegen den Vorteil, dass auch die Nutzung anderer Softwaresysteme möglich wäre. Hierdurch ist eine Applikation, die Importformate einliest unabhängiger und vielseitiger.

Aus diesem Grund wurde zugunsten der Exportformate auf einen Zugriff über Programmierschnittstellen verzichtet und auf unterstützte Exportformate detailliert eingegangen.

4.8. Unterstützte Exportformate

MicroStation (siehe Abbildung 40:), Speedikon Architectural und der Facilities Planner bieten zahlreiche Exportfunktionen die zum Export von Gebäudedaten genutzt werden können und mit denen ein Gebäudemodell exportiert werden kann.

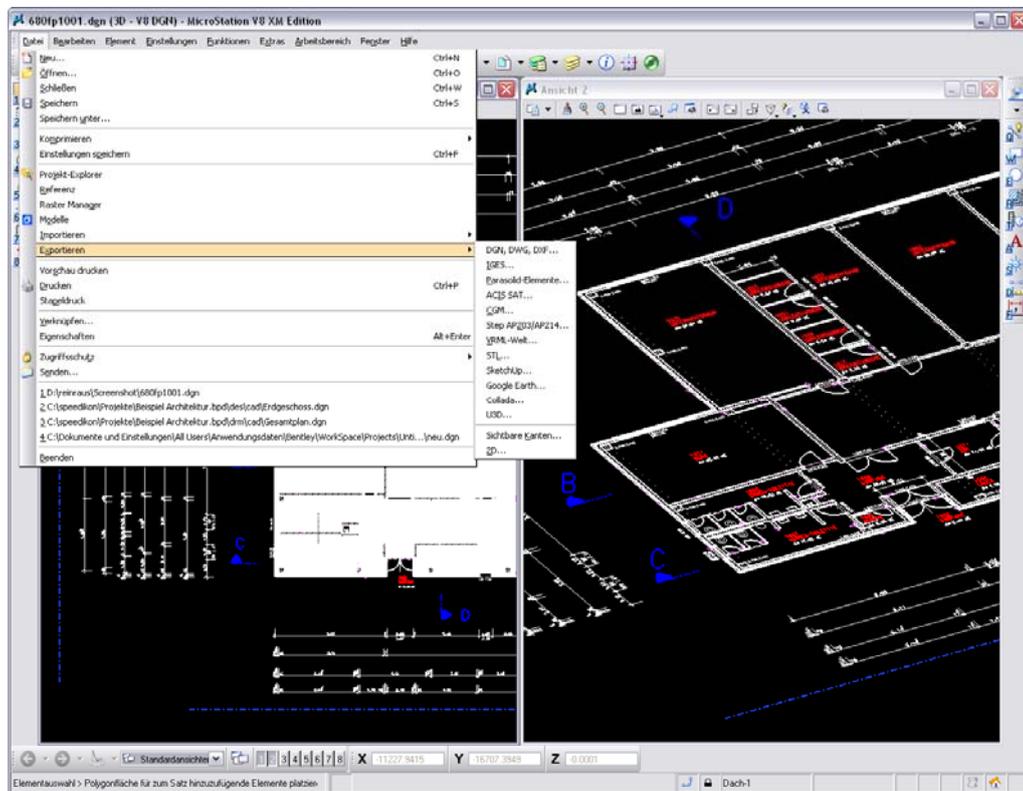


Abbildung 40: MicroStation Export-Funktion

Nachfolgend werden die Exportformate DXF, IFC 2x3 und gbXML anhand folgender Kriterien analysiert (nach [Schatz, 2008] und [Stübbe, 2010]):

Geometrische Informationen

Geometrische Informationen müssen über die korrekte Abbildung der Bauteilgeometrie exportierbar sein, d. h. eine Wand muss mit ihren Koordinaten als Quader in 3D oder als Rechteck in 2D dargestellt werden können.

Bauteilobjektinformationen

Das Exportformat muss über die reinen geometrischen Informationen hinaus die Elemente des Gebäudemodells als Objekte abbilden können. Darüber hinaus müssen Bauteile in den richtigen Relationen abgebildet werden können (eine Tür muss z. B. wissen in welcher Wand sie sich befindet und welche Räume sie verbindet).

Datenbindung

Es sollte die Möglichkeit gegeben sein, mit den Funktionen des .NET Frameworks das Datenformat ohne großen Aufwand auslesen und verarbeiten zu können, da diese Entwicklungsumgebung für den Einsatz mit mobilen Endgeräten weit verbreitet ist.

Editierbarkeit

Mit Editierbarkeit ist die Möglichkeit gemeint, das Exportformat mit gängigen Texteditoren zu lesen und im Bedarfsfall manipulieren zu können.

Die Kriterien haben untereinander die gleiche Gewichtung. Bewertet werden sie auf einer Skala von + + bis - -. Ein + und ein - heben sich in der Gesamtbetrachtung auf.

Zeichen	Zielerfüllungsgrad [%]
+ +	80-100
+	60-80
o	40-60
-	20-40
- -	0-20

Tabelle 8: Bewertungsskala

Nachfolgend werden die Exportformate im Einzelnen betrachtet:

4.8.1. Drawing Interchange Format

Bei DXF (Drawing Interchange Format) handelt es sich um ein von Autodesk entwickeltes Format zum Austausch von Gebäudeinformationen.

Geometrische Informationen werden mit Punkten, Linien, Kreisbögen, Texten oder Blöcken und Verschneidungsformen beschreiben. Ein Austausch von erweiterten Bauteilobjektinformationen wird nicht unterstützt.

Durch die frei zugängliche Dokumentation von DXF [Autodesk, 2008] ist es Entwicklern möglich, in fast allen Programmiersprachen DXF-Dateien zu erzeugen, auszulesen oder zu verarbeiten. Konzepte zur direkten Datenbindung von DXF-Dateien sind im .NET Framework nicht enthalten. Es kann aber auf freie (dxflib [DXFLIB, 2008]) oder kostenpflichtige (DXF Export.NET [CadSoftTools, 2008]) Bibliotheken zurückgegriffen werden. Mit DXF wird ein CAD-Modell als Text nach dem ASCII-Standard beschrieben und kann mit gängigen Texteditoren manipuliert werden.

Die Gesamtbewertung ist Tabelle 9: zu entnehmen.

Kriterium	Bewertung
Geometrische Information	+
Bauteilobjektinformation	- -
Datenbindung	o
Editierbarkeit	+
Gesamt	o

Tabelle 9: DXF-Bewertung

4.8.2. Industry Foundation Classes

Die IFC (Industry Foundation Classes) beschreiben einen Standard zur Austausch von Gebäudemodellen im Bauwesen, der von buildingSmart International definiert und unter der Iso 16739 registriert ist [BuildingSMART, 2008].

Hierbei handelt es sich um einen objektorientierten Aufbau, bei dem Bauteile mit ihrer Geometrie als Objekte definiert sind. Beziehungen zwischen Wänden und Türen und deren Materialien können abgebildet werden. Hierbei gibt es verschiedene Abstraktionsebenen, die alle eine objektorientierte Struktur aufweisen. Hierdurch wird mittels IFC ein Austausch von ganzen Gebäudemodellen zwischen verschiedenen Anwendungen möglich.

Die IFC bilden nicht nur Bauteile, sondern auch die Attribute zu diesen Bauteilen ab. Attribute zu Räumen können zum Beispiel die Raumnummer, der Raumname, die DIN277-Klassifizierung, die Mindestluftwechselzahl oder die maximale Anzahl der Belegung sein. Auch für IFC gibt es keine direkte Unterstützung des .NET Frameworks.

In einer IFC-Datei werden die Informationen als Text nach dem ASCII-Standard beschrieben und können mit gängigen Texteditoren gelesen und verändert werden. Der Code ist allerdings nicht übersichtlich und nicht intuitiv verständlich. Als Alternative würde sich ifcXML anbieten, was das Konzept von IFC in XML umsetzt. Als Exportformat wird in Bentley MicroStation aber nur IFC2x3 verwendet, das aufgrund der zeilenbasierten Darstellung nur schlecht editierbar ist.

Die Bewertung im Einzelnen:

Kriterium	Bewertung
Geometrische Information	+
Bauteilobjektinformation	+ +
Datenbindung	o
Editierbarkeit	+
Gesamt	+ + + +

Tabelle 10: IFC-Bewertung

4.8.3. Green Building XML

Green Building XML (gbXML) ist ein XML-Schema zum Austausch von Gebäudemodellen zwischen verschiedenen Anwendungen zur Energie-Effizienz-Auswertung von Gebäuden

Die Entwicklung des XML-Schemas begann 1999 durch eine Initiative von Bentley. Heute wird gbXML von führenden CAD-Anbietern wie Autodesk, Graphisoft und Bentley unterstützt [gbXML-Schema, 2009].

GbXML ermöglicht es ein Gebäudemodell mittels einer erweiterbaren Auszeichnungssprache (XML) zu beschreiben. Hierbei können Relationen zwischen Bauteilen abgebildet werden. Einzelne Bauteile werden als Objekte beschrieben und können einfach mittels Texteditoren ausgelesen oder auch programmgesteuert verarbeitet werden.

Über die XML-Namespaces Klassen und Funktionen zum ist ein einfaches Lesen und Schreiben von XML Dateien möglich.

Die Bewertung im Hinblick auf die Datengewinnung ist in folgender Tabelle dargestellt:

Kriterium	Bewertung
Geometrische Information	+
Bauteilobjektinformation	+ +
Datenbindung	+
Editierbarkeit	+ +
Gesamt	+ + + + + +

Tabelle 11: gbXML-Bewertung

4.9. Anforderungen an die Darstellung der Gebäudeinformationen

In den vorigen Abschnitten wurden die räumlichen Gegebenheiten bei Fraport analysiert und kategorisiert, ein Überblick über Gerätetypen für die Darstellung von Gebäudeinformationen gegeben und Exportformate von CAD-Systemen am Flughafen Frankfurt betrachtet. Aus dieser Analyse und den Anforderungen der Feuerwehr aus Kapitel 3.7 wird deutlich, dass es sowohl Anforderungen an die Darstellung der Informationen auf mobilen Endgeräten, als auch an die vorgehaltenen Gebäudedaten in Form eines Building Information Model (BIM) selbst gibt.

Für die Darstellung von Gebäudeinformationen für Einsatzkräfte der Feuerwehr werden folgende Anforderungen gestellt:

- Repräsentation der Gebäudegeometrien

-
- Repräsentation beschreibender Fakten, z. B. Brandschutzelemente, Raumnamen etc.
 - Darstellung der Fakten in kontext-adaptiver Art und Weise, z. B. Zoom auf den aktuellen Raum, in dem sich die Einsatzkraft aufhält oder Darstellung von einsatzrelevanten Gegebenheiten in der räumlichen Nähe (Notabschaltungen etc.).

Hieraus ergeben sich Anforderungen an den Export von CAD-Daten und deren Vorhaltung in einem BIM:

- Grundrisspläne müssen in Vektorform vorliegen.
- Rauminformationen (begrenzende Wände, Raumbezeichnungen) müssen vorgehalten werden.
- Räume müssen in ihrer Lage zueinander abgebildet werden können. (z.B. Wand trennt Raum 1 von Raum 2).
- Stockwerke müssen abbildbar sein.
- Türen müssen Informationen enthalten, welche Räume sie verbinden.
- Koordinaten sollten in einem einheitlichen Koordinatensystem vorliegen, um für spätere Auswertung auch die Lage von Gebäuden unter einander bestimmen zu können.

Neben diesen beschriebenen statischen Gebäudedaten des BIM müssen später auch dynamische Daten vorgehalten werden, die Positionen von Einsatzkräften im Gebäude repräsentieren.

5. Systementwurf

Im Rahmen des Systementwurfs werden die zuvor beschriebenen Anforderungen in ein Konzept für ein RFID-Gebäude-Leitsystem überführt, die Eigenschaften des Systems und die Struktur der Datenhaltung erläutert. Hierbei wird insbesondere auf den Anwendungsfall, die Systemstruktur, die Auswahl der geeigneten Ortungssysteme, deren Integration in eine neu entwickelte Indoor-Navigations-Integrationsplattform (INI) und die Möglichkeit der Anbindung von CAD-Daten aus dem Facility-Management-System des Praxispartners Fraport AG eingegangen.

5.1. Use Cases

Aufbauend auf den Anforderungen wurde ein Konzept für eine Anwendung erstellt, das eine Indoor-Ortung für Feuerwehreinsatzkräfte und Einsatzleiter ermöglicht. Hierbei wurden drei Anwendungen konzipiert, eine für Einsatzkräfte, eine für den Einsatzleiter und eine für einen Systemadministrator (siehe Abbildung 41:).

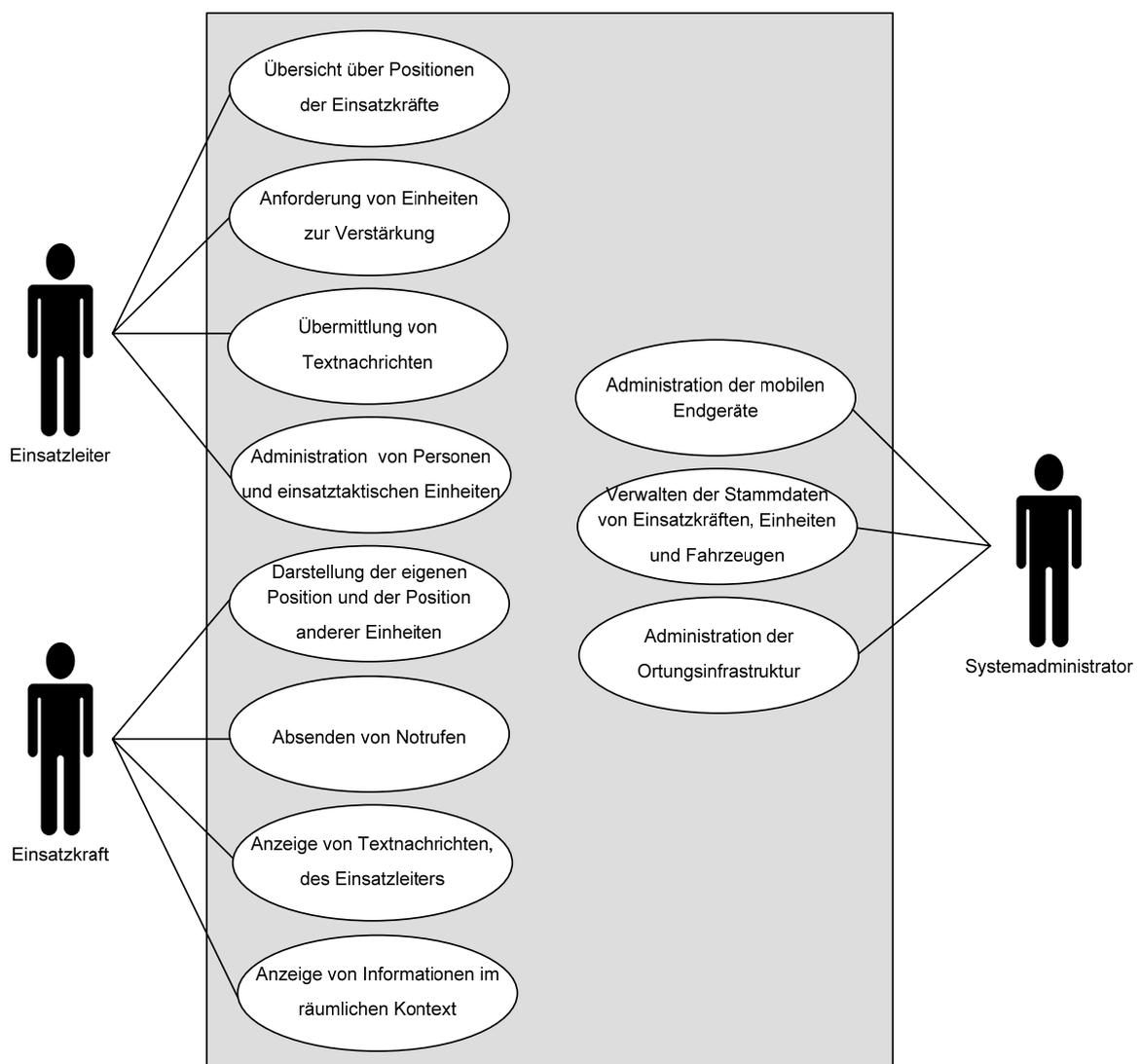


Abbildung 41: Use Case-Diagramm

An alle drei Anwendergruppen werden unterschiedliche Anforderungen gestellt:

Einsatzleiter

Einsatzleiter melden sich am System an, danach werden ihnen folgende Funktionen bereit gestellt:

- Möglichkeit Personen zu Funktionen zuzuordnen (z.B. "Herr Müller ist heute Truppführer von Trupp 1.1). Über die Zuweisung von Personen zu einsatztaktischen Einheiten wird die Struktur der Feuerwehr abgebildet,
- Übersicht über verfügbare Einheiten in 2D und 3D,
- Anlage eines neuen Einsatzes,
- Zuordnung von Einheiten zu Einsätzen,
- Ordern von Einheiten zur Verstärkung,
- Übersicht über die Positionen der Taktischen Einheiten im Gebäude,
- Möglichkeit der Übermittlung von Textmeldungen an die Einheiten,
- Empfangen von Notrufen mit Positionsangabe.

Einsatzkräfte

Einsatzkräfte melden sich auch mit ihren mobilen Endgeräten an und erhalten die Meldung über einen Einsatz, der ihnen zugewiesen wurde. Anschließend erhalten Sie folgende Programmfunktionen:

- Darstellung der eigenen Position im Gebäude,
- Übersicht über die Positionen der anderen Einheiten in der räumlichen Umgebung,
- Anzeige einsatztaktischer Textmeldungen des Einsatzleiters,
- Anzeige von Warnmeldungen im räumlichen Kontext der Einsatzkraft, z. B. über in der Nähe befindliche Brandschutzeinrichtungen oder andere einsatzrelevante technische Einrichtungen (siehe auch Kapitel 5.4, Kontextsensitivität),
- Notruffunktion mit Übermittlung der aktuellen Position an den Einsatzleiter.

Systemadministrator

- Eingabe und Editieren von Benutzern , Einsatzkräften und Einheiten,
- Zuweisung von Einsatzkräften zu Einheiten,
- Zuweisung von mobilen Endgeräten zu Einheiten,
- Administration von mobilen Endgeräten,
- Administration der Ortungsinfrastruktur.

Für die Ermittlung der Positionen im Gebäude ist, wie in der Systemanalyse erläutert, ein neuer Multimethodenansatz notwendig. Bevor der Systementwurf für die Indoor-Navigations-Integrationsplattform dargestellt wird, erfolgt die Auswahl der benötigten Ortungstechniken.

5.2. Multimethodenansatz

Für das RFID-Gebäude-Leitsystem haben sich drei Ortungstechniken herausgestellt, die im Rahmen des Multimethodenansatzes eine flächendeckende Ortung ermöglichen sollen. Diese sind RFID, WLAN und UWB, siehe Kapitel 2.3.3 und Kapitel 4.4.

Für eine Lösung mit einer raumgenauen Ortung ist eine Ortung mittels Leseschleusen an allen Türen oder mittels im Gebäude installierter Lesegeräte und Referenztags nicht geeignet, da beide Varianten zu aufwendig sind. Auch die Messung der Signalstärke ist laut [Akinci, 2008] zu ungenau, um eine zuverlässige Positionsbestimmung durchführen zu können. Daher wird in diesem Forschungsprojekt die Methode der punktbasierten Ortung eingesetzt. Durch die Platzierung von aktiven RFID-Tags an markanten Stellen wird eine punktweise Ortung ermöglicht, sobald ein Lesegerät in Reichweite eines RFID-Tags gelangt.

Wie bereits oben erläutert, sind auf dem Gelände des Flughafens Frankfurt die folgenden, in ihrer Gebäudestruktur sehr unterschiedlichen Haupteinsatzumgebungen zu betrachten (siehe auch [Zwinger, 2009]):

- Bürobereiche
Bürobereiche sind meist mit Wireless LAN (WLAN) ausgestattet, um einen flexiblen Zugang zum Internet zu ermöglichen. Diese WLAN-Accesspoints können auch zur Ortung verwendet werden. Hierbei muss jedoch die Anzahl und die Position der WLAN-Access-Points für eine Ortung angepasst werden. Bei der WLAN-Ortung können auch fremde WLAN-Access-Points eingebunden werden, es muss lediglich von einem WLAN-Access-Point die Verbindung zur Positioning-Engine möglich sein.
- Passagierbereiche
Der Großteil der öffentlichen Terminalfläche ist bereits durch kommerzielle Anbieter mit der WLAN-Technik ausgestattet worden. Hierdurch sollen Passagiere ein mobiler Internetzugang ermöglicht werden. Auf Grund der in diesen Bereichen bereits gut ausgestatteten Infrastruktur ist die Nutzung von WLAN zur Ortung vorgesehen.
- Kellerbereiche
Kellerbereichen und Tiefgaragen sind oft von massiven Betonwänden umgeben. In diesen Bereichen ist der Einsatz von regulären Funktechniken mit Kontakt zu einer zentralen Auswertung der Daten nicht möglich. Es muss daher auf unabhängige Systeme zurückgegriffen werden. So bietet sich hierbei der Einsatz einer RFID Ortung mit RFID-Transpondern an markanten Stellen an.
- Gepäckbereiche
Gepäckhallen haben oft eine Ausdehnung über mehrere Etagen mit massiven Einbauten. Das

Auffinden der Brandmelder ist daher oft schwierig. Die Nutzung eines UWB-Systems an, das u.a. eine dreidimensionale Ortung innerhalb dieser Bereiche erlaubt, bietet sich daher an. In Bereichen mit kleinen Räumen ist die Verwendung von RFID-Tags dagegen sinnvoller.

Je nach geforderter Genauigkeit müssen in den unterschiedlichen Bereichen von komplexen Gebäuden unterschiedliche Ortungssysteme eingesetzt werden, da diese in der Genauigkeit, der Zuverlässigkeit und dem Installationsaufwand voneinander abweichen.

UWB-Systeme erreichen mit wenigen Einbauten eine dreidimensionale Ortung mit bis zu 15 cm Genauigkeit, sodass auch Brandmelder in Hallen mit Zwischendecken einfach aufgefunden werden können. Die WLAN-Ortung ist von der Genauigkeit geringer, bietet jedoch gerade in Bereichen, wo WLAN bereits vorhanden ist wesentliche Vorteile, da die im Gebäude installierte Technische Gebäudeinfrastruktur mitbenutzt werden kann. Kellerbereich und Tiefgaragen verfügen oft nicht über genügend Stromanschlüsse, daher ist in diesen Bereichen die RFID-Technik am geeignetsten. Alle drei Systeme werden im Rahmen eines Multimethodenansatzes verwendet.

5.3. Systementwurf der Indoor-Navigations-Integrationsplattform

Nach der Auswahl der Systeme für die Indoor-Navigations-Integrationsplattform (INI) soll das Zusammenspiel der einzelnen Komponenten und die Speicherung der Daten in diesem Abschnitt erläutert werden.

Für die INI ist die Speicherung der Positionsdaten aus den verschiedenen Ortungstechniken RFID, UWB und WLAN erforderlich. Darüber hinaus sollen Raumgeometrien und Elemente von Brandmeldeanlagen gespeichert werden und jederzeit für Einsatzkräfte verfügbar sein. Hierbei ist entsprechend der Anforderungen aus Kapitel 4.9 nicht nur die Darstellung der Grundrisse, sondern auch die Darstellung ganzer Gebäudegeometrien für eine spätere Generierung von Routingnetzen zur Berechnung des kürzesten Weges im Gebäude notwendig. Darüber hinaus wird die Organisationsstruktur der Feuerwehr mit Trupps und Einsatzfahrzeugen abgebildet, um während eines Einsatzes Verstärkung oder Spezialkräfte (z. B. Spezialisten für Chemikalien) anzufordern.

Nach [Pitoura & Samaras, 2000] ist der Einsatz eines Datenbank-Management-Systems (DBMS) Voraussetzung für das effiziente Persistieren von Positionsdaten. Daher wurde als Persistierungskomponente ein Datenbank-Management-System gewählt, das eine hohe Datenrate mit einer Aktualisierung pro Sekunde sicher gestellt. Dies ist erforderlich, um die Positionen der Einsatzkräfte in Echtzeit zu überwachen.

Die Struktur des Systementwurfs wird in nachfolgender Abbildung dargestellt.

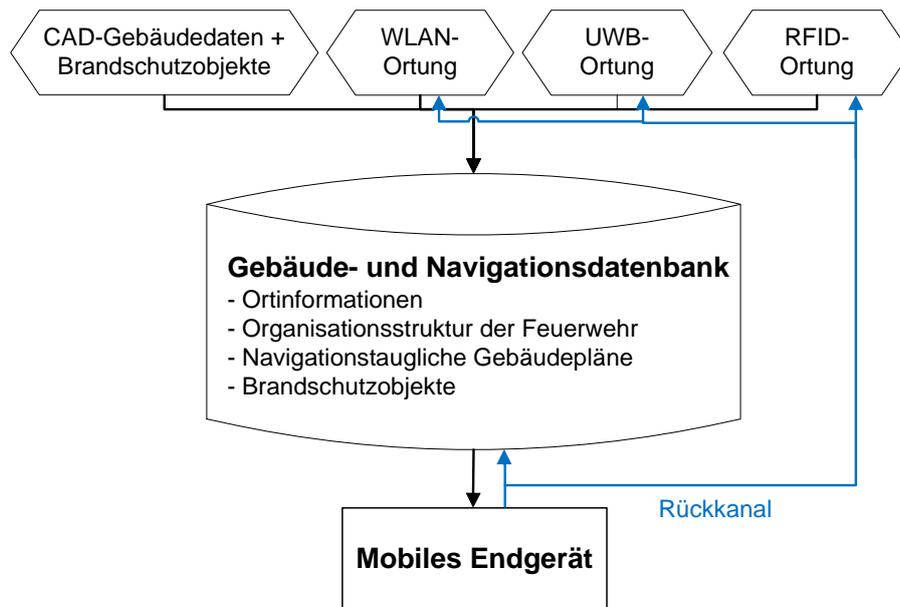


Abbildung 42: Systementwurf Indoor-Navigations-Integrationsplattform

Herzstück der INI ist die Gebäude- und Navigationsdatenbank, die mittels geeigneter Methoden, die in Kapitel 6 (Prototypische Implementierung) näher erläutert werden, Positionsdaten der Einsatzkräfte, die aktuelle Besetzung der Einsatzfahrzeuge, Gebäudepläne und Daten über Brandschutzobjekte speichert.

Diese Datenbank wird mit aktuellen Daten der einzelnen angebotenen Ortungssysteme (Locationprovider) versorgt. Da die WLAN-Ortung und die UWB-Ortung eigene Koordinatensysteme verwenden, ist eine Umrechnung erforderlich. Hierfür werden Location-Adapter entwickelt. Hierbei handelt es sich um eine Fusionierungskomponente für die Koordinatenfusion zur Vereinheitlichung und Zusammenführung der verschiedenen Koordinatensysteme, um so die Integrität der einzelnen Locationprovider sicherzustellen.

Auch für die Ortung mittels aktiver RFID-Tags wird ein Location-Adapter erstellt, dieser liest auf den Tags gespeicherte Koordinaten aus und verwendet diese für die Bestimmung der Position.

Der Einsatzleiter und die Einsatzkräfte greifen mit ihren mobilen Endgeräten direkt auf die Gebäude- und Navigationsdatenbank zu und erhalten aktuelle Einsatzdaten und Positionen. Ein Rückkanal ist erforderlich, damit ausgelesene RFID-Tag-Daten, die Positionen der UWB-Tags und die Daten des Ekahau-Client-Tools an die jeweiligen Positioning-Engines übermittelt werden können.

Zusätzlich werden einsatzrelevante Informationen im räumlichen Kontext der Einsatzkraft angezeigt (kontextsensitive Informationen). Beispielsweise werden automatisch Warnhinweise gegeben, wenn sich die Einsatzkraft einem Starkstromverteilerkasten oder einem Raum mit Gefahrgut nähert. Durch Informationen bezogen auf den aktuellen Aufenthaltsort im Gebäude sollen Einsatzkräfte für Gefahren frühzeitig sensibilisiert werden, die sie sonst möglicherweise nicht wahrgenommen hätten.

Nachfolgend wird auf das Konzept der Kontextsensitivität für die Darstellung von Brandschutzelementen eingegangen.

5.4. Kontextsensitivität

Das Kontextsensitive RFID-Gebäude-Leitsystem soll einsatzrelevante Informationen auch im räumlichen Kontext der Einsatzkraft darstellen.

Bevor weiter auf die Art der kontextsensitiven Darstellung eingegangen wird, soll der Begriff „Kontext“ näher erläutert werden. Als „Kontext“ wird im Allgemeinen der Zusammenhang oder das Umfeld eines Objektes oder einer Handlung bezeichnet. Speziell für den Informatikbereich findet sich folgende Definition von [Rothermel, Bauer, & Becker, 2003]:

„Kontext ist die Information, die zur Charakterisierung der Situation einer Entität herangezogen werden kann. Entitäten sind Personen, Orte oder Objekte, welche für das Verhalten von Anwendungen als relevant erachtet werden. Dabei wird eine Entität selbst als Teil ihres Kontextes betrachtet.“

Zusammenfassend kann man sagen, dass Kontextsensitivität das Verhalten von Anwendungsprogrammen bezeichnet, die Informationen über ihren Kontext (Umgebung) benutzen, um ihr Verhalten darauf abzustimmen. Hierbei lässt sich Kontext in folgende Bereiche gliedern:

- Ort
- Zeit
- Physikalische Parameter
- Wetter
- Gelände

Im Rahmen des Forschungsprojektes werden die Parameter „Ort“ und „Zeit“ bei der kontextsensitiven Darstellung berücksichtigt. Es werden z.B. Standorte von Starkstromanlagen oder Informationen über CO₂-Löschsysteme und Feuerwehrbedienpulte bezogen auf die Position der Einsatzkraft dargestellt. Hiermit ist es möglich im Einsatzfall z. B. auf Gefahren durch Starkstromanlagen hinzuweisen, wenn die Einsatzkraft sich einer solchen Anlage nähert.

Der Parameter „Zeit“ kann zu einer automatischen Erkennung von verletzten Einsatzkräften genutzt werden. Ist beispielsweise eine Einsatzkraft verletzt und kann sich selbst nicht mehr fortbewegen, könnte die Navigations-Integrationsplattform dies nach einer bestimmten Zeit der Inaktivität erkennen und den Einsatzleiter darauf hinweisen. Dieser könnte dann entsprechende Maßnahmen einleiten.

Zur kontextsensitiven Darstellung werden Gebäudedaten und Daten aus dem Facility-Management benötigt, wie z. B. Positionen von Brandschutzeinrichtungen. Wie diese dargestellt werden, wird im nächsten Abschnitt beschrieben.

5.5. Konzept für die Darstellung digitaler Brandschutzpläne

Die Einsatzkräfte der Feuerwehr sind durch ihre tägliche Arbeit gewohnt, mit verschiedenen brandschutzrelevanten Plänen zu arbeiten. Besonders bei der Farbgebung und den verwendeten Symbolen weisen alle untersuchten Plantypen große Gemeinsamkeiten auf. Die Farbgebung und Symbolik spielt demnach eine große Rolle in der schnellen Auffassung der örtlichen Gegebenheiten. So lassen sich zum Beispiel alle Elemente einer Brandmeldeanlage mit Hilfe von Piktogrammen eindeutig und aussagekräftig beschreiben.

Das Konzept für die Darstellung von digitalen Brandschutzplänen wurde unter Anleitung des Praxispartners Bureau Veritas Brandschutzservices GmbH erstellt. Hierbei wird auf die Piktogramme u. a. aus der DIN 14034-6 „Graphische Symbole für das Feuerwehrwesen“, der DIN 14675 „Brandmeldeanlagen“ und der DIN 14095 „Feuerwehrpläne für bauliche Anlagen“ zurückgegriffen. Dies wird in den nachfolgenden Abbildungen verdeutlicht.

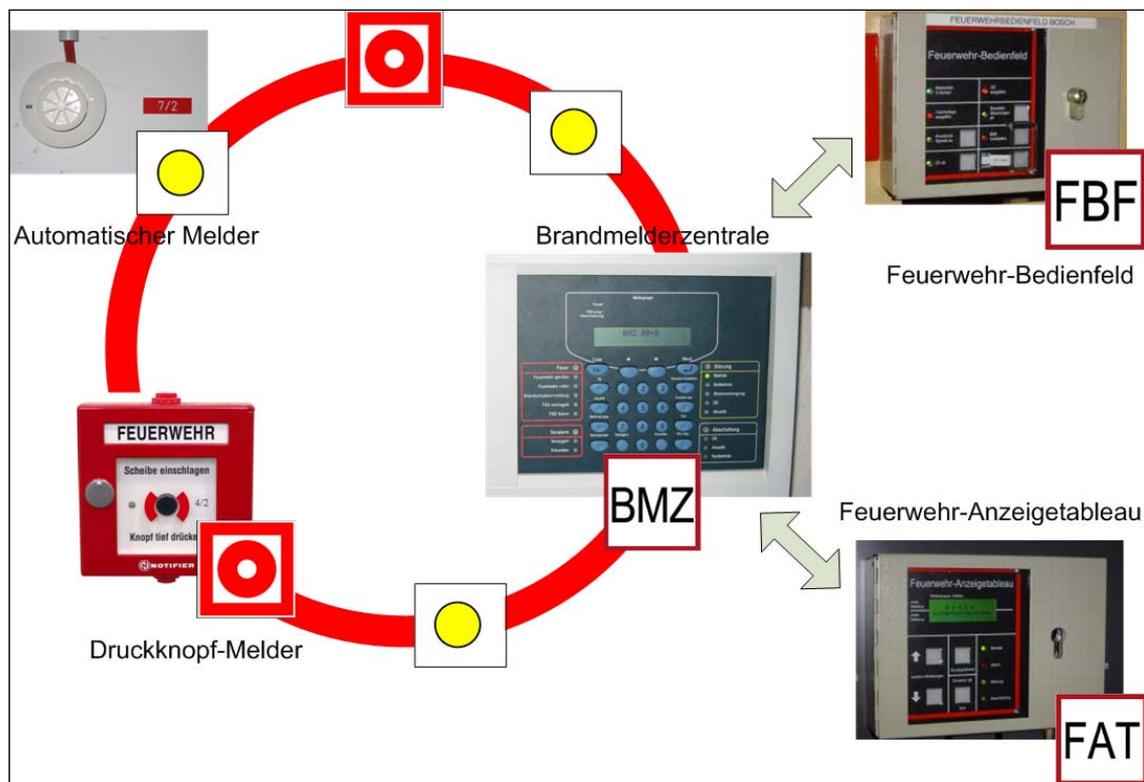
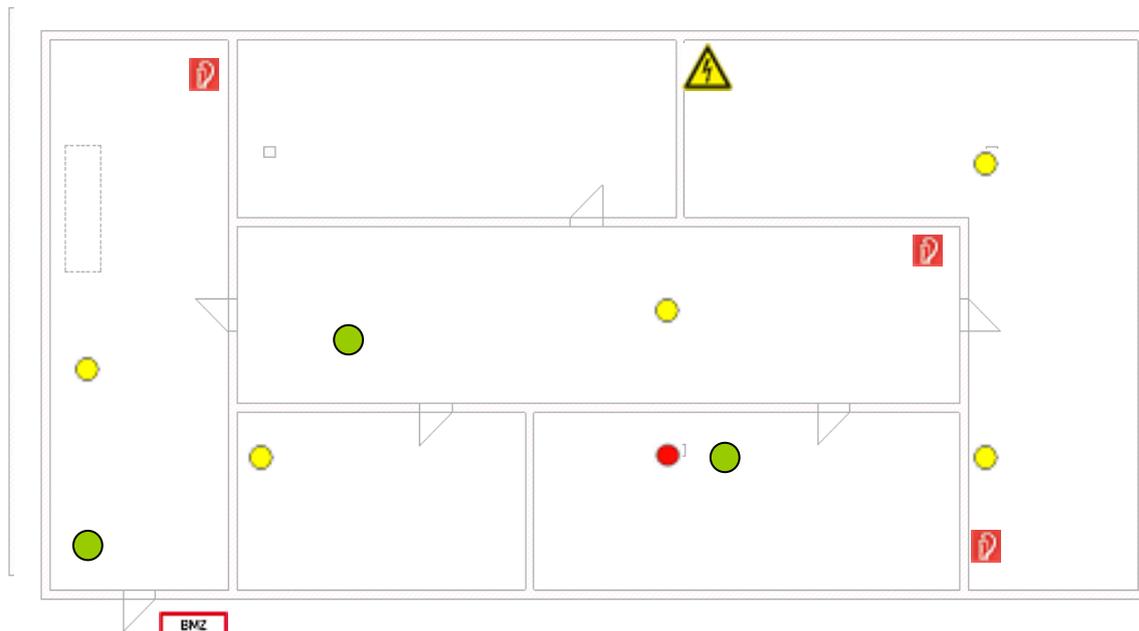


Abbildung 43: Aufbau einer Brandmeldeanlage / Symbolik für den Einsatzablauf [Schatz, 2008]

Für die Darstellung der digitalen Gebäudepläne ist vorgesehen, die Gebäudedarstellung möglichst übersichtlich zu halten und etagenweise darzustellen. Dies kommt den bisherigen Feuerwehrplänen und Laufkarten sehr nahe. Darüber hinaus ist vorgesehen einzelne Symbolkategorien ein oder auszublenden, sodass nur gerade benötigte Informationen angezeigt werden. Neben einer zweidimensionalen Darstellung für die Einsatzkräfte ist auch eine dreidimensionale Darstellung für Einsatzleiter und, für spätere Trainingszwecke (Einsatzanalyse), für die Feuerwehr vorgesehen.

Beispielhaft ist ein digitaler Gebäudeplan in der nachfolgenden Abbildung dargestellt.



Legende:

-  Automatischer Brandmelder
-  ausgelöster Brandmelder
-  Brandmeldezentrale
-  Feuerlöscher
-  Elektrik
-  Standorte Einsatzkräfte

Abbildung 44: Konzept Gebäudeübersicht

Zusätzlich zu diesen Symbolen ist das Einblenden von weiteren einsatzrelevanten Informationen im räumlichen Kontext (siehe Kapitel 5.4) vorgesehen, daher sollen Pläne nicht mit Symbolen und Informationen überfrachtet werden. Für jeden Plan gibt es die Möglichkeit auf den Bereich des eigenen Aufenthaltsortes zu zoomen und diesen dynamisch an die wechselnde Position anzupassen oder eine Übersichtsansicht über eine gesamte Etage einzublenden.

Eine detaillierte Beschreibung der Darstellung von digitalen Plänen würde den Rahmen dieses Berichtes sprengen, daher wird auf weitere zwei- und dreidimensionale Darstellungen im Kapitel 7.1 „Praxistest“ verwiesen.

Für die Anzeige von Brandschutzelementen müssen diese zunächst aus FM-Datenbanken importiert werden. Nachfolgend wird das Konzept für den Export von CAD-Daten aus den Systemen von Fraport beschrieben.

5.6. Konzept für den CAD- und FM-Datenaustausch

In Kapitel 4.7 wurde beschrieben, welche Software im Facility Management bei der Fraport AG eingesetzt wird. In Kapitel 4.8 wurde eine Auswahl vorhandener Exportformate genauer untersucht. Bei dieser Untersuchung zeigte sich, dass gbXML am besten geeignet ist.

gbXML kann aus vielen CAD-Programmen heraus exportiert werden, die ein so genanntes Building Information Model (BIM) intern verwalten.

„Unter Building Information Modeling versteht man die Erstellung und Verwendung koordinierter, konsistenter und exakter Gebäudedaten in der Planung. Diese Informationen können für die Entscheidungsfindung im Entwurfsprozess, bei der Erstellung hochwertiger Planungsdaten, für Leistungsprognosen, Kostenermittlung und Detailplanung sowie später auch für das Betreiben des Gebäudes verwendet werden“ [Autodesk Revit, 2009].

Im Rahmen des Forschungsprojektes „Kontextsensitives RFID-Gebäude-Leitsystem“ wurde daher entschieden, einerseits CAD-Daten über gbXML zu beziehen und zusätzlich ein eigenes Format für einen integrierten CAD- und FM-Datenaustausch zu entwickeln, für das eine Schnittstelle zu den unterschiedlichen CAD- und FM-Systemen bei der Fraport AG geschaffen werden soll.

Nachfolgend wird zunächst gbXML und in Kapitel 5.8 der Ansatz für das zu entwickelnde Format Building3D vorgestellt. Diese Darstellung basiert auf [Schatz, 2008].

5.6.1. green building XML (gbXML)

XML steht für Extensible Markup Language (engl. für „erweiterbare Auszeichnungssprache“). Es ist eine Auszeichnungssprache zur Darstellung hierarchisch strukturierter Daten in Form von Textdaten. Ein XML-Dokument besteht aus Textzeichen, im einfachsten Fall ASCII, und ist damit visuell lesbar. Entsprechen XML-Dokumente der vom [W3C, 2009] vorgegebenen Syntax, spricht man von „well-formed“ XML-Dokumenten. Das verwendete Schema ist gbXML in der Version 3.5 [gbXML-Schema, 2009].

XML-Dateien werden durch Schemasprachen wie die Document Type Definition (DTD) oder die XML Schema Definition (XSD) für den Datenaustausch vereinheitlicht. Entspricht ein XML-Dokument den Vorgaben eines Schemas, ist es gültig („valid“).

Das gbXML-Schema verfügt über eine umfangreiche Beschreibung des Gebäudemodells. Hierbei werden Bauteile über ihre Mittellinien definiert. Aufgrund der Komplexität des Gebäudemodells werden nachfolgend nur die für den Datenaustausch im Rahmen dieses Forschungsprojektes benötigten Geometrieobjekte dargestellt.

Jede XML-Datei beginnt mit dem Root-Element, dieses umfasst alle Unterelemente. Die Hierarchie bei gbXML sieht wie folgt aus:

```
<?XML version="1.0" ?>
<gbXML xmlns="http://www.gbXML.org/schema">
  <Campus>
    <Building>
      <Space>...</Space>
      ...
      <Space>...</Space>
    </Building>
    <Surface>
      <Opening>...</Opening>
    </Surface>
    ...
    <Surface>...</Surface>
  </Campus>
</gbXML>
```

Quellcode 1: gbXML Grundstruktur

Die einzelnen Grundelemente werden nachfolgend vorgestellt:

Campus

Ein Campus enthält mehrere Gebäude (Buildings) und dient zur Verwaltung einer Ansammlung von Gebäuden.

Building

Ein Building-Element ist ein Gebäude und verfügt über Gebäudespezifische Attribute, wie z. B. die Gebäudebezeichnung. Unterhalb eines Gebäudes sind Räume (Spaces) in der Hierarchie angeordnet.

Space

Räume (Spaces) gehören direkt zu einem Gebäude, eine Abbildung von Stockwerken wird in gbXML nicht vorgenommen.

Surface

Surfaces beschreiben Wände. Diese werden über ihre Mittellinie modelliert und verfügen über Referenzen (Raum-IDs) zu den jeweiligen Räumen, zu denen sie gehören. Verfügt eine Wand über zwei Raum-IDs ist es eine Innenwand, die diese beiden Räume trennt.

Opening

Mittels eines Openings können Fenster oder Türen beschrieben werden. Opening ist ein Unterelement von Surface und ist somit eindeutig einer Wand zugeordnet.

Die Verwendung der Geometrieobjekte wird in der nachfolgenden Skizze aufgezeigt (Abbildung 45:).

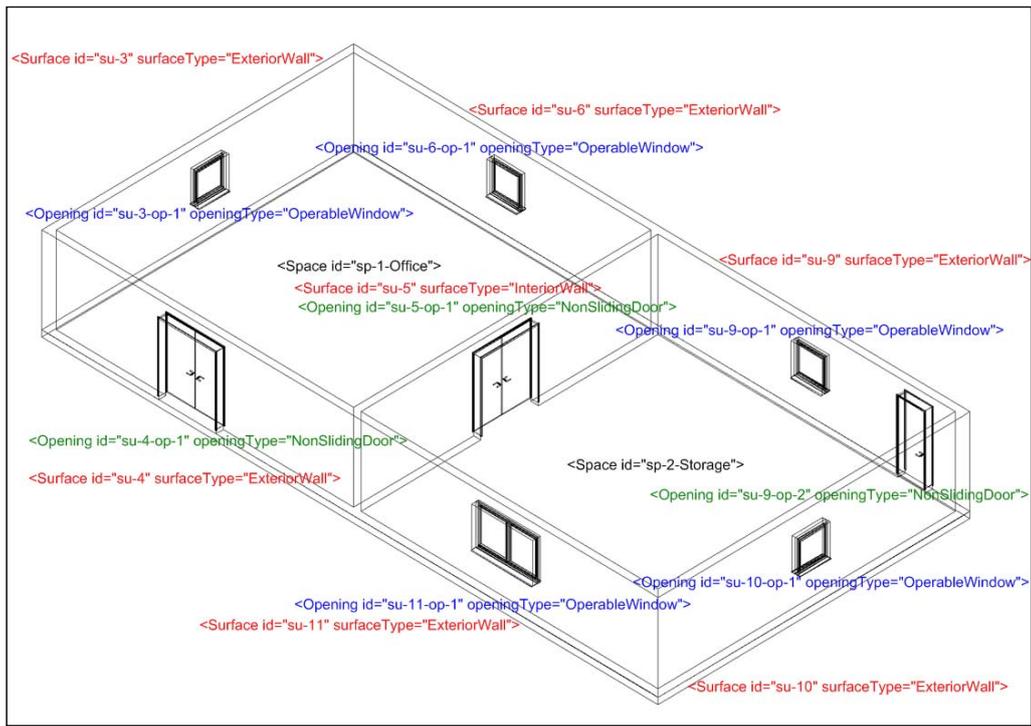


Abbildung 45: 3D-Gebäudemodell und gbXML-Elemente [Schatz, 2008]

Die Modellierung wird auf zwei Arten durchgeführt. Beide Modellierungsarten basieren auf einem einheitlichen Ursprung. Durch eine Rectangular Geometry werden z. B. Wände, Türen oder Fenster mit einem Basispunkt, der Breite, der Höhe und den beiden Drehwinkeln um die Z-Achse (Azimuth) und der Y-Achse (Tilt) modelliert (siehe Abbildung 46:).

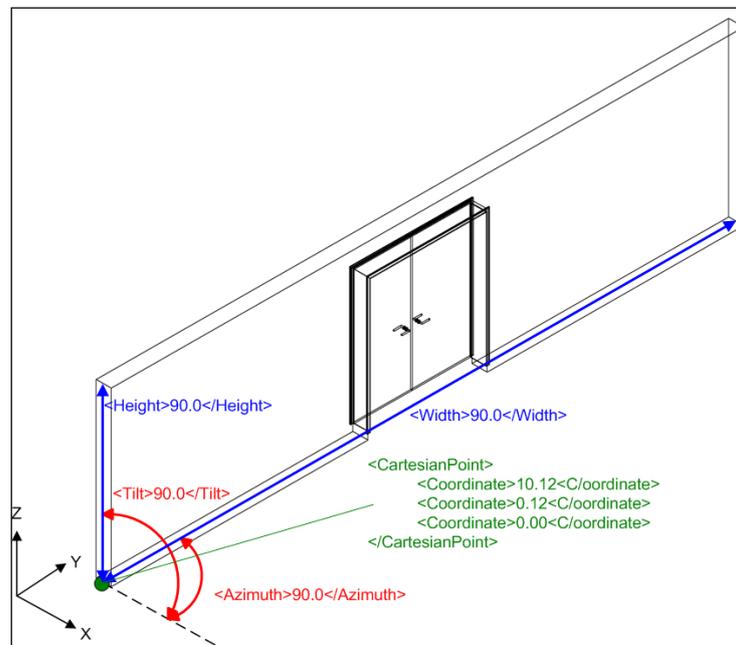


Abbildung 46: RectangularGeometry Modell [Schatz, 2008]

Alternativ werden Bauteile über eine ebene Geometrie (PlanarGeometry) als Fläche über die Eckpunkte des Bauteils beschrieben. Hierdurch kann mit einem Polygon ein Bauteil beschrieben werden (siehe Abbildung 47:).

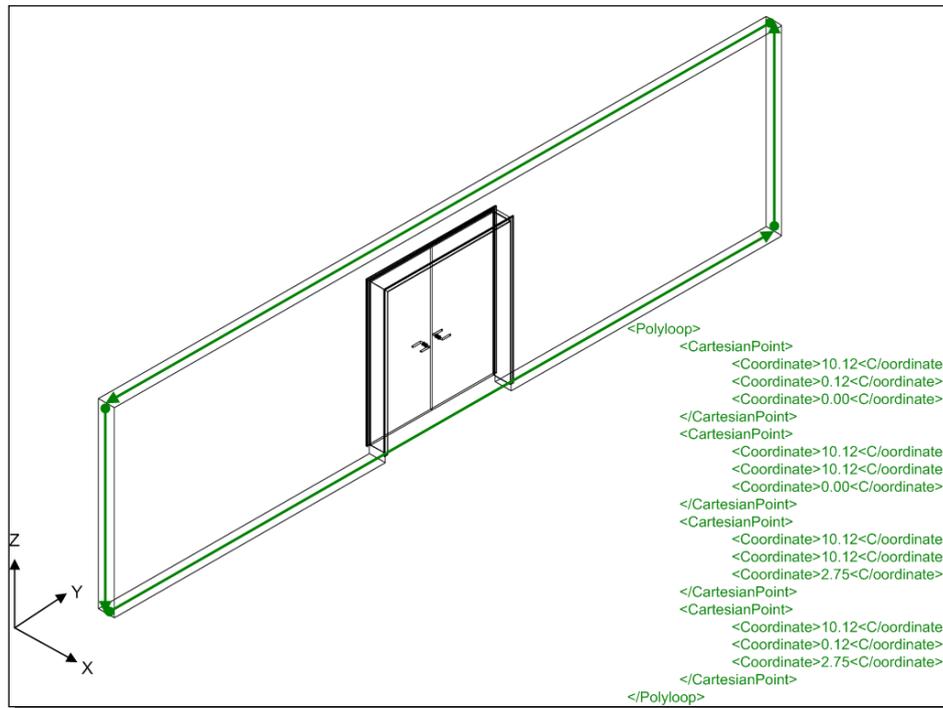


Abbildung 47: PlanarGeometry Modell [Schatz, 2008]

Der entscheidende Vorteil der Nutzung von gbXML liegt in der Beschreibung der Abhängigkeiten zwischen Wänden, Türen und Räumen. Die Wand verfügt über eine „SpaceIDRef“. Hierüber lassen sich Wände einzelnen Räumen zuordnen. Da die Öffnungen für Türen Unterknoten von Wänden sind, ist somit eine Zuordnung von Türen zu Räumen möglich.

Für die Erstellung von Routingnetzen in der zweiten Phase des Forschungsprojektes ist diese Abhängigkeit von entscheidender Bedeutung. Daher wurde bereits in der ersten Phase gbXML als Exportformat für CAD-Daten ausgewählt.

Für den direkten Datenaustausch mit den CAD- und FM-Systemen der Fraport ist eine weitere CAD-Lösung interessant, die nachfolgend dargestellt wird.

5.7. Innotec Enterprise Facility Manager

Für den Zugriff auf Gebäude- und Facility-Managementdaten der Fraport existiert mit dem Enterprise-Facility-Manager (EFM) der Firma Innotec GmbH [Innotec GmbH, 2009] eine Browserbasierte Lösung, die über das Intranet der Fraport AG verfügbar ist.

Der Enterprise Facility Manager ermöglicht die Darstellung von Grundrissen mit Raum- und Flächeninformationen. Über Assets werden gebäudetechnische Anlagen verwaltet, die mit den Facility-

Management-Datenbanken über Nacht abgeglichen werden können. Hierbei werden diese Assets in die jeweiligen Räume platziert.

Diese Lösung basiert auf dem CAFM System ActiveAsset Planner (Bentley). Dieser ist vollständig in die MicroStation CAD Welt integriert und ermöglicht eine CAD-gestützte Immobilienverwaltung [Innotec GmbH, 2009].

Die Firma Innotec wurde für das Folgeforschungsprojekt als Praxispartner gewonnen. Über ein zu entwickelndes XML-Format soll zukünftig der Datenaustausch von Gebäude- und FM-Daten mit der Indoor-Navigations-Integrationsplattform (INI) durchgeführt werden (siehe Abbildung 48:).

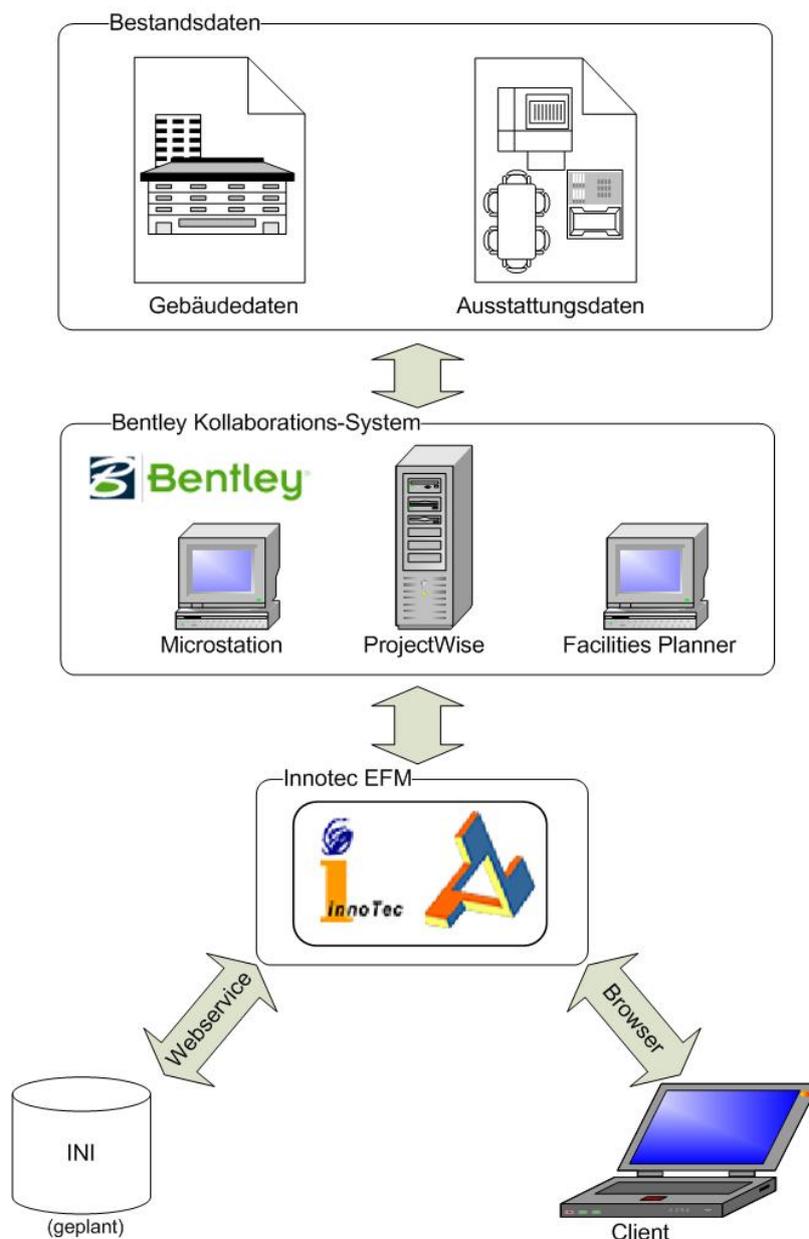


Abbildung 48: Innotec Enterprise Facility Management [Schatz, 2008]

Die Konzeption der neuen Schnittstelle wird im folgenden Abschnitt dargestellt.

5.8. Building3D

Die Fraport AG ist derzeit dabei für alle Gebäude 3D-CAD-Pläne zu erstellen. Derzeit liegen jedoch nur für die neueren Gebäude dreidimensionale Pläne vor. Um für zwei- und dreidimensionale Gebäude einen Import zu ermöglichen, wurde neben dem gbXML-Import ein Konzept für einen weiteren Import erstellt.

Mit dem Bentley „Facilities Planner“ liegen bei der Fraport AG für alle Gebäude Rauminformationen vor. Hierbei werden CAD-Pläne, die Räume als einfache Linien modellieren mit Rauminformationen und einem Raumumrisspolygon verknüpft.

Über dieses Raumumrisspolygon kann nun die Lage der Fenster und Türen über deren Mittelpunkte mit Angabe der Breite dargestellt werden. Hierbei müssen für Wände, Türen und Fenster standardisierte Höhen verwendet werden, da diese in bereit gestellt werden können.

Im Rahmen des Folgeforschungsprojektes soll dieser Ansatz verfolgt und somit eine Schnittstelle zu den FM-Datenbanken der Fraport AG geschaffen werden, über die tagesaktuelle CAD-Daten bezogen werden können. Hierfür wurde bereits ein XML-basiertes Austauschformat entworfen, das an gbXML angelehnt ist. Das Schema ist nachfolgend skizziert.

```
<?XML version="1.0" ?>
<building3D>
  <Campus>
    <Building>
      <Space>
        <Geometry2D>...</ Geometry2D >
      </Space>
    </Building>
  </Campus>
</gbXML>
```

Quellcode 2: building3D Grundstruktur

Ein Gebäude wird analog zu gbXML über einen Campus, ein Building und einen Space modelliert. Innerhalb des Space-Elements kann zusätzlich ein Element für die 2D-Geometrie integriert werden. Hierdurch lassen sich die für die Beschreibung benötigten Informationen auf wenige Angaben reduzieren. Abbildung 37 zeigt diese, auf 2D reduzierte, Geometrie.

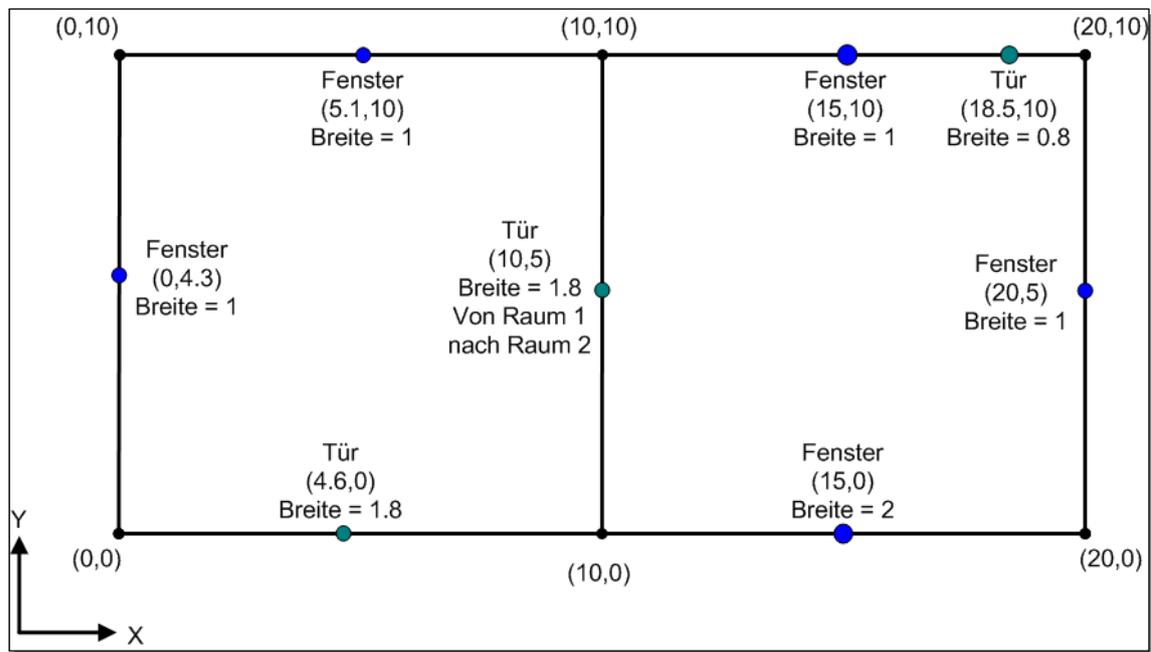


Abbildung 49: Reduzierte Gebäudegeometrie [Schatz, 2008]

Hierbei wird vereinfachend der Raummriss gespeichert. Die Informationen zu den Öffnungen werden mit Mittelpunkt, Breite und Typ innerhalb eines Raumes abgelegt.

5.9. Analyse der Gebäudedaten und Konzept zur Speicherung

Die in Kapitel 5.6 beschriebenen Gebäudedaten im gbXML-Format und zukünftig auch die Daten aus dem Enterprise Facility Manager von Innotec sollen zusammen mit Einsatzdaten in der zentralen Gebäude- und Navigationsdatenbank gespeichert werden. Hierfür wurde die Datenstruktur mittels eines Entity Relationship Models (ERM) analysiert und die Abhängigkeiten bestimmt. Die Bedeutung der einzelnen Entities wurde bereits in Kapitel 5.6.1 erläutert.

Beispielhaft ist das ERM für den Bereich der Gebäudedaten dargestellt:

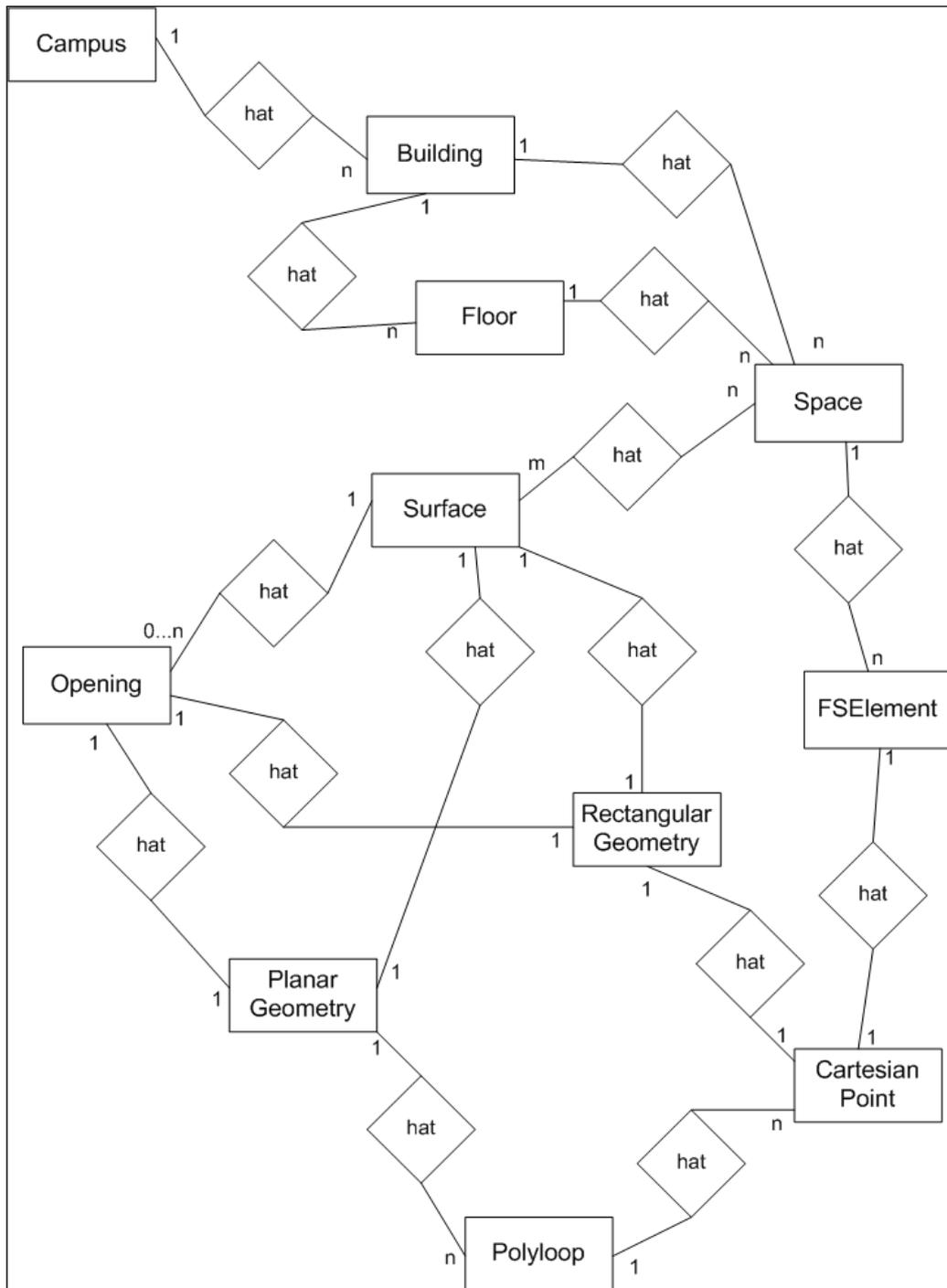


Abbildung 50: Datenbank ERM-Diagramm Teil Gebäudedaten [Schatz, 2008]

Es wird deutlich, dass die Struktur der ERM-Knoten in ein Beziehungssystem von 1:1-, 1:n- oder m:n-Beziehungen überführt wurde. Diese Struktur lässt sich nun in ein relationales Datenmodell für eine relationale Datenbank überführen.

5.10. Datenbankentwurf

In der folgenden Abbildung ist der Datenbankentwurf für die zentrale Gebäude- und Navigationsdatenbank dargestellt. Er besteht aus zwei Bereichen, dem Bereich für die BIM-Daten und dem Bereich für den Einsatz der Feuerwehr.

Im Bereich der Feuerwehr sind die einzelnen Nutzer des Systems über die Tabelle SysUser abgebildet, sie sind einer Funktionsgruppe (FunctionGroup) zugeordnet (Zuordnung zu einer Position innerhalb der einsatztaktischen Einheiten). Eine Funktionsgruppe gehört zu einem Fahrzeug.

Einsätze werden über die Tabelle „Operation“ abgebildet. In dieser werden den Einsätzen Hauptmelder, Linien und Melder zugeordnet. Auf Grund der inhomogenen Struktur der Brandmeldesysteme am Frankfurter Flughafen, erhält die Einsatzleitzentrale, je nach Modell des Brandmeldesystems, die Hauptmeldernummer, die Liniennummer oder im günstigsten Fall auch die Meldernummer angezeigt. Diese Daten werden dann an die Einsatzleitung der Flughafenfeuerwehr weiter gegeben. Im Falle der Meldung einer Hauptmeldernummer hat die Feuerwehr erst an der Brandmeldezentrale die Möglichkeit, genauere Daten zu erfahren. Sobald genauere Informationen über den ausgelösten Melder vorliegen werden diese in der Datenbank aktualisiert. Aus diesem Grund finden sich in allen drei Tabellen Fremdschlüssel der Tabelle „Operation“.

Der zweite Bereich ist der Bereich „BIM-Daten“. Dieser umfasst die Umsetzung des im vorigen Abschnitt beschriebenen ERM-Diagramms in einen Datenbankentwurf. Hierüber werden die Gebäudedaten des Building Information Models (BIM) in der Datenbank abgelegt. Darüber hinaus berücksichtigt die Tabelle FSELEMENT alle brandschutzrelevanten Elemente, die nicht einer Linie oder einem Hauptmelder zugeordnet sind, z.B. Feuerlöscher, siehe Abbildung 51:

Neben der Abbildung der Daten in einem Datenbankmanagementsystem ist der Zugriff auf verschiedene Art und Weise zu realisieren. Die Anforderungen hierfür werden im nächsten Abschnitt ermittelt.

5.11. Anforderungen an den Datenzugriff der Gebäude- und Navigationsdatenbank mit mobilen Endgeräten

Um ein Indoor-Leitsystem für Einsatzkräfte der Feuerwehr umzusetzen, werden Anforderungen an den Datenzugriff gestellt. Zum einen werden Anforderungen an die Verfügbarkeit, zum anderen an die Datensicherheit gestellt.

Das Kontextsensitive RFID-Gebäude-Leitsystem ist, wie in den vorigen Abschnitten beschrieben, als System mit einer zentralen Gebäude- und Navigationsdatenbank (Indoor-Navigations-Integrationsplattform) konzipiert. Hierdurch ist ein ununterbrochener Zugriff der Nutzer erforderlich. Nur so können Einsatzkräfte ihre aktuellen Positionen vom Server beziehen. Zusätzlich benötigt der Einsatzleiter auch alle aktuellen Daten seiner Einsatzkräfte.

Gerade im Einsatzfall kann es jedoch in Gebäuden zu Stromausfällen durch technische Defekte oder Brände kommen. Hierbei muss die Zugriffsmöglichkeit notfalls über einen alternativen Zugangskanal möglich sein.

Im unwahrscheinlichen Fall eines Ausfalls aller technischen Kommunikationskanäle sollte das System jedoch für die Einsatzkraft eine Ersatzortung bereitstellen, die eine näherungsweise Bestimmung seiner Position zulässt.

Neben der Anforderung der Ausfallsicherheit werden an die Datensicherheit ebenfalls Anforderungen gestellt. Da es sich bei Flughäfen um Infrastruktureinrichtungen mit hohem Publikumsverkehr handelt, sind sie in der Regel auch als neuralgische Punkte für Manipulationen aller Art und terroristische Angriffe zu sehen. Daher ist es erforderlich, dass Daten auf ihrem Weg von der zentralen Gebäude- und Navigations-Datenbank zu den mobilen Endgeräten sicher sind und nicht ausgelesen oder manipuliert werden können.

Die Anforderungen werden nachfolgend zusammengefasst:

- Positionsabfragen von mobilen Endgeräten an die INI müssen für Einsatzkräfte und Einsatzleiter möglich sein.
- Alternative Kommunikationskanäle müssen im Fall eines Defektes oder Ausfalls eines Kommunikationskanals bereitstehen.
- Im „Worst Case“ muss eine näherungsweise Positionsbestimmung für Einsatzkräfte zur Orientierung möglich sein.
- Daten müssen verschlüsselt übertragen werden, um sie vor unberechtigten Zugriffen und Manipulationen zu schützen.

Für diese Anforderungen und das zuvor erläuterte Datenbankkonzept wird im nächsten Abschnitt die Umsetzung des Kontextsensitiven RFID-Gebäude-Leitsystems dargestellt.

6. Prototypische Implementierung

Bisher wurde das Konzept für die Indoor-Navigations-Integrationsplattform vorgestellt und die Ortungstechnologien erläutert. In diesem Kapitel wird die prototypische Implementierung erläutert und dargelegt, wie die einzelnen Ortungstechniken zusammengefügt werden und der Datenaustausch realisiert wird.

6.1. Umsetzung der Indoor-Navigations-Integrationsplattform mittels Webservices

Wie in Kapitel 5.11 zusammengefasst wurde, gibt es zahlreiche Anforderungen an den Datenaustausch. Hierbei muss auf eine Zugriffsmöglichkeit mit unterschiedlichen mobilen Endgeräten, eine Anbindung über verschiedene Kommunikationskanäle und einen sicheren Datenzugriff geachtet werden.

Um einen Zugriff auf alle Daten zu ermöglichen, bietet sich der Einsatz eines Webservers an. Als Webserver bezeichnet man einen Computer, der Dokumente für mehrere Computer innerhalb eines Netzwerkes bereitstellt. Webserver können sowohl intern innerhalb eines geschlossenen Netzwerkes (Intranet) oder aber im World Wide Web für jeden zugänglich betrieben werden. Dazu kommt, unabhängig von der auf dem Webserver verwendeten Software oder dem clientseitigen Webbrowser, ein standardisiertes Übertragungsprotokoll zum Einsatz, das Hypertext Transfer Protocol (http), welches auf XML basiert. Neben der einfachen Datenübertragung existiert eine verschlüsselte Variante dieses Protokolls (https) zur sicheren Authentifizierung und Datenübertragung.

Ähnlich wie Nutzer mit ihrem Webbrowser Daten von einem Webserver anfordern, können Programme Daten von einem Webservice, der auf einem Webserver läuft, mittels eines XML-basierten Protokolls anfordern. Ein Webservice ist eine im Netz bereitgestellte Komponente, die eine Abstraktionsebene einer Anwendungslogik darstellt. Das erklärte Ziel ist die Interoperabilität von Softwaresystemen, um unabhängig von Plattform und Programmiersprachen miteinander kommunizieren und arbeiten zu können [Golem, 2009]. Webservices sind nicht für menschliche Benutzer gedacht, sondern für Softwaresysteme, die Daten automatisiert austauschen und/oder Funktionen auf entfernten Rechnern aufrufen. Hierfür wird auch das http- oder https-Protokoll verwendet. Der typische Einsatzfall von Webservices ist in der folgenden Abbildung dargestellt.

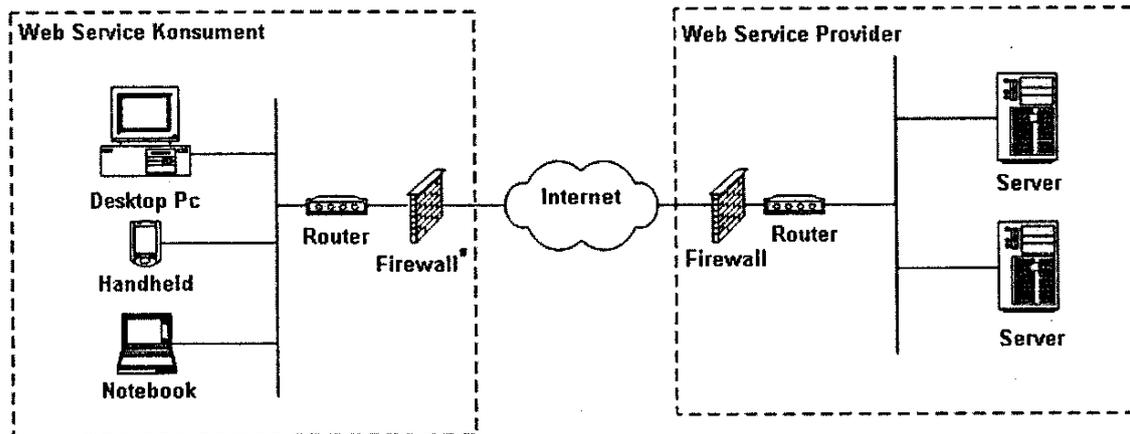


Abbildung 52: Systemstruktur bei Einsatz eines Webservices [Kotz, Pfeffer, & Klaubert, 2002]

Auf Grund der Verbreitung von Webservices und der einfachen Integrierbarkeit in verschiedenste Anwendungen wurde für die Indoor-Navigations-Integrationsplattform ein Webservice gewählt, über den der Datenaustausch realisiert wird.

Nachfolgend sollen die Kommunikationsabhängigkeiten zwischen den einzelnen Applikationen im Einsatzfall betrachtet werden (siehe Abbildung 53:)

- Die Leitstelle fügt den aktuellen Brandort in das System ein, worauf ein Einsatz generiert wird.
- Einsatzkräfte und Einsatzleiter fragen CAD-Daten, Daten über den Brandort und aktuelle Positionen ab bzw. senden ihre aktuellen Positionen an den Webservice. Zusätzlich können Einsatzmeldungen und Notrufe gesendet und empfangen werden.

Darüber hinaus findet, wie in Abbildung 42: dargestellt, auch ein Datenaustausch (aktuelle Positionen) zwischen dem Webservice und den Location-Providern (WLAN- und UWB-Ortung) statt.

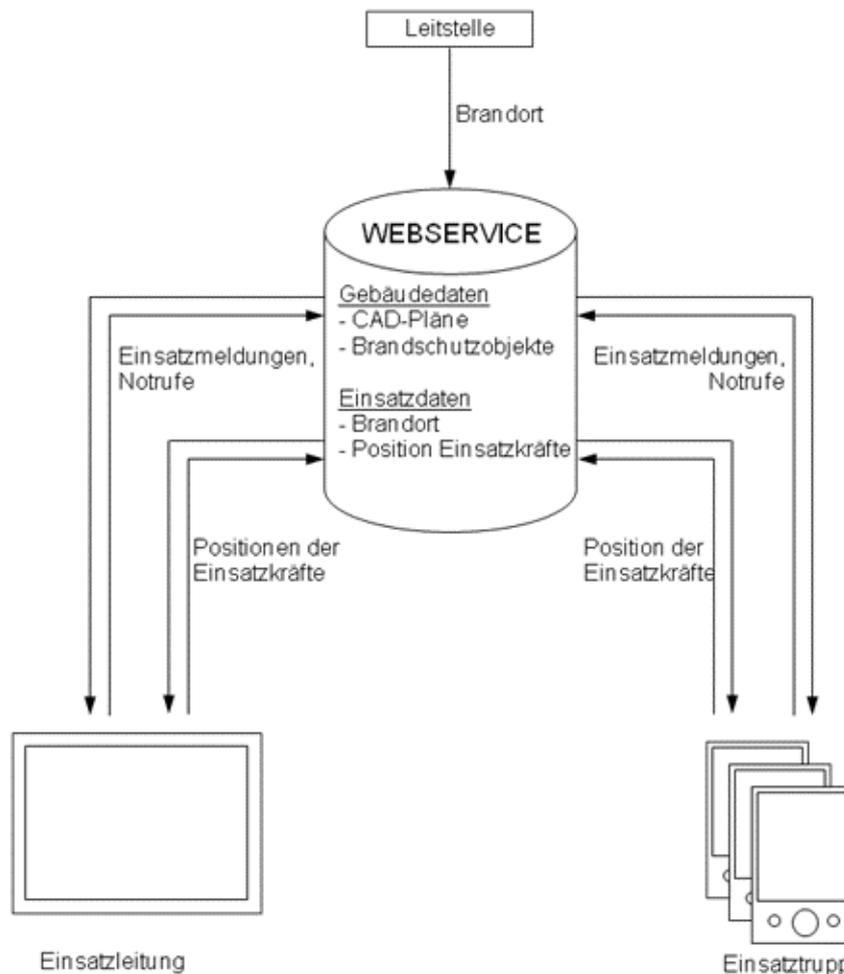


Abbildung 53: Kommunikationsabhängigkeiten im Einsatzfall

Bezugnehmend auf die Anforderungen aus Kapitel 5.11 lassen sich mit der Nutzung eines Webservices für die Indoor-Navigations-Integrationsplattform alle Anforderungen erfüllen:

- Zugriff ist über ein Netzwerk jederzeit möglich.
- Datensicherheit kann durch die Nutzung von SSL-Verbindungen umgesetzt werden.
- Firewalls auf den Geräten sind aufgrund der Nutzung von Standardprotokollen kein Hindernis und können einfach konfiguriert werden.
- Für den Datenzugriff ist eine Netzwerkverbindung erforderlich, die über WLAN, UMTS oder GPRS hergestellt werden kann. Somit kann im Falle eines Ausfalls einer Verbindung abhängig von der Ausstattung des jeweiligen mobilen Endgerätes eine Ersatzverbindung aufgebaut werden. (Ein Datenzugriff über Tetra-BOS ist aufgrund der geringen Datenübertragungsraten derzeit nicht möglich, siehe Kapitel 3.5. Mit Einführung von TEDS in einigen Jahren könnte jedoch nach derzeitigem Stand der Informationen der BOS-Funk als Rückkanal genutzt werden.)

Der erstellte Webservice enthält Methoden mit Hilfe derer alle benötigten Informationen ausgetauscht werden können. Hierbei lassen sich sowohl CAD-Daten in Form von XML-Dokumenten (siehe Kapitel 5.6) übertragen, als auch Einsatzdaten der Einsatzkräfte abfragen.

6.2. Endgeräte und Ortungstechniken

Für das RFID-Gebäude-Leitsystems sind zur Positionsbestimmung unterschiedliche Ortungssysteme und unterschiedliche Anwendungen vorgesehen. Die Software ist für Einsatzkräfte, Einsatzleiter aber auch für die Leitstelle und die Administration vorgesehen und hierfür wurden verschiedene Anwendungen entwickelt.

Für Trupps und Staffelführer, die während eines Einsatzes in erster Linie außerhalb des Gebäudes postiert sind, bietet sich die Verwendung von Tablet-PCs an. Dies liegt u.a. an der Forderung nach einem Überblick über die Position im Gebäude bzw. die im Einsatz befindlichen Trupps, was an Hand eines größeren Displays ermöglicht werden kann.

Da der Staffelführer als befehlsgebende und leitende Instanz als erstes am Einsatzort eintrifft, benötigt dieser zusätzliche einsatzlenkende Funktionen. Durch die Möglichkeit, Verstärkung anzufordern und fehlende Angaben zum Einsatzziel (Linie und Melder) einzugeben, wird dieser Forderung Rechnung getragen. Muss der Staffelführer vor Ort in den Einsatz eingreifen und sich in das betreffende Gebäude begeben muss, ist auch hier eine Ausstattung der mobilen Endgeräte mit WLAN-Karte, RFID-Lesegerät und UWB-Tag, gleichwertig wie bei denen der Trupps, vorgesehen.

Einsatzleitung betritt das Gebäude in der Regel nicht, sondern befindet sich in der Einsatzleitstelle oder bei Großeinsätzen innerhalb eines Einsatzleitwagens (ELW), Hierfür wurde eine Applikation entwickelt, die auf stationären PCs lauffähig ist..

Für die Ortungstechniken werden verschiedene Geräte benötigt, die im nächsten Abschnitt genauer erläutert werden sollen.

6.2.1. WLAN-Ortung

Für die Ortung mittels WLAN sind WLAN-Access-Points notwendig. In Gebäuden des Praxispartners Fraport sind hier meist professionelle WLAN-Lösungen vorhanden. Für die Erstellung eines Prototypen sind mehrere handelsübliche Access-Points (AP) und entsprechende mobile Endgeräte, ausgestattet mit WLAN-Karten, ausreichend.

In diesem Forschungsprojekt wurde die Software der Firma Ekahau verwendet. Diese funktioniert nur mit durch Ekahau verifizierte Access-Points und WLAN-Karten. Da je nach Hersteller und Modell der WLAN-Karten die Signalstärken unterschiedlich ausgewertet werden, können nur von Ekahau eingemessene WLAN-Karten verwendet werden.

Eine auf dem Client installierte Software ermittelt die Signalstärken zu den einzelnen WLAN-Access-Points und sendet diese an die Ekahau-Positioning-Engine. Hierzu ist lediglich der Zugang zu einem Access-Point notwendig. Zu allen anderen Access-Points wird kein Zugang benötigt, hier ist lediglich die Messung der Signalstärken erforderlich.

UWB-Ortung

Für die Ortung mittels Ultra Wide Band (UWB) wird ein Netzwerk von UWB-Sensoren benötigt. Im Rahmen des Forschungsprojektes wurde das UWB-Ortungssystem der Firma Ubisense in der Version V1 verwendet. Für eine Ortung werden mindestens 4 Sensoren, die an den Ecken beispielsweise eines Raums installiert werden, benötigt. Diese UWB-Sensoren erfassen die im Überwachungsbereich befindlichen UWB-Transponder mit 160 Hz, d.h. Messdauer 6,25 ms pro Messung [Ubisense, 2007]. UWB-Sensoren müssen sowohl über einen Zugang zum Ethernet, als auch über eine direkte Verbindung zum Mastersensor verfügen, um eine Zeitsynchronisation mit dem Mastersensor durchführen zu können. Über eine Verbindung des Mastersensors zur Positioning Engine wird die Position auf einem Server ermittelt.

Einsatzkräfte, die im Gebäude geortet werden sollen müssen einen UWB-Transponder mit sich führen. Der Transponder kann am Helm oder am mobilen Endgerät befestigt werden, wobei sich die Positionsermittlung bei einer exponierten Position als deutlich besser herausgestellt hat..

6.2.2. RFID Tags und Lesegeräte

Da die RFID-Ortung aufgrund der größeren Reichweiten mit aktiven Tags realisiert wird, werden Lesegeräte benötigt, die mit einem TabletPC mobil betrieben werden können. Es werden der i-Card CF Reader und dazu passende Tags (ILR-i Q-Tags) der Firma Identec-Solutions [Identec Solutions, 2009] verwendet.

Da die RFID-Tags vorwiegend in Kellerbereichen und Tiefgaragen verwendet und dort an Wänden oder Decken befestigt werden, ist es wichtig, kleine Ausführungen für die mobilen Lesegeräte zu verwenden um Einsatzkräfte möglichst wenig in ihrer Arbeit zu behindern. Im Rahmen der prototypischen Entwicklung wird ein RFID-Reader im CompactFlash-Format verwendet, das in verschiedenen mobilen Endgeräten eingesetzt werden kann.

Die eingesetzten ILR-i-Q8-Tags verfügen neben einem großen Betriebstemperaturspektrum auch über einen Datenspeicher von 7.855 Bytes, der das Speichern von zusätzlichen Informationen (z.B. Koordinaten, kontextsensitive Informationen etc.) ermöglicht. Die Verwendung von kleinen Stabantennen und aktiven RFID-Transpondern macht es möglich, RFID-Transponder ohne direkte Ausrichtung des Lesegerätes auf den Transponder zu ermöglichen. Für die Positionsbestimmung werden die Koordinaten, an denen sich die RFID-Transponder befinden, auf dem Transponder

gespeichert. Hierdurch wird auch eine Autarke Ortung ermöglicht, sofern die Kommunikationsverbindung zur INI besteht.

6.3. Komponenten der Indoor-Navigations-Integrationsplattform (INI)

Die oben beschriebenen Hardwarekomponenten sind zusammen mit dem Webservice, der Gebäude- und Navigationsdatenbank, den Location Providern und den Applikationen für die Einsatzkräfte die Indoor-Navigations-Integrationsplattform. In diesem Kapitel wird auf die Funktionsweise der Location-Provider und deren Einbindung in die INI und die Softwareapplikationen eingegangen.

Als Frontend stehen dem Anwender verschiedene Softwaretools zur Verfügung. Diese bestehen aus Einsatzsoftware (Trupp-, Staffelführer und Leitstelle), zur Verwendung für den Einsatzfall, und Verwaltungssoftware (Systemadministration) zur Pflege des Systems.

Die Systemstruktur der INI ist in der folgenden Abbildung dargestellt und wird nachfolgend erläutert.

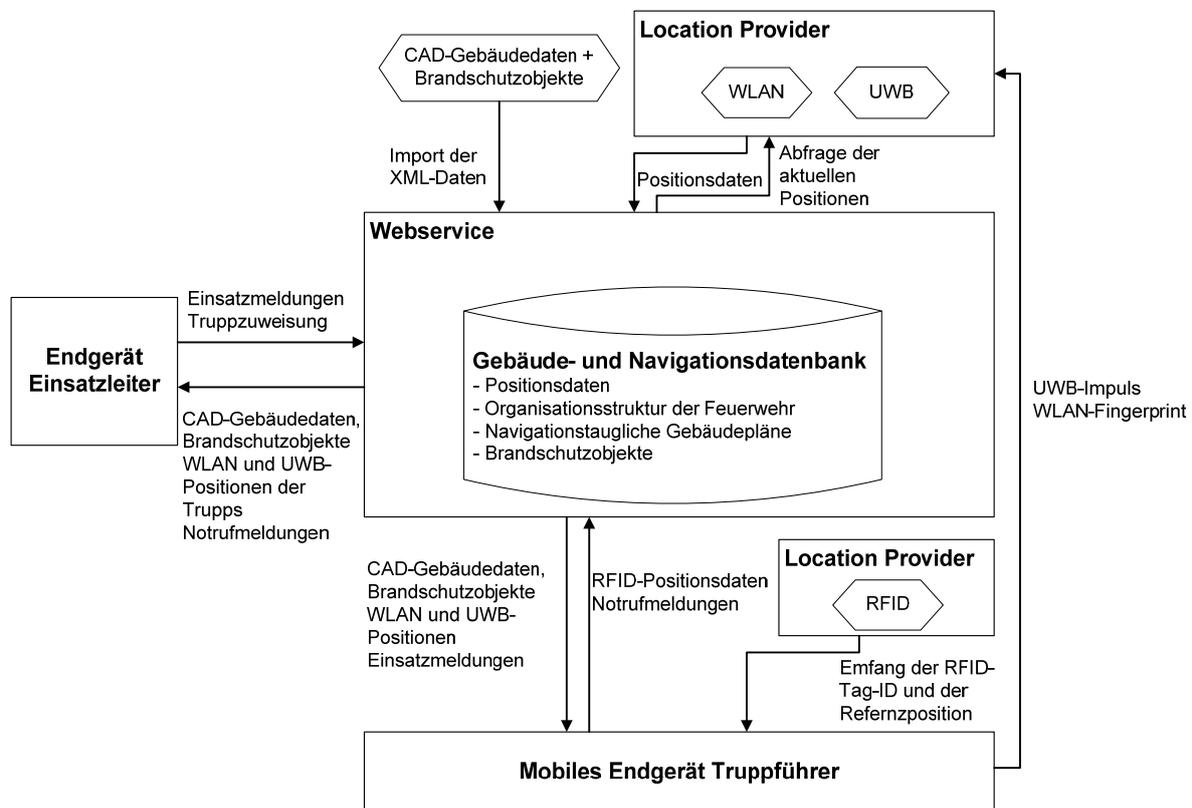


Abbildung 54: Systemkomponenten der INI

6.3.1. Location Provider WLAN

Der Location Provider für die WLAN-Ortung wird durch die Ekahau Positioning Engine realisiert.

Um eine Ortung über die Ekahau Positioning Engine durchführen zu können, muss dieses System zunächst in der Einsatzumgebung integriert und eingemessen werden. Hierzu ist eine Positionierung von Access-Points (AP) notwendig, die ein flächendeckendes Netz gewährleisten und an jeder Stelle

der Umgebung eine Erreichbarkeit von mindestens drei AP ermöglichen müssen. Die Genauigkeit der Ortung lässt sich hierbei erhöhen, je mehr APs jeweils für die Ortung gleichzeitig gesehen werden können. Um ein gegenseitiges Auslösen der Signale im Empfangsbereich zwischen den APs zu vermeiden, sollten die Frequenzen der angrenzenden AP aufeinander abgestimmt sein. Im europäischen Raum stehen hierzu die Kanäle 1-13 zur Verfügung, wobei diese sich jedoch überlappen. Um Überlappungen auszuschließen, sollten nebeneinander liegenden APs unterschiedliche Kanäle zugewiesen werden. So bieten sich die überlappungsfreien Kanäle 1, 6 und 11 an. Ebenso lässt sich über die Funktion des Roamings beim WLAN eine schnelle und kontinuierliche Netzverbindung zwischen Client und APs gewährleisten.

Für die Einmessung, d.h. die Erfassung der Fingerprints auf dem zu betrachtenden Gebiet, steht der Ekahau Site Survey zur Verfügung. Auf einer als Basis fungierenden Umgebungskarte werden die möglichen Laufwege (Railways), Räume und Übergabepunkte (Stockwerkwechsel) eingetragen und definiert. Parallel zum Ablaufen aller möglichen Laufwege bzw. der Erkundung von Open Spaces (definierte Räume, in denen freie Bewegung möglich ist), werden die Routen auf der Karte markiert und automatisch mit den ermittelten Signalstärken verbunden.

Durch den Export der fertigen Erkundung (Fingerprint) zur Ekahau Positioning Engine wird der vorbereitende Prozess zur Ortung abgeschlossen.

Die zentrale Ortungskomponente ist die Ekahau Engine. Auf Basis der Einmessdaten ermittelt sie die Positionen der einzelnen WLAN-Clients. Hierzu senden die mobilen Endgeräte ihre erstellten Fingerprints an die Engine. Diese werden mit den in einer integrierten Datenbank hinterlegten, durch Site Survey ermittelten, Signalbildern verglichen und die entsprechende Position berechnet.

Über einen eigenen Webservice, der im XML Format Informationen zur Verfügung stellt, lassen sich die Positionen der aktiven WLAN-Geräte abrufen. Da diese in einem lokalen Koordinatensystem vorliegen, ist eine Koordinatentransformation erforderlich.

Der Ekahau Client muss zum Zwecke der Ortung auf den mobilen Endgeräten installiert sein. Seine Aufgaben umfassen die Kommunikation mit der Ekahau Positioning Engine und das Erfassen der Signalstärken. Hierzu liest er in einem voreingestellten Zyklus die empfangenen Signalstärken der Access-Points aus und übermittelt diese als so genannter Fingerprint an die Ekahau Positioning Engine.

6.3.2. Location Provider UWB

Für die Ermittlung der Positionen in mit UWB abgedeckten Bereichen wird das System von Ubisense verwendet. Es stellt automatisch eine Verbindung zu den eingebundenen UWB-Sensoren her und berechnet die aus den durch die UWB-Tags und den UWB-Sensoren ermittelten Werten über die Signallaufzeit und den Winkel der eintreffenden Signale die Position des UWB-Tags. Diese Position

bezieht sich auf das lokale Koordinatensystem, das sich auf Grund der Lage der UWB-Sensoren und dem daraus entstehenden Netz bildet. Die Speicherung der letzten Position der UWB-Tags wird durch eine integrierte Datenbank gewährleistet. Abgreifbar sind die Positionen durch eine Schnittstelle im Ubisense eigenen Format.

Da es sich hierbei um lokale Koordinaten handelt, ist eine Umrechnung in Koordinaten des verwendeten Gebäudes erforderlich. Dies erfolgt durch eine Koordinatentransformation in einem Location Adapter.

6.3.3. Location Provider RFID

Die Ortung mittels aktiver RFID-Tags ist eine eigenständige Lösung und kommt zeitweise auch ohne Verbindung zur INI aus. Für die Ortung werden von einem in das mobile Endgerät integrierten RFID-Leser die RFID-Tags in Reichweite ausgelesen. Durch Lesereichweiten von mehr als 10 m in Gebäuden lassen sich aktive RFID-Tags im Vorbeigehen auslesen. Anhand der Tag-ID werden die Koordinaten des RFID-Tags aus einer Gebäude- und Navigationsdatenbank ausgelesen. Für die Ortung wird die Position des RFID-Tags als Referenzposition verwendet. Die ermittelte Position der Einsatzkraft wird über den Webservice in der Gebäude- und Navigationsdatenbank gespeichert. Hierdurch stehen die Positionen der Trupps auch für Einsatzleiter zur Verfügung. Um das System unabhängig von der INI zu machen, sind die Koordinaten zusätzlich auf den RFID-Tags abgelegt. Hierdurch wird auch eine Positionsbestimmung ohne Verbindung zur INI möglich.

Da die RFID-Ortung vorwiegend für Kellerräume und Tiefgaragen eingesetzt wird, in denen geringere Genauigkeitsanforderungen an die Position gestellt werden, als in anderen Bereichen, ist eine Platzierung der Tags in größeren Abständen ausreichend. An Punkten, an denen Tags in geringeren Abständen angebracht werden müssen, kann die Sendeleistung des RFID-Readers herunter gesetzt werden, hierdurch werden weiter entfernt liegende Tags nicht mehr erkannt.

6.3.4. Ermittlung der Positionsdaten

Während die Ortung mittels RFID-Tags auch eigenständig funktioniert, ist für die WLAN- und UWB-Ortung eine Netzwerkverbindung notwendig. Hierzu müssen die zwei Ortungsplattformen von Ekahau und Ubisense an die INI angeschlossen werden. Jedes dieser Programme stellt eine eigenständige Verbindung zu den entsprechenden Sensoren, Sendern und mobilen Endgeräten her und errechnet deren lokale Position, (siehe Abbildung 54:).

Über Schnittstellen innerhalb des erstellten WebServices wird es möglich, die angeschlossenen Ortungsplattformen zu integrieren und die vorliegenden Positionsdaten auch außerhalb dieser Plattformen zu verwenden. Durch die Implementierung eines Timers wird der Abruf von Positionsdaten automatisiert und eine kontinuierliche Weiterverarbeitung mittels Location Adapter

ermöglicht. Diese umfasst beispielsweise die Transformation der lokalen Koordinatenangaben der angeschlossenen Plattformen in ein global gültiges Format und eine Plausibilitätsprüfung der ermittelten Positionen.

Die Darstellung der ermittelten Positionen findet mit den entwickelten Applikationen für die Einsatzkräfte der Feuerwehr statt, die im nachfolgenden Abschnitt erläutert werden.

6.3.5. Benutzungsoberflächen der INI

Aktuelle Positionsdaten, die in der INI gespeichert werden, müssen für Einsatzkräfte aufbereitet und grafisch dargestellt werden. Hierfür sind für die am Einsatz beteiligten Personen (siehe Einsatzablauf in Kapitel 3.3.2) verschiedene Anwendungen erstellt worden, die in diesem Abschnitt dargestellt werden. Diese Darstellung basiert auf [Stübbe, 2010].

Es sind Applikationen für die Einsatzleitstelle bzw. den Einsatzleiter (2D und 3D), für Truppführer und Staffelführer und eine grafische Programmoberfläche für einen Systemadministrator entworfen und implementiert worden.

Einsatzkräfte der Feuerwehr sind mit Schutzausrüstung, Atemschutzgerät und weiterem technischen Equipment ausgestattet. Darüber hinaus tragen sie Schutzhandschuhe. Um Einsatzkräften eine einfache und intuitive Bedienung der Applikation zu ermöglichen, sind alle wesentlichen Programmfunktionen mit großen Buttons versehen worden, so dass diese auch mit Handschuhen über ein berührungsempfindliches Display (Touchscreen) bedient werden können. Alle weiterführenden Funktionen sind in Menüs, die mit einem Stift erreichbar sind, untergebracht.

Leitstelle/Einsatzleiter

Die Leitstelle gibt Einsätze in das System ein und verwaltet die Ressourcen. Der Einsatzleiter benötigt zur Koordinierung des Einsatzes ebenfalls Zugriff auf alle Ressourcen. Daher wurde für den Prototypen des RFID-Gebäude-Leitsystems eine Applikation für Leitstelle und Einsatzleiter erstellt, die es erlaubt Einsätze anzulegen, Fahrzeuge einem Einsatz zuzuordnen, eine Übersicht über angemeldete Benutzer (Trupps und Staffeln) und eine Übersicht mittels eines Gebäudeplans und der Anzeige der Einsatzkräfte im Gebäude zu erhalten. Diese Applikation ist für einen stationären Rechner in der Einsatzleitstelle oder im Einsatzleitwagen konzipiert (siehe folgende Abbildungen).

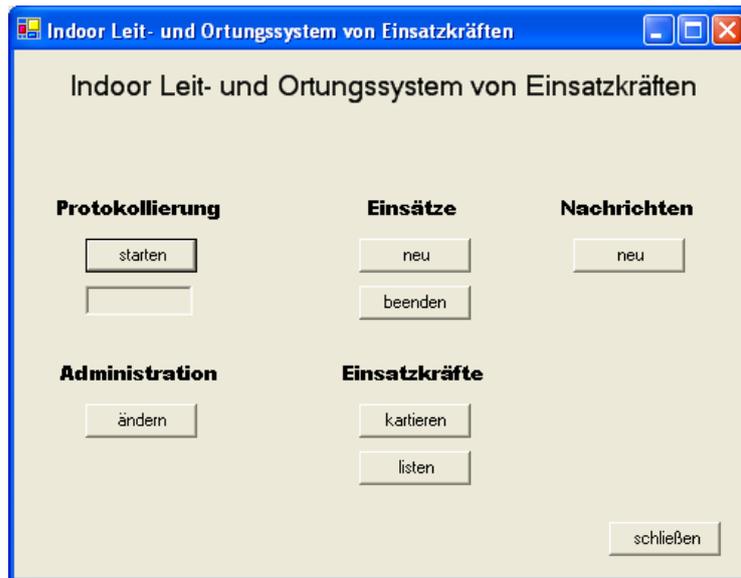


Abbildung 55: Startdialog für Leitstelle und Einsatzleiter

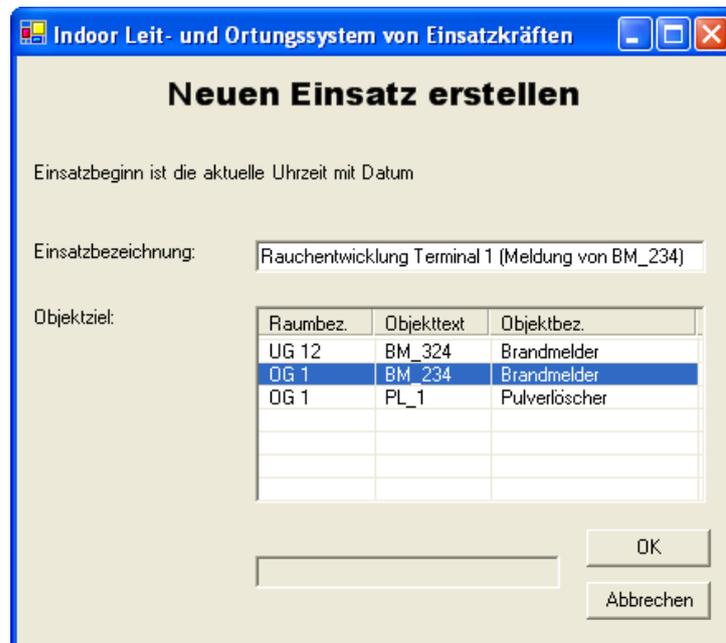


Abbildung 56: Neuen Einsatz erstellen

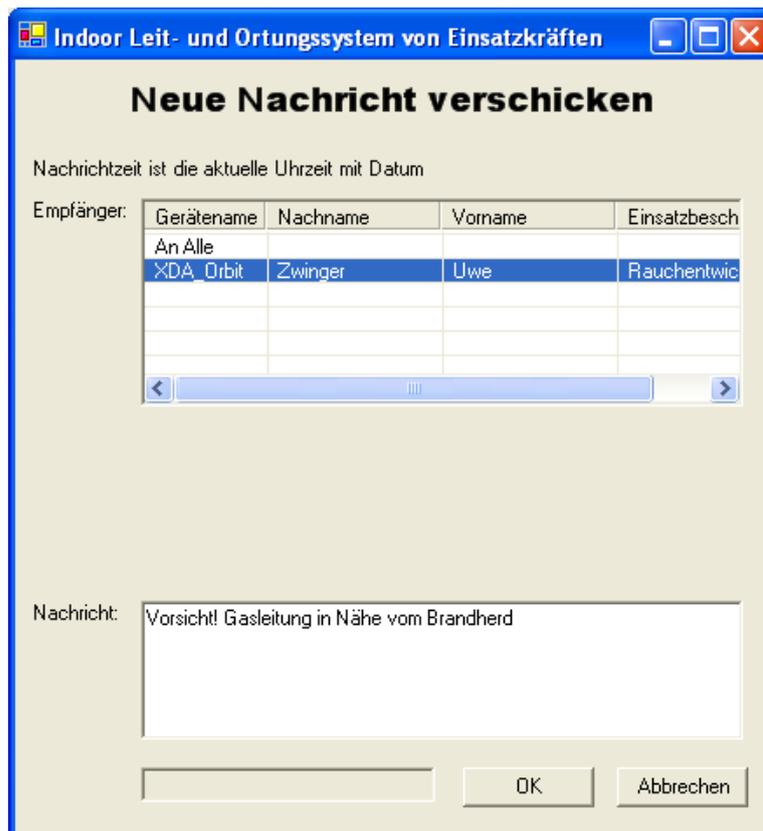


Abbildung 57: Nachricht an Einsatzkräfte Versenden

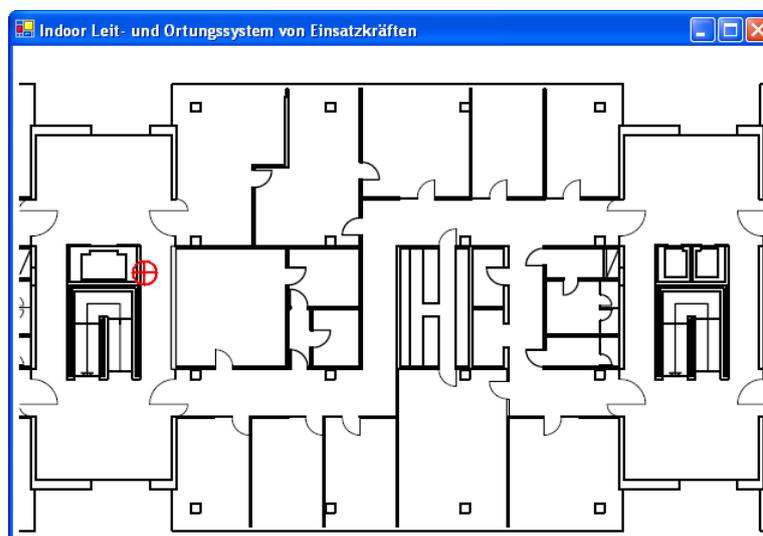


Abbildung 58: 2D-Übersicht für Einsatzleiter

Neben einer zweidimensionalen Darstellung über die Lage im Gebäude mit Anzeige der Einsatzkräfte (siehe Abbildung 58:), wurde eine Darstellung mit dreidimensionaler Perspektive entwickelt. Dieses sogenannte FFOpControl3D (Fire Fighter Operation Control 3D) ermöglicht es Einsatzleitern ein realitätsnahes Bild der Lage im Gebäude zu erlangen. Hierbei gibt es drei Anzeigemodi (Übersicht, Vogelperspektive und Egoperspektive). Neben einer 2D-Darstellung als Übersicht über eine ganze Etage ist es auch möglich, auf einzelne Trupps zu fokussieren (Vogelperspektive) oder sich die Sicht

des Feuerwehrmanns in 3D-Perspektive (Egoperspektive) darstellen zu lassen (siehe nachfolgende Abbildungen).

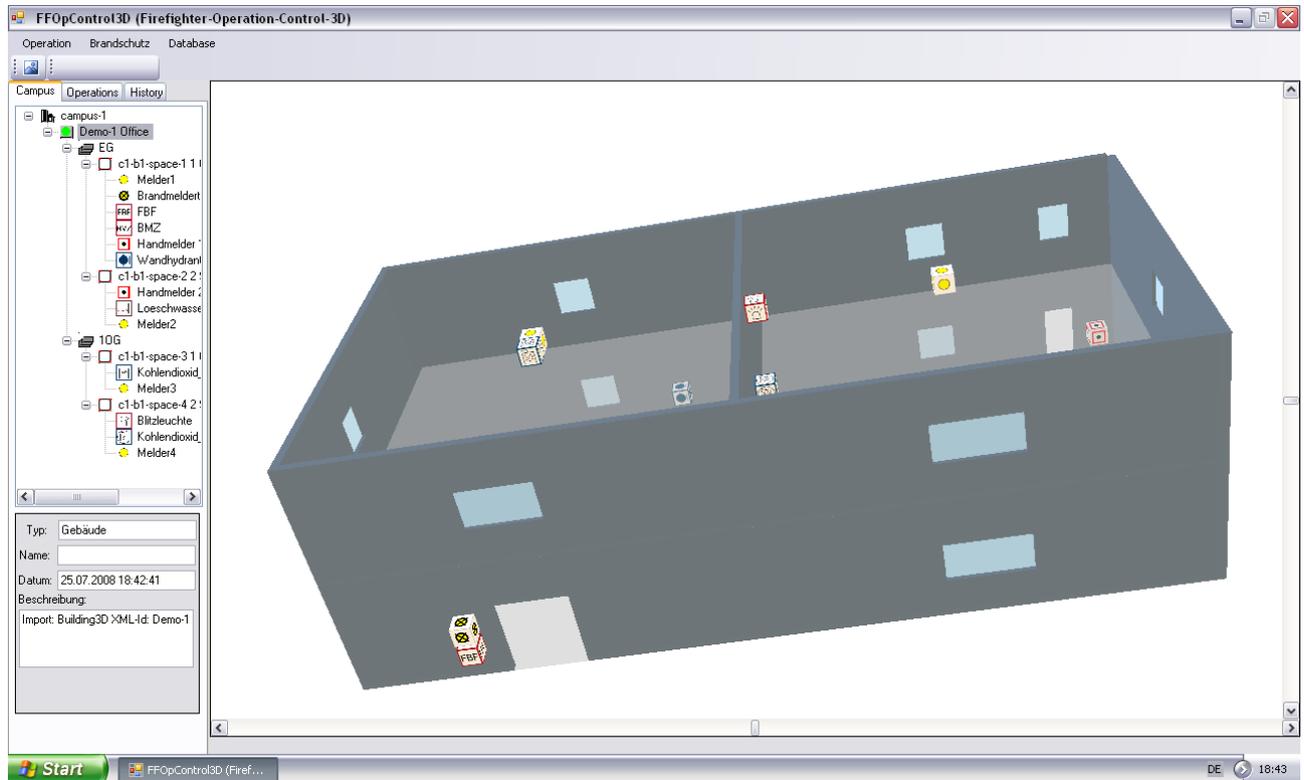


Abbildung 59: 3D Außenansicht eines Gebäudes mit FFOpControl3D

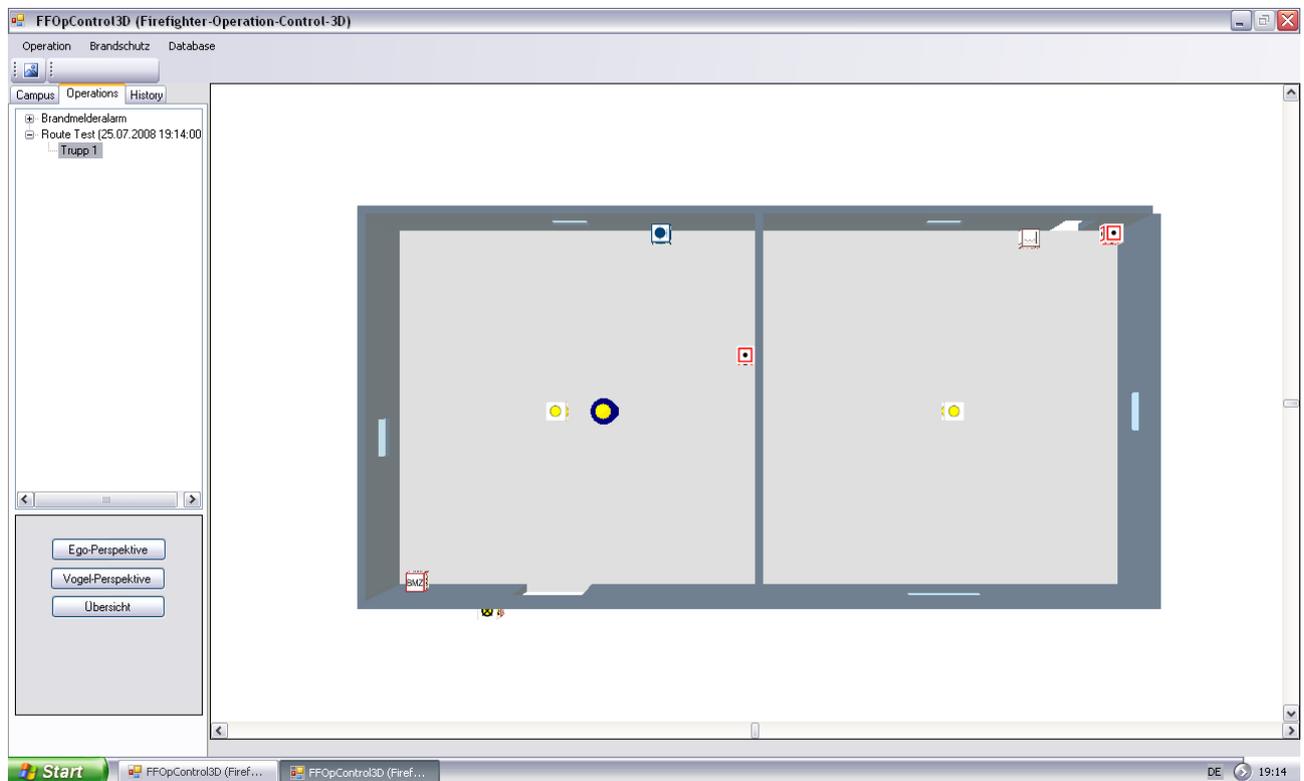


Abbildung 60: Vogel-Perspektive mit FFOpControl3D

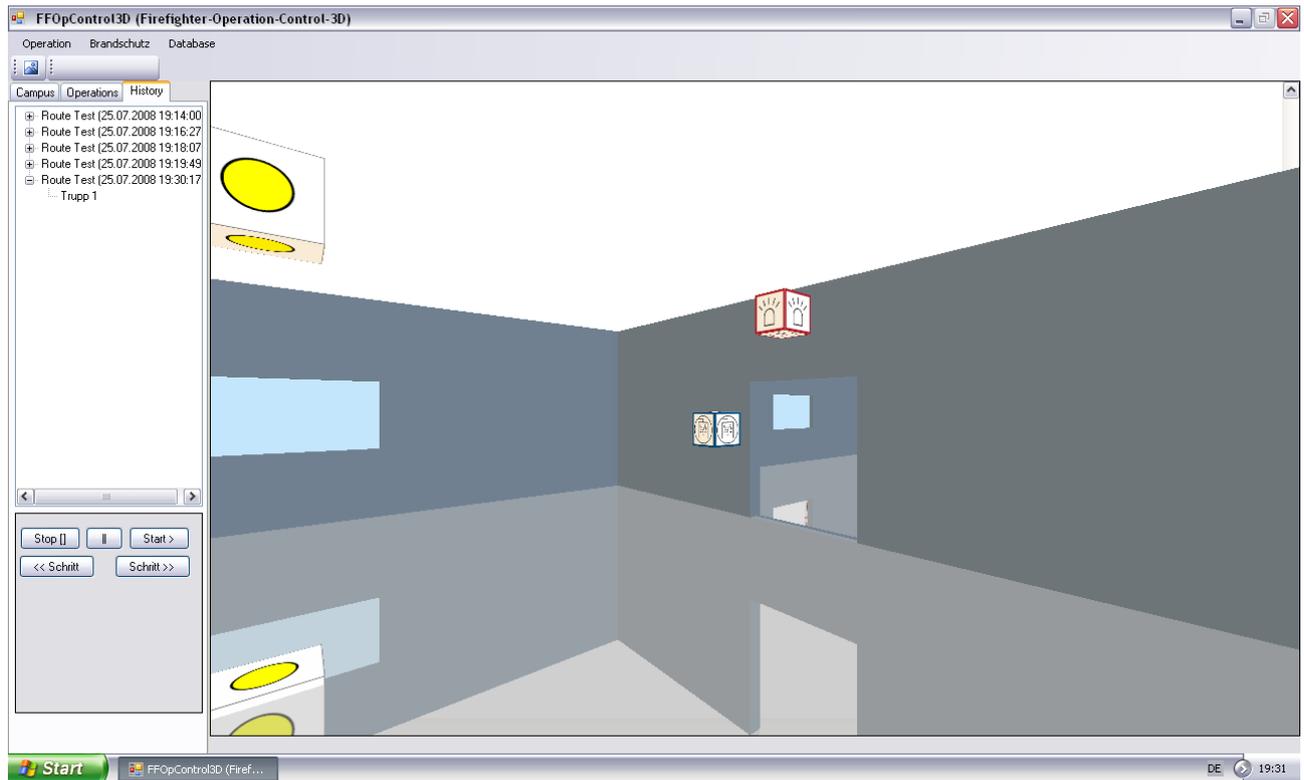


Abbildung 61: Ego-Perspektive mit FFOpControl3D

Darüber hinaus ist es mit FFOpControl3D möglich, Einsatzabläufe z. B. für Schulungszwecke anhand einer Historie erneut abzuspielen.

Truppführer/Staffelführer

Die Applikation für Truppführer und Staffelführer wurde für TabletPCs mit einem Windows Betriebssystem prototypisch umgesetzt. Beide benötigen vorwiegend eine Anzeige ihrer eigenen Position im Gebäude und eine Übersicht über andere Trupps, die sich in der Nähe befinden.

Eine Anmeldung für einen Einsatz ist nur nach einem Login möglich. Nach der Anmeldung am System werden laufende Einsätze angezeigt, denen die jeweilige Einsatzkraft zugeordnet ist. Im Falle eines Einsatzes werden die Zielkoordinaten direkt an das Gerät übermittelt, damit diese auch im Falle eines Ausfalls der Datenverbindung zum Server noch zur Verfügung stehen.

Der Staffelführer kann fehlende Angaben (wie Linien- oder Meldernummer) nachtragen und Verstärkung anfordern. Die Darstellung der Position kann zwischen der Anzeige der eigenen Position und der Anzeige der Position der anderen Beteiligten (Übersicht) wechseln. Darüber hinaus gibt es die Funktion „Notruf“ an die Einsatzleitung.

Wie bereits beschrieben, ist diese Applikation mit großen Navigationsflächen für eine Auswahl mit Schutzhandschuhen auf mobilen Endgeräten konzipiert und wird auf den nachfolgenden Abbildungen gezeigt.



Abbildung 62: Startdialog für Truppführer und Staffelführer



Abbildung 63: 2D-Darstellung für Truppführer und Staffelführer

Systemadministrator

Der Systemadministrator ist für die Verwaltung der Datenbank zuständig, d. h. er kann alle verwaltenden Einstellungen vornehmen, wie z. B. Benutzer anlegen, Positionen von RFID-Tags eintragen, einen Dienstplan eintragen und die Zuordnung von Personen zu Trupps und Staffeln festlegen. Für ihn ist eine eigene Applikation erstellt worden, die für einen stationären Rechner konzipiert wurde.

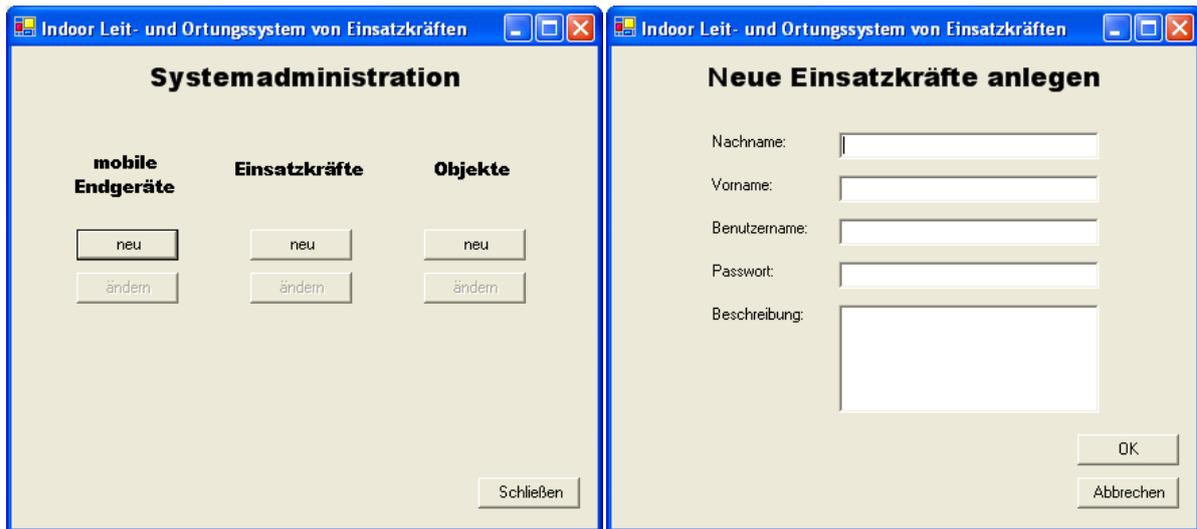


Abbildung 64: Dialoge für Systemadministrator

Da es sich bei diesen Tätigkeiten um reine Dateneingaben handelt, ist eine Applikation mit Eingabedialogen und Listen am geeignetsten.

Die erstellten Applikationen greifen alle auf die zentrale Indoor-Navigations-Integrationsplattform zu und beziehen daher stets aktuelle Daten über die Einsatzlage und die Position der Einsatzkräfte. Der erwartete Mehrwert im realen Einsatzfall wird nachfolgend erläutert.

6.4. Mehrwert

Bisher verlassen sich Einsatzkräfte von Feuerwehren zur Orientierung in Gebäuden ausschließlich auf Feuerwehrlaufkarten in Papierform und ihren Orientierungssinn. Diese Laufkarten sind jedoch gerade bei komplexen Gebäuden nicht immer auf dem neuesten Stand. Einsatzleiter haben nur die Möglichkeit per Funk nachzufragen, wo sich die Einsatzkräfte im Gebäude aktuell befinden.

Durch den Einsatz des in diesem Forschungsprojekt konzipierten und prototypisch umgesetzten RFID-Gebäude-Leitsystems wird eine Verbesserung der Situation von Einsatzkräften und Einsatzleitern in folgenden Punkten erwartet:

- Die Orientierung in Gebäuden wird für Einsatzkräfte durch den Einsatz von mobilen Endgeräten und Ortungstechnologien verbessert. Einsatzkräfte können ihre aktuelle Position auf einem Gebäudeplan sehen und sich daher besser orientieren. Gerade im Fall von

Rauchentwicklung sind die Sichtverhältnisse sehr schlecht. Die Anzeige der eigenen Position und die von anderen Einsatzkräften unterstützt eine bessere Orientierung.

- Komplexe Gebäude wie Flughäfen sind mit zahlreichen Brandmeldesystemen ausgestattet. Im Falle des Alarms eines Brandmelders muss dieser anhand von Papierkarten aufgesucht und die Ursache des Alarm ermittelt werden. Häufig sind Brandmelder jedoch in großen Hallen aufgrund mangelnder Orientierung nur schwer auffindbar, die genaue Anzeige der Position des Brandmelders und der eigenen Position ist hierbei sehr hilfreich. Aufgrund der Häufigkeit von Alarmmeldungen (bei der Fraport AG sind es ca. 5000 Alarme pro Jahr) kommt einer Erleichterung und Beschleunigung der Brandmeldersuche eine hohe Bedeutung zu.
- Für Einsatzleiter wird die Koordinierung von Einsätzen erleichtert, er bekommt einen Überblick über die Positionen seiner Einsatzkräfte im Gebäude und kann diese daher zielgerichteter führen und durch Einsatzmeldungen schnell Anweisungen und Warnungen übermitteln.
- Eine 3D-Ansicht ermöglicht es dem Einsatzleiter sich besser in die Lage seiner Einsatzkräfte zu versetzen und Einsatzrisiken zu minimieren.
- Eine Notfunktion mit Übermittlung der aktuellen Position ermöglicht es dem Einsatzleiter direkte und zielgerichtete Hilfsmaßnahmen einzuleiten und trägt dazu bei, verletzte Einsatzkräfte schneller zu bergen und kann somit einen wichtigen Beitrag leisten, um Menschenleben zu retten.

Um die Funktionsfähigkeit und den erwarteten Mehrwert des Kontextsensitiven RFID-Gebäude-Leitsystems zu testen wurde das System in Praxistests am Frankfurter Flughafen getestet. Dies wird im folgenden Abschnitt dargestellt.

7. Evaluation

7.1. Praxistest

Die Erprobung des entwickelten Prototypen hat am Institut für Numerische Methoden und Informatik im Bauwesen der TU Darmstadt und auf dem Gelände des Frankfurter Flughafens im Feuerwehr-Trainingscenter stattgefunden. Nachfolgend werden die Testumgebung, das Testszenario und die Testdurchführung eines Tests auf dem Frankfurter Flughafen beschrieben.

7.1.1. Testumgebung

Das Feuerwehr-Trainingscenter liegt im Süden des Flughafengeländes (siehe Abbildung 65:.) und ist aufgrund der unterschiedlichen Raumgrößen für einen realitätsnahen Test gut geeignet.

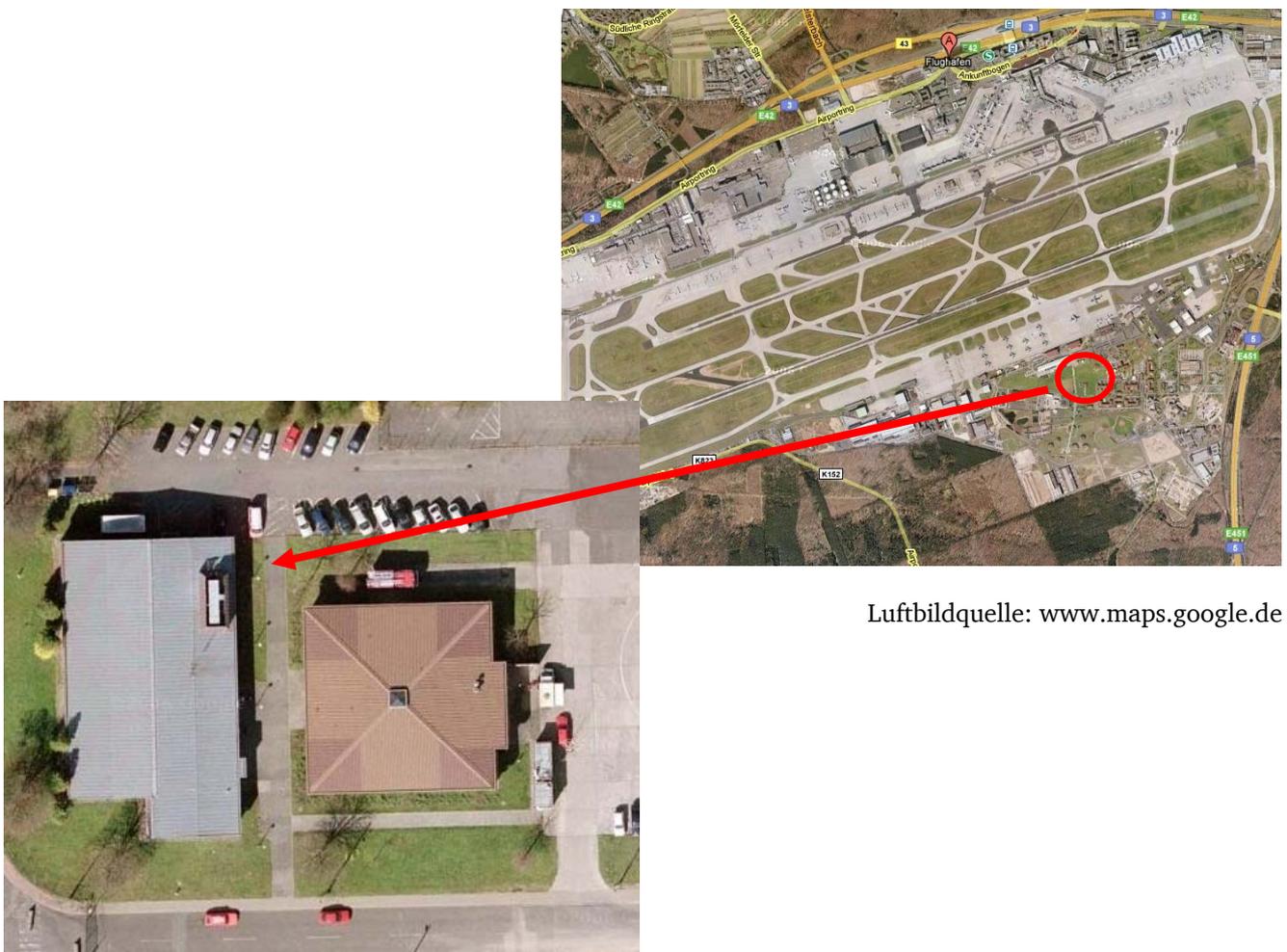


Abbildung 65: Lage des Feuerwehr-Trainingscenters auf dem Frankfurter Flughafen

Da das Trainingscenter nicht im Sicherheitsbereich des Flughafens liegt und die Feuerwehr selbst Hausherr ist, ist es für Versuche besonders geeignet.

Die Tests fanden im westlichen Schulungsgebäude statt (Gebäude 680). Dieses verfügt über einen langen Flurbereich mit Cafeteria und mehrere Schulungsräume in unterschiedlichen Größen.

Im Rahmen der Praxistests wurde der Flurbereich mit aktiven RFID-Tags ausgestattet. Diese wurden unter der Decke in einem Abstand von ca. 7 m befestigt. Der größte Schulungsraum (ca. 160 m²) wurde mit dem UWB-Ortungssystem von Ubisense ausgestattet. Hierbei wurden vier Sensoren an den Ecken des Schulungsraums auf Stativen platziert. Zusätzlich wurde ein Leitstand eingerichtet. Abbildung 66: zeigt den Gebäudegrundriss.

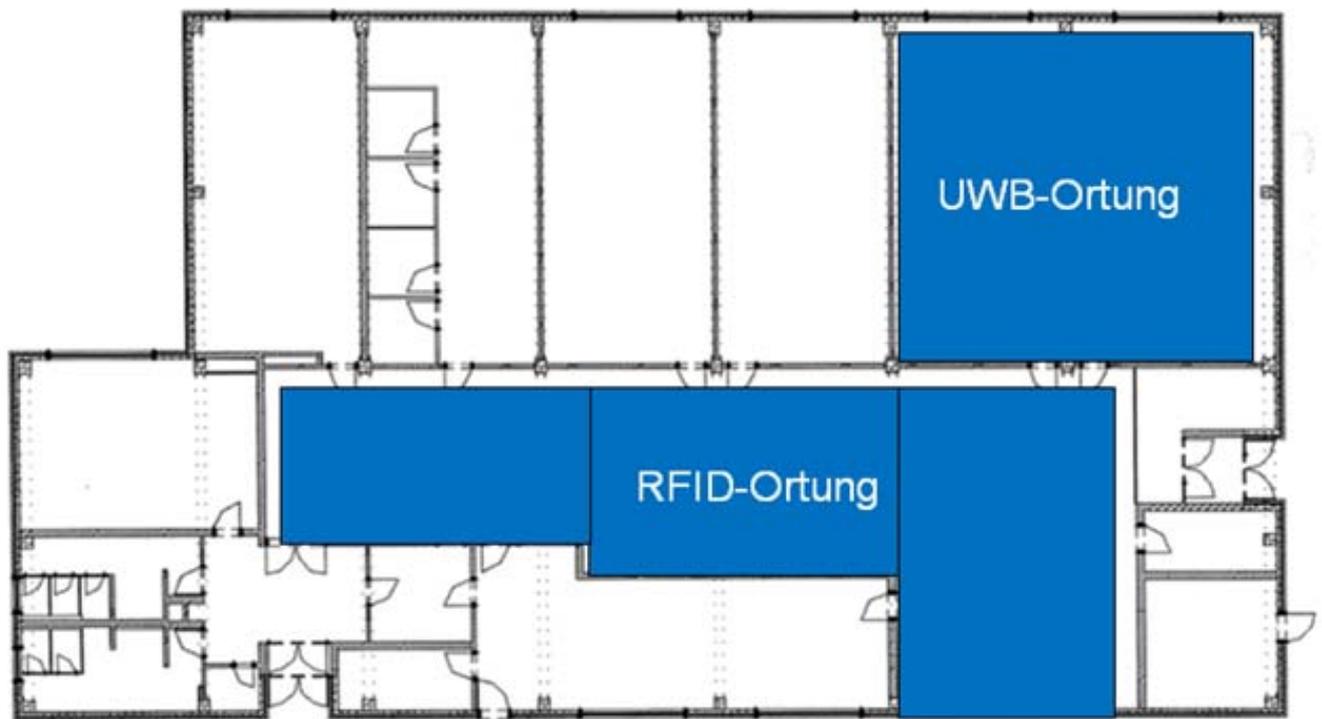


Abbildung 66: Aufbau der Testortungssysteme

(Die WLAN-Ortung wurde aufgrund des kurzen Testfensters bei der Fraport AG am Institut für Numerische Methoden und Informatik an der TU Darmstadt getestet, siehe Kapitel 7.2.3.)

Dieses Kapitel basiert der Darstellung in [Stübbe, 2010].

7.1.2. Testszenario

Das Testszenario basiert auf folgender Situation: Aufgrund eines Brandes in einem Technikraum kommt es zur Rauchentwicklung. Die Einsatzkräfte der Feuerwehr müssen das Feuer lokalisieren und eine technische Anlage mithilfe eines Notauschalters abschalten.

Um den Schwierigkeitsgrad zu erhöhen, wurde der Schulungsraum mittels einer Nebelmaschine verraucht und durch Stellwände in mehrere kleine Räume geteilt (siehe Abbildung 68:). Aufgrund von fortwährenden Umbauarbeiten werden bei der Fraport AG Zugänge gesperrt und Wegführungen geändert. Dies wurde durch die Sperrung des direkten Zugangs zum Notauswechsler nachgestellt. Somit mussten sich die Rettungskräfte in der verrauchten Umgebung einen Ersatzweg suchen.

Auf dem Rückweg wurde ein Notfall nachgestellt und die verletzte Einsatzkraft musste durch einen Rettungstrupp geborgen werden.

7.1.3. Testdurchführung

Zur Durchführung des oben beschriebenen Testszenarios wurden zunächst Einsatzkräfte mit mobilen Endgeräten ausgestattet. Der erste Einsatztrupp machte sich auf den Weg durch den Flur zur Tür des verrauchten Raumes (siehe Abbildung 67:).



Abbildung 67: Einsatzdurchführung

Hierbei wurden sie durch die mobile Applikation des Kontextsensitiven RFID-Gebäude-Leitsystems geführt.

Nach Prüfung der Betretbarkeit des Raumes (Rauch im Raum könnte beim Öffnen der Tür durch Sauerstoffzufuhr durchzündend) versuchten die Einsatzkräfte zunächst auf dem kürzesten Weg zum Notausschalter zu gelangen. Dieser war jedoch verbaut (siehe gestrichelte Linie rechts oben in Abbildung 68:).

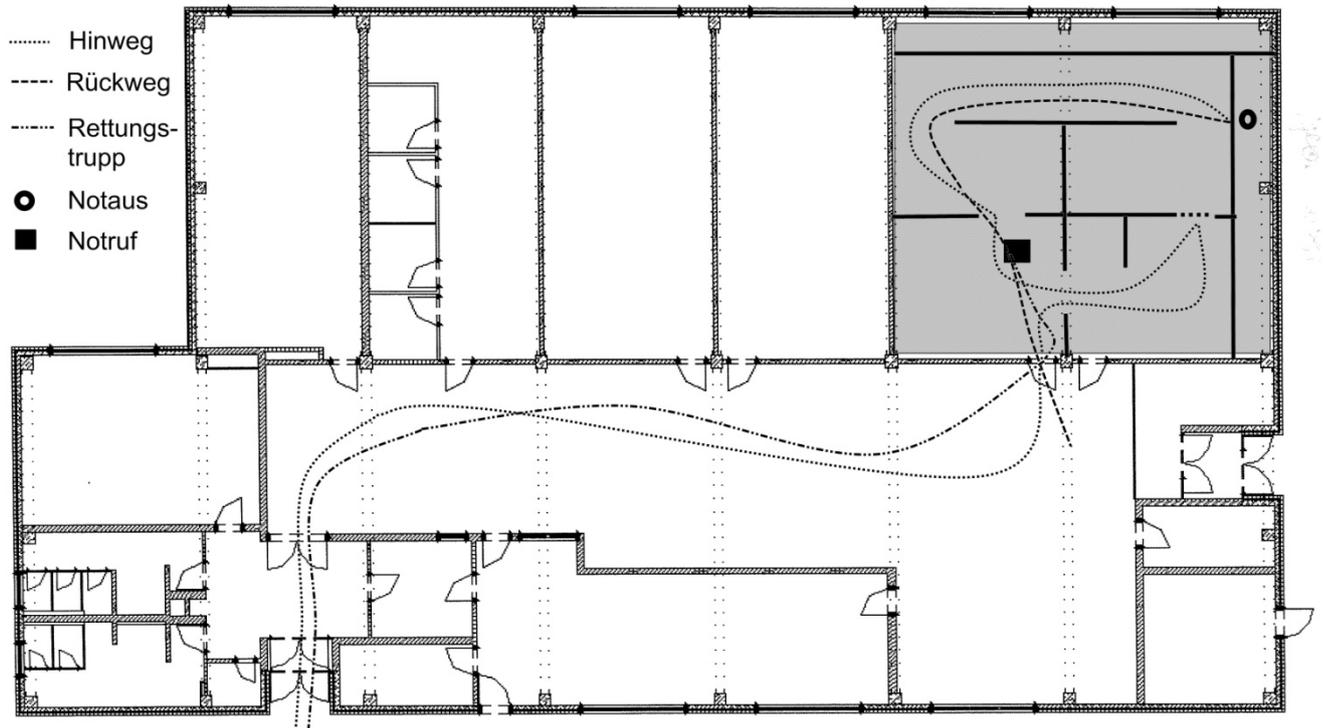


Abbildung 68: Laufwege der Einsatzkräfte während der Testdurchführung

Daher wurde ein Ersatzweg gesucht. Nach dem Betätigen des Notausschalters verunglückte eine Einsatzkraft und forderte über den Notrufknopf Hilfe an. Die Einsatzleitstelle (Abbildung 69:) beauftragte den Rettungstrupp, der mit Hilfe des Leitsystems den Verletzten aufsuchte und außerhalb des Gefahrenbereichs brachte.

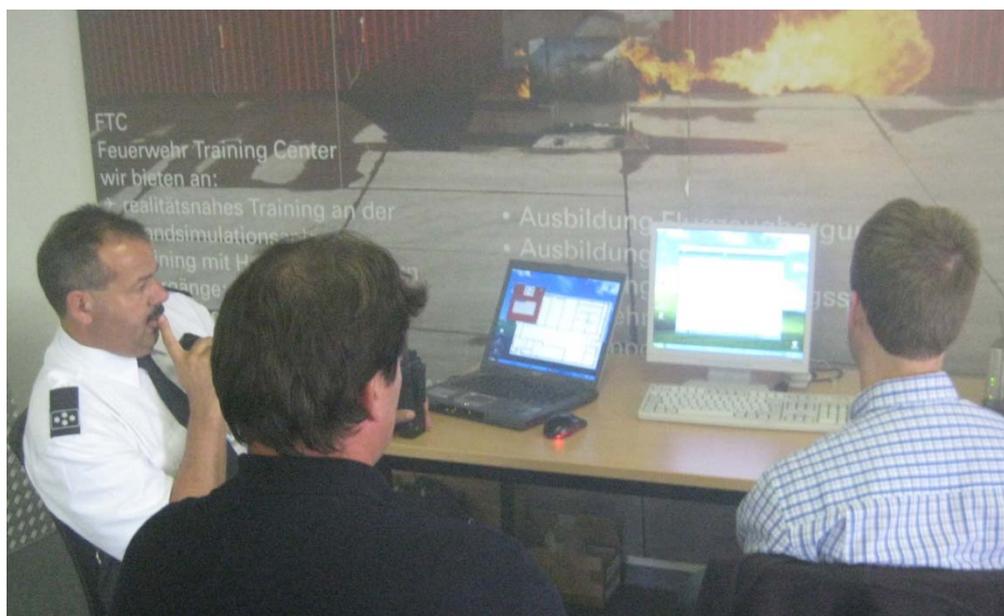


Abbildung 69: Einsatzleitstelle

Dieses Kapitel basiert der Darstellung in [Stübbe, 2010].

7.2. Genauigkeitsmessungen

Neben der Erprobung unter praxisnahen Bedingungen wurden auch Messungen durchgeführt, um eine Aussage über die Positionierungsgenauigkeit der eingesetzten Systeme machen zu können, diese werden in den nachfolgenden Kapiteln erläutert. Auf die Ergebnisse und Erkenntnisse der Praxistests und der Messungen wird in Kapitel 8 eingegangen.

Zur Untersuchung der zu erwartenden Genauigkeiten der drei Location Provider RFID, UWB und WLAN wurden Messungen am Institut für Numerische Methoden und Informatik im Bauwesen durchgeführt, die nachfolgend beschrieben werden.

7.2.1. RFID

Die durchgeführten Versuche sollen die Reichweiten eines aktiven RFID-Systems für den Einsatzfall der Indoor-Ortung verifizieren. Verwendet wurden aktive RFID-Tags der Firma Identec Solutions (IQ-8 Tag) und eine mobile Reader Karte (i-CARD CF), ebenfalls von Identec Solutions.

Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung

Zur Ermittlung der Empfangsstärke befanden sich die RFID-Tags in einem bestimmten Abstand zur Empfängerantenne in der Luft. Für 30 Sekunden wurde jede Sekunde die Empfangsstärke aufgezeichnet. Außerdem wurden an der Empfängerantenne verschiedene dBm-Werte (0 dBm, -10 dBm, -15 dBm) für die Sendeleistung gewählt. Um den Einfluss der Versuchsumgebung auf die Messungen zu ermitteln, wurden die Messungen an jeweils zwei Orten durchgeführt (Stellen 1 und 2 in Abbildung 75:). Auch der Winkel des RFID-Tags zur Empfängerantenne wurde berücksichtigt (siehe folgende Abbildungen).

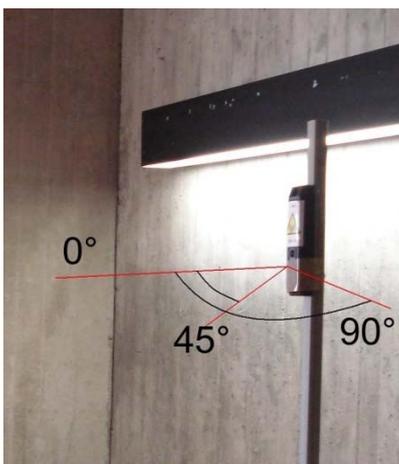


Abbildung 70: Tag frei im Raum

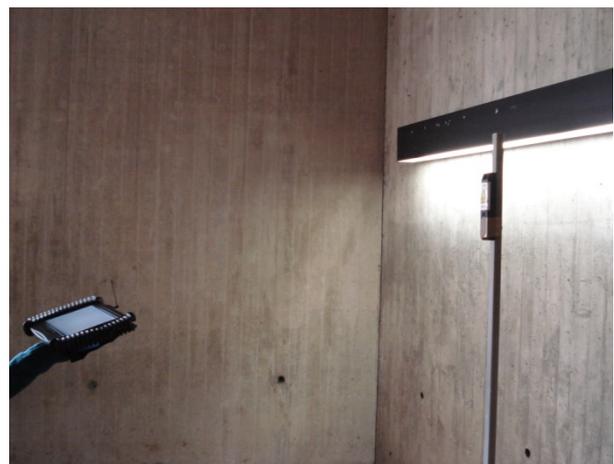


Abbildung 71: Tag und Handcomputer

Zur Bestimmung der Beeinflussung von RFID-Tags durch die direkte Umgebung wurden Messungen gemacht, bei denen RFID-Tags an einer Wand, mit einem Pappkarton (6 cm Dicke) sowie mit einem Stück Holz (4 cm Dicke) an einer Wand befestigt wurden. Dabei wurden die Messungen aus einer

Entfernung von 500 cm und 1000 cm durchgeführt. Auch diese Versuche wurden an zwei verschiedenen Orten (Stellen 2 und 3) durchgeführt, siehe nachfolgende Abbildungen:



Abbildung 72: Tag vor
Wand



Abbildung 73: Tag auf
Pappe



Abbildung 74: Tag auf
Holz

Zusätzlich sollte die maximale Reichweite der RFID-Tags ermittelt werden. Hierzu wurden die Entfernung der Sendeantenne vom RFID-Tag während des Versuchs kontinuierlich vergrößert. Der Versuch wurde abgebrochen, wenn über 5 Sekunden kein Signal empfangen wurde. Der dann erreichte Abstand wurde als Reichweite gemessen.

In einem weiteren Versuchsaufbau ist die Anfangsentfernung so groß, dass kein Signal empfangen wurde. Die Entfernung wurde kontinuierlich verringert, bis das erste Signal von der Sendeantenne registriert wurde. Diese Entfernung ist gemessen worden.

Diese beiden Versuche wurden an jeweils vier Orten durchgeführt (Stellen 2, 4, 5 und 6), (siehe Abbildung 75:).

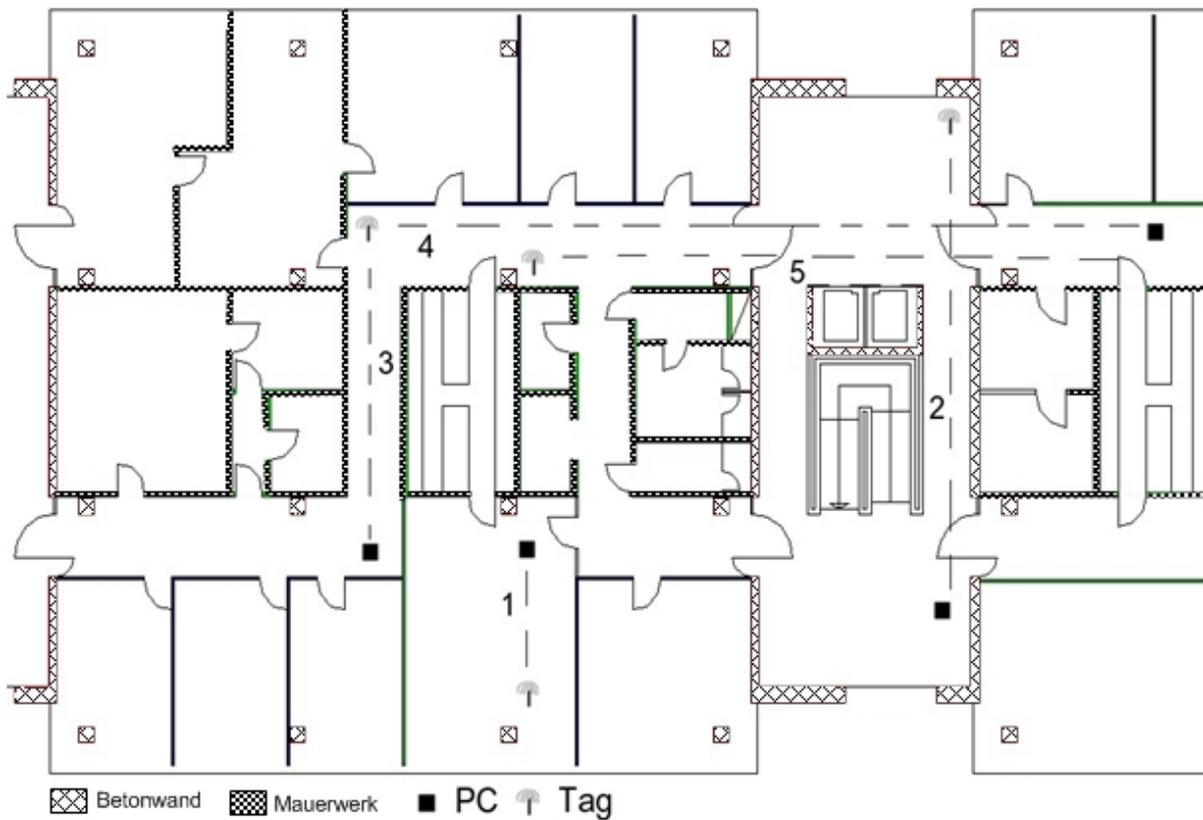


Abbildung 75: Messstellen im Gebäude

Abbildung 75: stellt einen Ausschnitt aus dem Grundriss des 2. Obergeschosses des Bauingenieurgebäudes dar. Hierbei sind Stahlbetonwände und -stützen sowie Mauerwerkswände hervorgehoben, die restlichen Wände bestehen aus Rigips- oder Holzplatten.

Beschreibung der Messstellen im Gebäude

Die Messstelle 1 liegt in einem Computerlabor. Die Wände sind hier gemauert oder bestehen aus Rigipsplatten. Im Raum befinden sich zwei Stahlbetonstützen. Der Raum wird von Menschen – manchmal auch für längere Zeit – genutzt.

Die Messstelle 2 liegt im Treppenhaus des Gebäudes. Dieses ist zum größten Teil aus Stahlbeton gebaut. Hier halten sich nur wenige Menschen auf.

Die Messstelle 3 befindet sich in einem Gang in der Mitte des Gebäudes. Die Wände auf beiden Seiten sind aus Mauerwerk, der RFID-Tag ist an einer Wand aus Rigipsplatten befestigt.

Die Messstellen 4 und 5 liegen in einem Gang, dessen Wände teilweise aus Mauerwerk und teilweise aus Rigipsplatten bestehen. Um die maximalen Reichweiten zu erreichen, muss auch der Gang auf der anderen Seite des Treppenhauses genutzt werden. Bei Messstelle 4 ist der RFID-Tag an der Wand aus Mauerwerk befestigt, bei Messstelle 5 an einer Stahlbetonstütze. Die Messstelle 6 liegt in einem Gang im Erdgeschoss. Dort bestehen die Wände aus Rigipsplatten und der Tag wird an einer Glastür befestigt, die mit Metallfäden durchwirkt ist.

Die Messstellen sind auf den nachfolgenden Abbildungen dargestellt:



Abbildung 76: Messstelle
Ile 2



Abbildung 77: Messstelle
Ile 4



Abbildung 78: Messstelle
Ile 5

1. Versuche zur Empfangsstärke

Der RFID-Tag befand sich in der angegebenen Entfernung und im angegebenen Winkel von der Empfängerantenne (an den Stellen 1 und 2):

Entfernung [cm]	Winkel [°]	dBm
200	0	0, -10 und -15
200	45	0, -10 und -15
200	90	0, -10 und -15
500	0	0, -10 und -15
500	45	0, -10 und -15
500	90	0, -10 und -15
1000	0	0 und -10
1000	45	0 und -10

Tabelle 12: Versuchsliste frei in der Luft

RFID-Tag war direkt an der Wand befestigt (an den Stellen 2 und 3):

Entfernung [cm]	Winkel [°]	dBm
500	0	0 und -10
1000	0	0 und -10

Tabelle 13: Tag befindet sich an der Wand

RFID-Tag war auf einem Karton an der Wand befestigt (an den Stellen 2 und 3):

Entfernung [cm]	Winkel [°]	dBm
500	0	0 und -10
1000	0	0 und -10

Tabelle 14: Tag befindet sich auf Karton

RFID-Tag war auf einem Holzstück an der Wand befestigt (an den Stellen 2 und 3):

Entfernung [cm]	Winkel [°]	dBm
500	0	0 und -10
1000	0	0 und -10

Tabelle 15: Tag befindet sich direkt auf der Wand

Die Messungen mit Hilfe des Programms „ILR TAG Diagnostic Utility“ von Identec-Solutions führten zu folgenden Diagrammen:

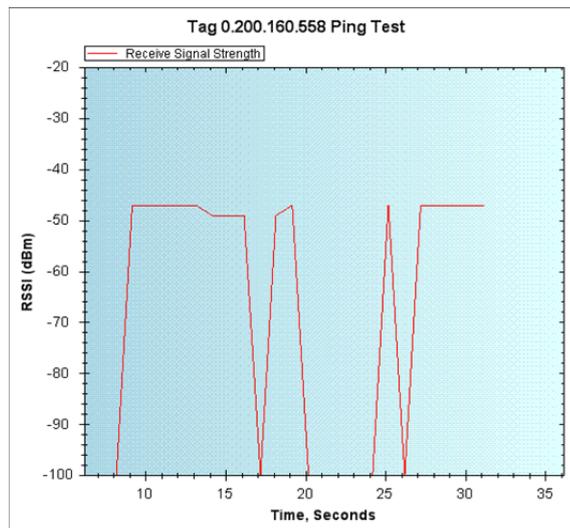


Abbildung 79: Diagramm zur Messung der Signalstärke

An der horizontalen Achse lässt sich die Anzahl der seit dem Start des Versuchs vergangenen Sekunden ablesen. Die Werte der vertikalen Achse geben die Signalstärke an. Dezibel Milliwatt (dBm) ist der Leistungspegel in Dezibel, bezogen auf 1mW. Die Einheit bezieht sich auf ein Milliwatt: $P[\text{dBm}] = 10 \cdot \log(P[\text{mW}]/1 \text{ mW})$.

Hierbei gilt: Je kleiner die Zahl bzw. je höher der Punkt im Diagramm ist, desto höher ist die Signalstärke.

Versuchsdurchführung

2. Versuche zur Reichweite (an den Stellen 2, 4, 5 und 6):

dBm	Richtung	Ort des Tags
0	Vergrößerung des Abstands	In freier Luft, an einer Wand, auf Holz und auf Pappe
0	Verringerung des Abstands	In freier Luft, an einer Wand, auf Holz und auf Pappe
-10	Vergrößerung des Abstands	In freier Luft, an einer Wand, auf Holz und auf Pappe
-10	Verringerung des Abstands	In freier Luft, an einer Wand, auf Holz und auf Pappe
-15	Vergrößerung des Abstands	In freier Luft, an einer Wand, auf Holz und auf Pappe
-15	Verringerung des Abstands	In freier Luft, an einer Wand, auf Holz und auf Pappe

Tabelle 16: Versuche zur Reichweite

Alle Versuche wurden an den vier Orten jeweils 5 mal durchgeführt.

Auswertung

1. Versuche zur Signalstärke

Für die Auswertung der Messung wurden die Werte aus den Diagrammen abgelesen und für jede Messung Trefferquote, Mittelwert und Standardabweichung (ohne Berücksichtigung der Aussetzer) ermittelt.

Zunächst sollen nur die Ergebnisse der Messungen im freien Raum betrachtet werden. Dabei ergaben sich folgende Trefferquoten [%]:

Messstelle 2				Messstelle 1			
0°				0°			
	0 dBm	-10 dBm	-15 dBm		0 dBm	-10 dBm	-15 dBm
200 cm	98,04	100	50	200 cm	100	46,15	5,77
500 cm	100	98,08	48,08	500 cm	100	96,15	1,92
1000 cm	100	55,77		1000 cm	100	96,15	
45°				45°			
	0 dBm	-10 dBm	-15 dBm		0 dBm	-10 dBm	-15 dBm
200 cm	100	96,15	92,31	200 cm	94,23	98,08	0
500 cm	100	100	71,15	500 cm	100	76,92	1,92
1000 cm	100	44,9		1000 cm	100	50	
90°				90°			
	0 dBm	-10 dBm	-15 dBm		0 dBm	-10 dBm	-15 dBm
200 cm	100	80,77	88,46	200 cm	100	96,15	3,85
500 cm	100	98,08	48,08	500 cm	98,08	67,31	0
1000 cm	100	32,69		1000 cm	100	50	

Tabelle 17: Versuch 1, Trefferquoten [%]

Dabei zeigen sich deutliche Unterschiede zwischen den Messungen, was am Beispiel der Messung bei 45° gezeigt werden soll.

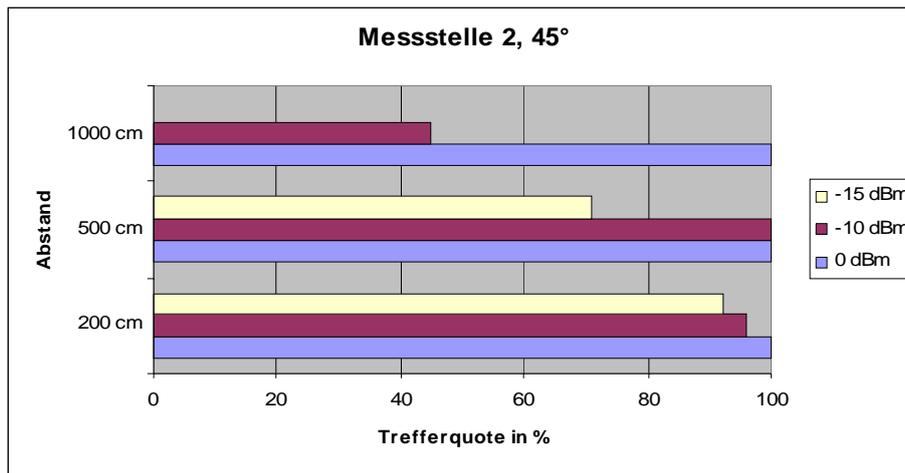


Abbildung 80: Messstelle 2, 45°

Es ist deutlich zu sehen, dass die Trefferquote bei 0 dBm bei allen Entfernungen am größten ist. Da dieser Wert die Stärke des ausgesendeten Signals angibt, war dies auch zu erwarten. Aber auch bei -10 dBm ist die Trefferquote bis zu einem Abstand von 500 cm noch sehr gut. Das änderte sich jedoch bei den Messungen im Computerlabor. Dort war die Trefferquote geringer, bei -15 dBm werden fast keine Treffer mehr erzielt.

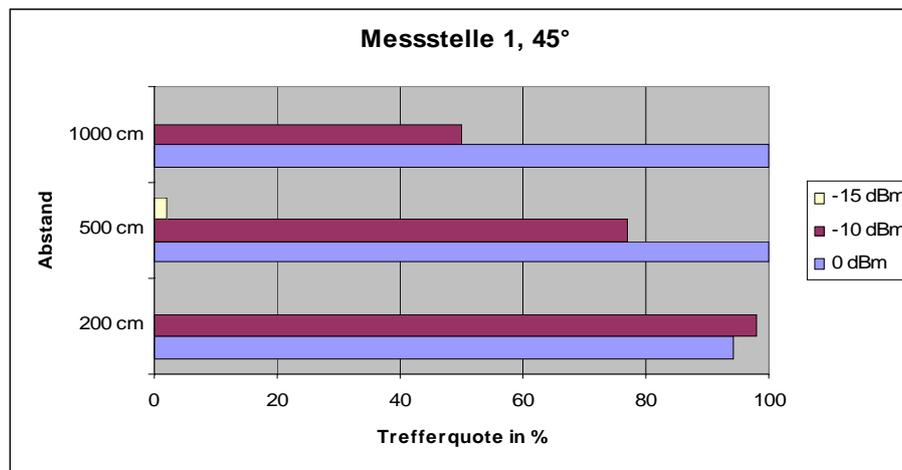


Abbildung 81: Messung im Computerlabor

Hieraus lässt sich schließen, dass in kleineren Räumen mit viel Technik die Reichweite eines aktiven RFID-Systems beeinträchtigt wird.

Bei der Nutzung des RFID-Systems sollten die Abstände der RFID-Tags in kleineren Räumen und Gängen geringer sein, während die Abstände der Tags in großen oder leeren Räumen größer sein dürfen.

Die beiden nachfolgenden Grafiken zeigen die empfangene Signalstärke bei den verschiedenen Messungen. Hierbei wurden nur die Werte mit einer Trefferquote größer gleich 50 % berücksichtigt, da einzelne „gute“ Treffer das Bild verfälscht hätten. In beiden Grafiken ist jeweils der Betrag der

Differenz zu -50 dBm aufgetragen und somit erscheint die höchste empfangene Signalstärke (-43 dBm) als größter Balken.

Es ist gut erkennen, dass die empfangene Signalstärke mit steigender Entfernung abnimmt, es ist jedoch keine Regelmäßigkeit zu erkennen, da es zahlreiche „Ausreisser“ gibt. Der Winkel des RFID-Tags zur Empfängerantenne spielt hierbei keine wesentliche Rolle.

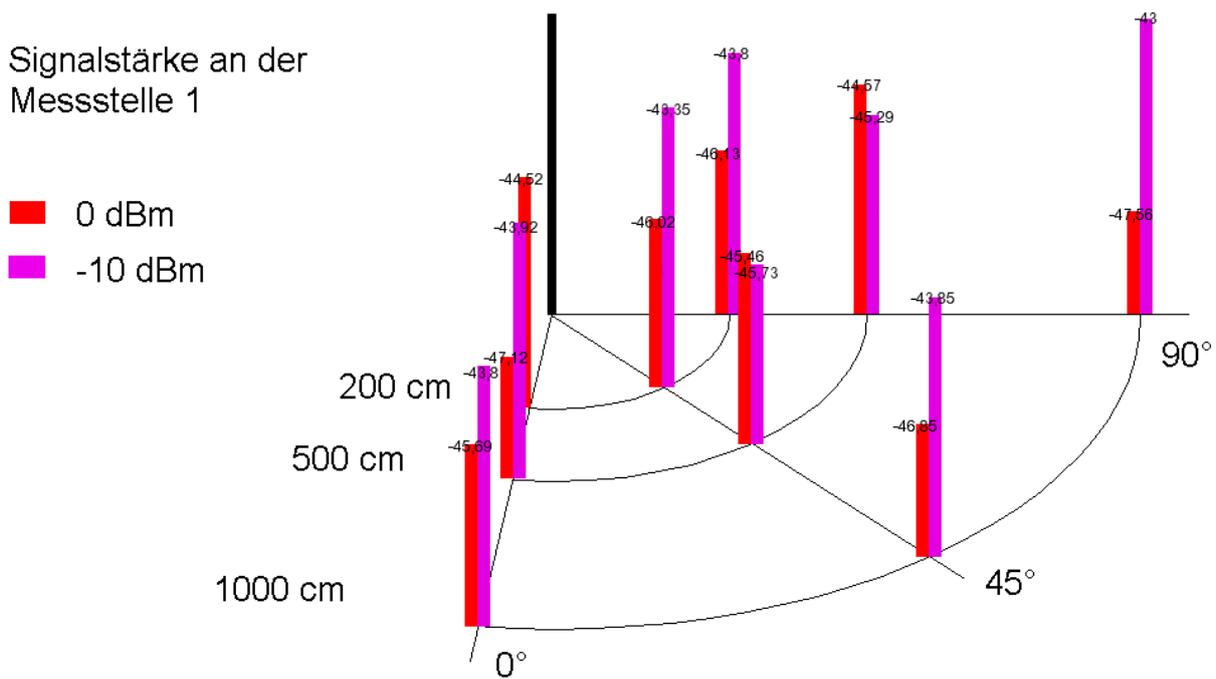


Abbildung 82: Signalstärke an Messstelle 1

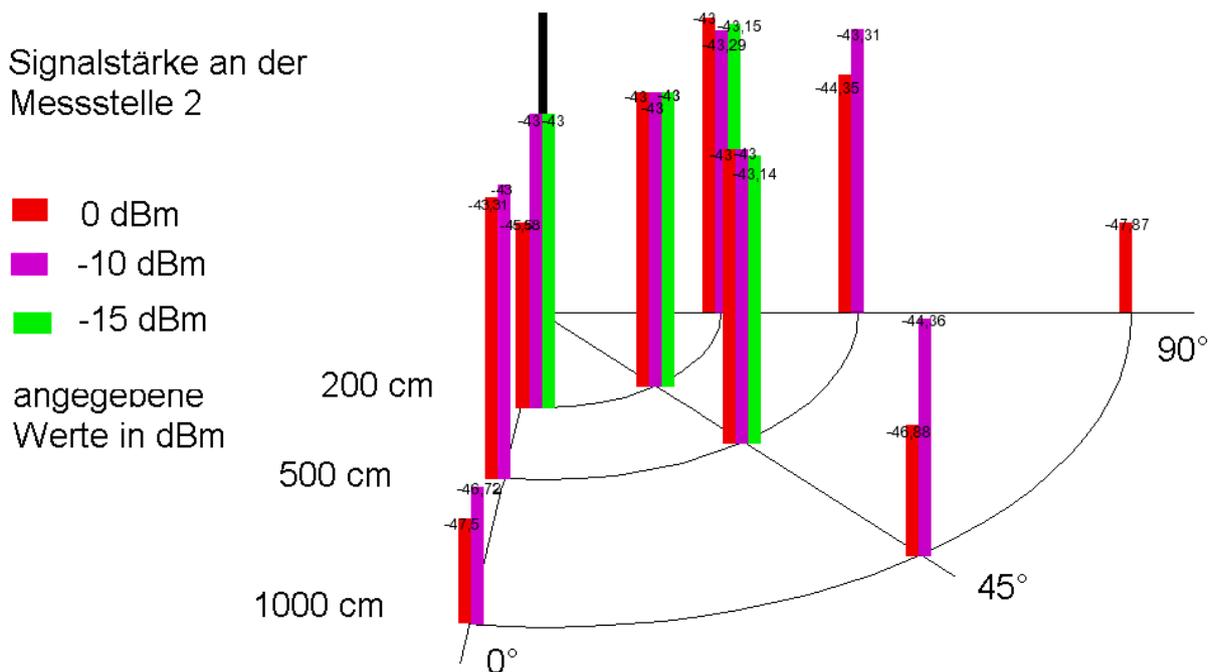


Abbildung 83: Signalstärke an Messstelle 2

Bei Messungen, bei denen der RFID-Tag an der Wand befestigt war, ergaben sich folgende Messergebnisse:

Messstelle 2, 0dBm	500 cm			1000 cm		
	Holz	Pappe	Wand	Holz	Pappe	Wand
Trefferquote	94,23	100	100	90,38	100	100
durchschnittliche Empfangsstärke	-49,47	-44,65	-45,25	-51,53	-48,19	-49,87
Messstelle 2, -10dBm	Holz	Pappe	Wand	Holz	Pappe	Wand
Trefferquote	36,54	40,38	44,23	7,59	73,08	0
durchschnittliche Empfangsstärke	-45,74	-43,19	-45,39	-47,5	-46	0
Messstelle3, 0dBm	Holz	Pappe	Wand	Holz	Pappe	Wand
Trefferquote	63,46	100	100	96,15	100	100
durchschnittliche Empfangsstärke	-53	-48,69	-44,77	-47,18	-44,69	-44,88
Messstelle 3, -10dBm	Holz	Pappe	Wand	Holz	Pappe	Wand
Trefferquote	50	86,54	90,38	51,92	84,62	50
durchschnittliche Empfangsstärke	-43,46	-44,29	-44,57	-43,15	-45,05	-43

Tabelle 18: Messergebnisse an der Wand

Der Vergleich der Trefferquoten macht deutlich, dass Holz die Reichweite des Tags negativ beeinflusst. Selbst bei einer Entfernung von nur 5 Metern liegt die Trefferquote deutlich unter der Trefferquote von Messungen bei denen der RFID-Tag direkt oder mit Pappe an der Wand befestigt war.

Bei Messungen, bei denen der Tag mit der Pappe oder direkt an der Wand befestigt war, war kaum einen Unterschied festzustellen. Einzig die Messungen bei -10 dBm und 10 Meter Entfernung deuteten darauf hin, dass Pappe etwas besser geeignet ist.

2. Versuche zur Reichweite

Bei den Versuchen zur Reichweite ergaben sich folgende Ergebnisse:

Messstelle 2							
Durchschnitt				Standardabweichung			
Verringerung des Abstands				Verringerung des Abstands			
	0 dBm	-10 dBm	-15 dBm		0 dBm	-10 dBm	-15 dBm
Luft	9,58	4,77	3,85	Luft	0,16	0,43	0,41
Wand	15,75	10,58	7,77	Wand	0,15	1,95	1,11
Holz	10,44	8,74	4,89	Holz	1,21	0,48	0,25
Pappe	12,63	4,81	2,12	Pappe	0,17	0,61	0,33
Vergrößerung des Abstands				Vergrößerung des Abstands			
	0 dBm	-10 dBm	-15 dBm		0 dBm	-10 dBm	-15 dBm
Luft	10,97	5,97	2,47	Luft	0,55	1,00	0,37
Wand	15,38	9,67	5,58	Wand	1,88	1,57	0,33
Holz	10,12	7,53	3,09	Holz	0,68	0,59	0,50
Pappe	9,94	3,14	1,80	Pappe	0,59	1,07	0,10

Messstelle 4							
Durchschnitt				Standardabweichung			
Verringerung des Abstands				Verringerung des Abstands			
	0 dBm	-10 dBm	-15 dBm		0 dBm	-10 dBm	-15 dBm
Wand	40,90	40,90	38,23	Wand	0,00	0,00	0,54
Holz	40,90	40,90	39,00	Holz	0,00	0,00	0,39
Pappe	40,90	40,90	39,79	Pappe	0,00	0,00	0,67
Vergrößerung des Abstands				Vergrößerung des Abstands			
	0 dBm	-10 dBm	-15 dBm		0 dBm	-10 dBm	-15 dBm
Wand	40,90	40,90	36,50	Wand	0,00	0,00	0,57
Holz	40,90	40,90	39,12	Holz	0,00	0,00	0,48
Pappe	40,90	40,90	39,87	Pappe	0,00	0,00	0,76
Messstelle 5							
Durchschnitt				Standardabweichung			
Verringerung des Abstands				Verringerung des Abstands			
	0 dBm	-10 dBm	-15 dBm		0 dBm	-10 dBm	-15 dBm
Wand	35,46	35,34	27,93	Wand	0,63	0,45	0,56
Holz	35,24	35,20	35,20	Holz	0,79	0,67	0,54
Pappe	35,16	35,30	35,31	Pappe	1,02	0,69	0,57
Vergrößerung des Abstands				Vergrößerung des Abstands			
	0 dBm	-10 dBm	-15 dBm		0 dBm	-10 dBm	-15 dBm
Wand	35,40	35,30	28,24	Wand	0,35	0,43	0,35
Holz	35,38	35,12	35,20	Holz	0,47	0,56	0,65
Pappe	35,39	35,30	35,36	Pappe	0,52	0,72	0,74
Messstelle 6							
Durchschnitt				Standardabweichung			
Verringerung des Abstands				Verringerung des Abstands			
	0 dBm	-10 dBm	-15 dBm		0 dBm	-10 dBm	-15 dBm
Luft	16,08	5,47	2,10	Luft	0,37	1,86	1,20
Wand	22,70	15,40	12,03	Wand	0,00	0,30	0,80
Holz	22,70	10,02	3,35	Holz	0,00	0,37	0,36
Pappe	13,94	8,85	3,44	Pappe	0,20	0,49	0,51
Vergrößerung des Abstands				Vergrößerung des Abstands			
	0 dBm	-10 dBm	-15 dBm		0 dBm	-10 dBm	-15 dBm
Luft	9,32	2,04	1,20	Luft	5,11	0,36	0,29
Wand	22,70	13,66	4,98	Wand	0,00	0,58	0,16
Holz	21,47	9,98	1,96	Holz	1,69	0,04	0,34
Pappe	14,61	5,70	2,81	Pappe	0,27	0,42	0,70

Tabelle 19: Messungen zur Reichweite

In einigen Fällen reichte die Länge des Flurs (Messstelle 4 und 5: 40,9 Meter; Messstelle 6: 22,7 Meter) nicht aus, um die Reichweite zu bestimmen. In den folgenden Diagrammen werden für diese Fälle 40,9 bzw. 22,7 Meter angetragen.

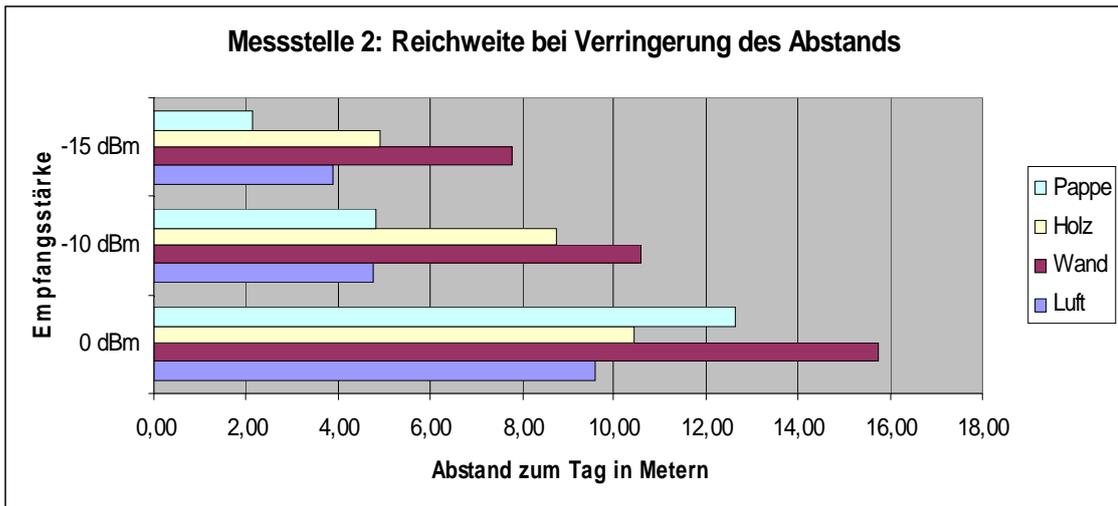


Abbildung 84: Reichweite bei Verringerung des Abstands (Messstelle 2)

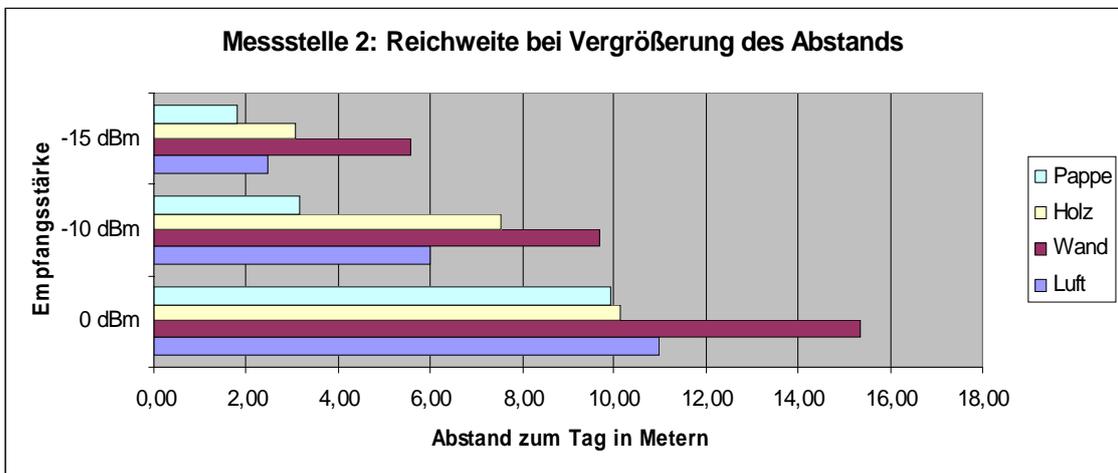


Abbildung 85: Reichweite bei Vergrößerung des Abstands (Messstelle 2)

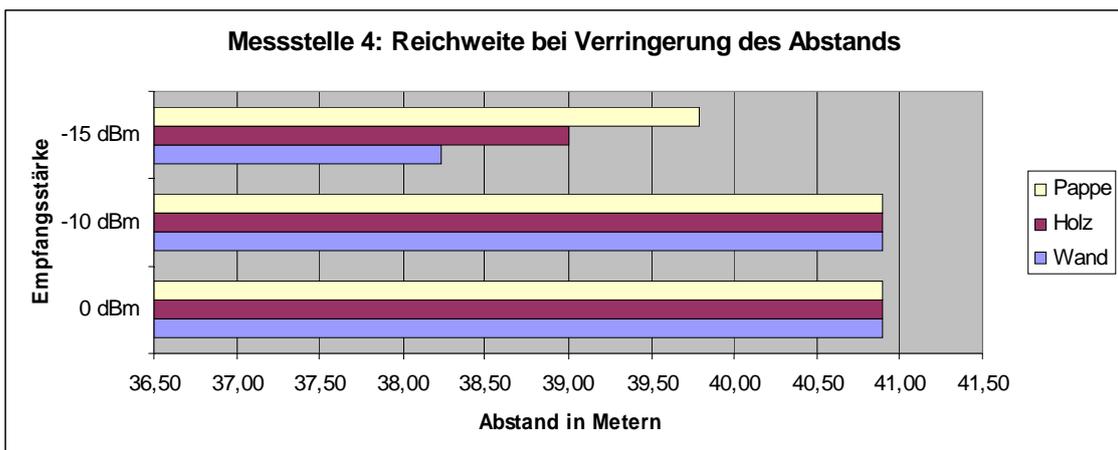


Abbildung 86: Reichweite bei Verringerung des Abstands (Messstelle 4)

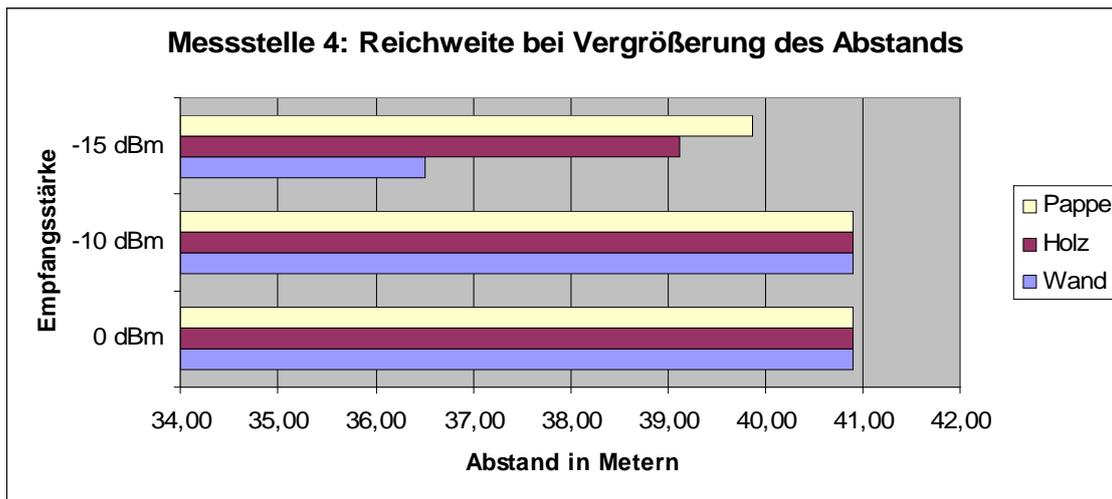


Abbildung 87: Reichweite bei Vergrößerung des Abstandes (Messstelle 4)

Bei diesen Ergebnissen ist erkennbar, dass Pappe und Holz negative Auswirkungen auf die Reichweite haben. An den Messstellen 2, 5 und 6 kann davon ausgegangen werden, dass sich in der Nähe des RFID-Tags Metall befindet. Einzig in der Wand an der Messstelle 4 ist kein Metall zu finden. Vergleicht man die Reichweiten der Versuche bei Messstelle 4 und 5 lässt sich feststellen, dass sie bei Messstelle 4 deutlich besser sind. Der Unterschied zwischen diesen beiden Messstellen liegt darin, dass der Tag bei Messstelle 4 an der Mauerwerkswand und bei Messstelle 5 an einer Stahlbetonstütze befestigt ist, was den negativen Einfluss von Metall verdeutlicht.

Betrachtet man die Standardabweichungen der Versuche, so ist festzustellen, dass diese meistens unter 1 Meter, einige zwischen 1 und 2 Metern liegen. Nur der Versuch bei 0 dBm in freier Luft an Messstelle 6 bildet hier mit einer besonders hohen Standardabweichung (5,11 m) eine Ausnahme.

Die Versuche haben gezeigt, dass mit der mobilen RFID-Reader-Antenne sowohl im Computerraum, als auch im Treppenhaus zuverlässige Reichweiten von mindestens 10 Metern erzielt werden konnten. Darüber hinaus konnte gezeigt werden, dass die Reichweite in kleineren Räumen durch die Reduktion der Antennenleistung auf kleinere Distanzen reduziert werden kann.

Abschließend wurden die maximalen Reichweiten der RFID-Tags im Freien gemessen. Hier wurde besonders darauf geachtet, dass die Messungen in einem Abstand von mehr als 10 Metern von Häusern gemacht wurden. Dabei ergaben sich die folgenden Reichweiten:

Empfangsstärke	maximale Reichweite
0 dBm	55,9 Meter
-10 dBm	49,4 Meter
-15 dBm	37,7 Meter
-20 dBm	19,5 Meter

Tabelle 20: Reichweiten im Freien

7.2.2. UWB

Für die Versuchsdurchführung wurde das UWB-Ortungssystem der Firma Ubisense der Serie 1000 verwendet. Es besteht aus vier Sensoren und mobilen Slim Tags, die von zu ortenden Personen getragen zu werden. Aus den von den Tags gesendeten Signalen berechnet das UWB-System über die Signallaufzeit und die Richtung des empfangenen Signals die Position, siehe Kapitel 2.4.3.

Versuchsdurchführung

Die UWB-Messungen sind in einem Computerlabor am Institut für Numerische Methoden und Informatik im Bauwesen durchgeführt worden, in dessen Ecken unter der Decke die vier UWB-Sensoren angebracht sind. Um einen Überblick über den Einfluss von Wänden oder Säulen und verschiedenen Winkeln zu den Empfängern zu erhalten, sind 7 Punkte im Raum gewählt worden, an denen die Messungen durchgeführt worden sind (siehe Abbildung 88:)

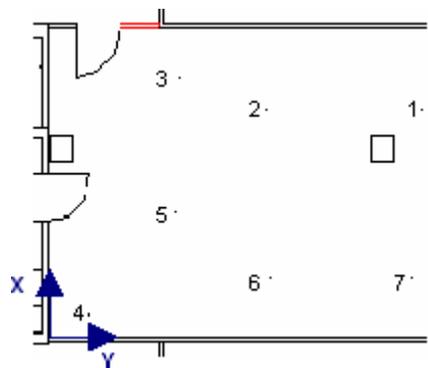


Abbildung 88: Messpunkte im Computerlabor

Um unabhängige Messwerte zu erhalten, wurden die Messungen an zwei unterschiedlichen Tagen wie folgt vorgenommen:

Der UWB-Tag wurde auf jeder Position je eine Minute in die Hosentasche gesteckt, vor die Brust gehalten und auf Kopfhöhe platziert. Mit diesem Vorgehen ist die Abschirmung durch den menschlichen Körper untersucht worden, um zu bestimmen, wo an der Uniform des Feuerwehrmanns der Tag später am günstigsten angebracht werden kann.

Auswertung

Die gemessenen Werte wurden im Verlaufe der Messung in einer Datenbank gespeichert. Für die Auswertung sind diese Werte ausgelesen und mit den tatsächlichen Koordinaten der Messpunkte verglichen worden. Um die Genauigkeit der Messungen zu bekommen, wurde die Standardabweichung bestimmt. Liegen alle Werte einer Messreihe im 3-Sigma-Intervall kann diese als statistisch abgesichert angenommen werden.

Es ergaben sich folgende Standardabweichungen in Metern:

Sigma	Pos 1		Pos 2		Pos 3		Pos 4		Pos 5		Pos 6		Pos 7	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
Hosent.	0,46	1,82	0,16	0,94	0,22	1,04	-	-	0,72	0,65	1,10	1,81	0,19	2,79
Brust	1,68	2,58	1,44	1,37	0,07	0,28	0,34	0,15	0,15	0,11	0,56	1,29	0,18	0,20
Kopf	0,38	0,41	0,22	0,65	0,17	0,31	0,20	0,17	0,14	0,20	0,38	0,50	0,12	0,08

Abbildung 89: UWB: Standardabweichungen

Graphisch können diese Ergebnisse wie folgt dargestellt werden:

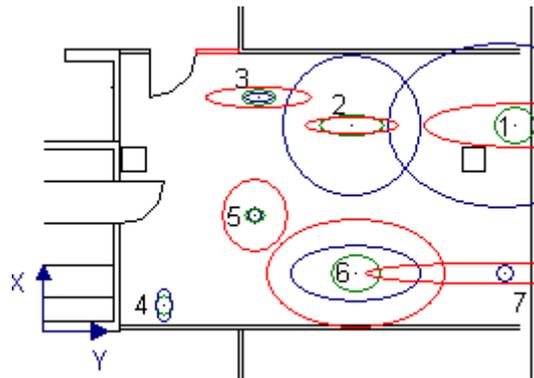


Abbildung 90: UWB-Messung: Darstellungen der Standardabweichungen

Die Ellipsen markieren den durch die Standardabweichungen begrenzten Bereich. Rot steht dabei für die Messungen, bei denen der Tag in die Hosentasche gesteckt wurde, blau steht für einen vor der Brust gehaltenen Tag und grün für eine Platzierung des Tags am Kopf. Bei Position 4 ergab sich für den Fall „Hosentasche“ bei keiner Messung ein Messwert. Bei Position 7 konnten bei den Messungen am Kopf nur zwei Messwerte ermittelt werden. Aus diesem Grund ist in diesen beiden Fällen keine Ellipse in der Grafik vorhanden.

Bildet man jeweils den Mittelwert für die drei Positionen am Körper so ergibt sich folgendes:

Sigma	Mittelwert	
	X	Y
Hosent.	0,48	1,51
Brust	0,68	0,97
Kopf	0,23	0,36

Abbildung 91: UWB: Mittelwerte der Standardabweichungen in Meter

Die größeren Standardabweichungen in Y-Richtung resultieren aus der rechteckigen Form des Raumes. In Y-Richtung stehen die Empfänger weiter voneinander entfernt, daher ist die Strecke zu ihnen länger.

Darüber hinaus ist ersichtlich, dass die Standardabweichung im Mittel am kleinsten ist, wenn der Tag auf Kopfhöhe platziert wird. Auf diese Weise ist die Beeinflussung durch den menschlichen Körper am

geringsten und am ehesten eine Verbindung mit freier Sicht zu den Sensoren möglich. Daher ist eine Integration des Tags in den Helm oder eine Befestigung am Helm zu empfehlen.

7.2.3. WLAN

Die Technologie der WLAN-Ortung beruht, wie in Kapitel 2.5 dargestellt, darauf, dass in dem Ortungsbereich mehrere WLAN-Hotspots vorhanden sind. An jedem Punkt innerhalb des Bereichs werden die Signalstärken einiger Hotspots stärker, die anderer schwächer empfangen. Daraus ergibt sich ein charakteristisches Bild (Fingerprint), das Aufschluss über die Position gibt.

Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung

Für die Versuchsdurchführung ist die Ekahau-Positioning-Engine und der Ekahau Client in der Version 3.3 verwendet worden. Als WLAN-Router sind handelsübliche WLAN-Access-Points der Firma D-Link (Modell AirPlus Xtreme G DWL-2100AP) eingesetzt worden.

Die Messungen wurden in den Räumen des Instituts durchgeführt. Hier ist der Gang zwischen den Büros als „Rail“ mit der Breite 2 m eingemessen worden. Dies bedeutet: Wenn bei der Ortung eine Position außerhalb dieses Weges bestimmt wird, wird diese auf den Weg korrigiert.

Des Weiteren wurde die Ortung in einer Computerlaborumgebung untersucht, die als Open Space eingerichtet ist. Das bedeutet, in einem vorher fest gelegten Raum werden bestimmte Wege eingemessen. Bei der anschließenden Ortung können auch Positionen außerhalb der eingemessenen Wege bestimmt werden. Je mehr Wege vorher eingemessen wurden, desto genauer werden die Ergebnisse. Open Spaces eignen sich für große Räume in denen sich der Nutzer frei bewegen kann (siehe Abbildung 92:).

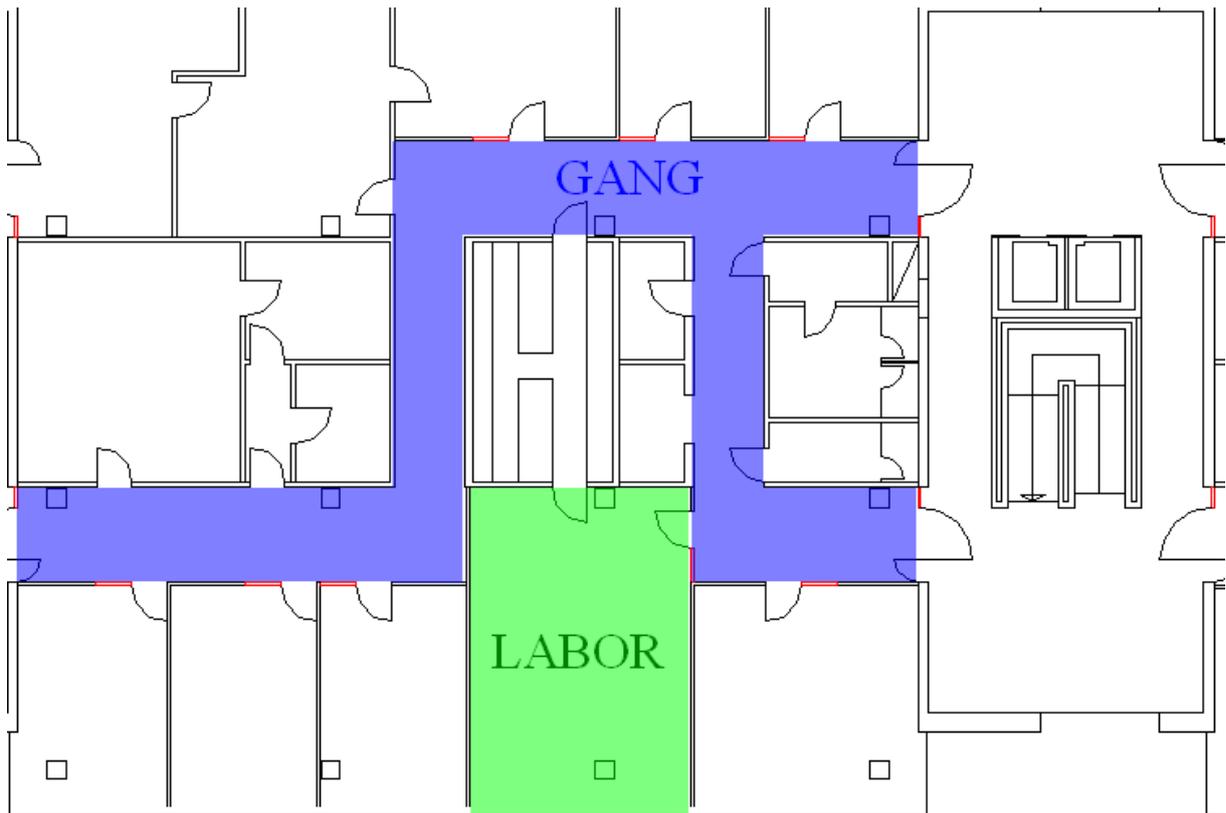


Abbildung 92: Übersicht der Versuchsumgebung

Im Computerlabor wurden bereits für die UWB-Messung sieben Punkte ausgewählt (siehe UWB). Für die WLAN-Messung im Labor wurde auf diese Punkte zurück gegriffen, um eine Vergleichbarkeit der beiden Methoden herzustellen, siehe Abbildung 93:.

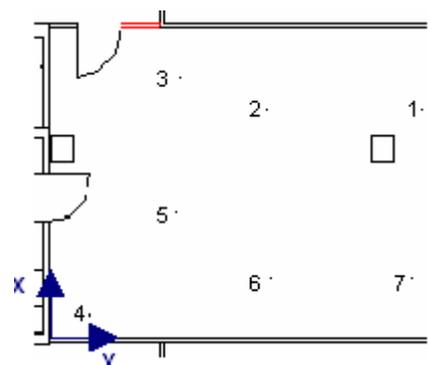


Abbildung 93: Messpunkte in der Laborumgebung

Für die Messung in den Gängen wurden ebenfalls sieben Punkte bestimmt, siehe nachfolgende Abbildung:

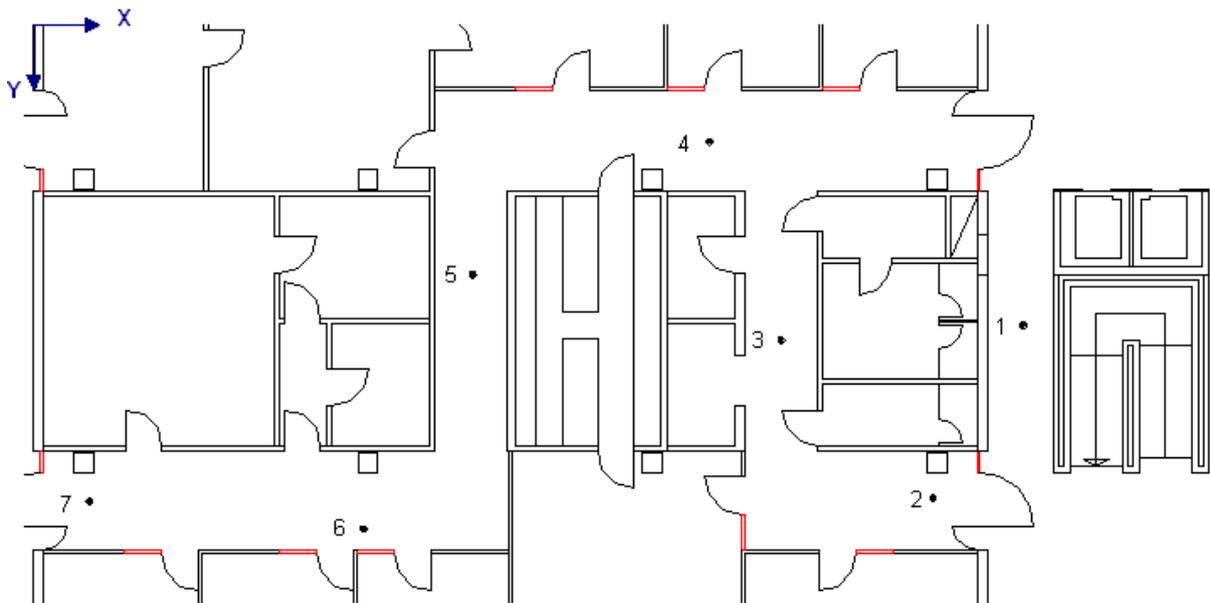


Abbildung 94: Messpunkte in den Gängen

Mit einem mobilen PC (Kaleo von der Firma Texxmo) sind die einzelnen Punkte abgegangen worden, wobei an jedem Punkt die Position eine Minute lang gemessen worden ist. Die dabei gemessenen Werte sind in eine Datenbank eingetragen und später mit den tatsächlichen Koordinaten der Punkte verglichen worden.

Dieser Vorgang ist an drei verschiedenen Tagen wiederholt worden, um die Unabhängigkeit der Ergebnisse sicherzustellen.

Auswertung

Die Auswertung der Ergebnisse erfolgt analog zu denen der UWB-Messungen (siehe UWB).

Gang

Für diesen Bereich ergaben sich folgende Standardabweichungen:

Punkt	1		2		3		4		5		6		7	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
wahre Koord	38,22	11,94	36,04	16,13	32,42	12,26	30,66	7,49	24,95	10,65	22,32	16,84	15,72	16,18
Mittelwert	37,09	11,01	35,19	16,02	31,45	11,23	30,36	7,83	24,57	12,23	23,71	16,06	16,77	14,88
Standardabw	10,20	3,37	3,53	3,24	5,17	3,28	3,68	1,78	4,72	3,13	3,92	2,78	2,62	2,92

Tabelle 21: Mittelwerte und Standardabweichungen in den Gängen in Metern

Der Punkt Nr. 1 liegt nicht innerhalb des eingemessenen Pfades. Dadurch entsteht die extrem hohe Standardabweichung der X-Koordinate von 10,2 m.

Die mittleren Standardabweichungen der anderen Punkte ergeben sich zu 4,37 m für die X-Koordinate und 2,99 m für die Y-Koordinate.

Die Y-Koordinate zeigt eine wesentlich geringere Standardabweichung. Gründe dafür liegen in der Gebäudegeometrie und in der Anordnung der Hotspots.

Analog zur UWB-Messung können auch diese Ergebnisse graphisch dargestellt werden:

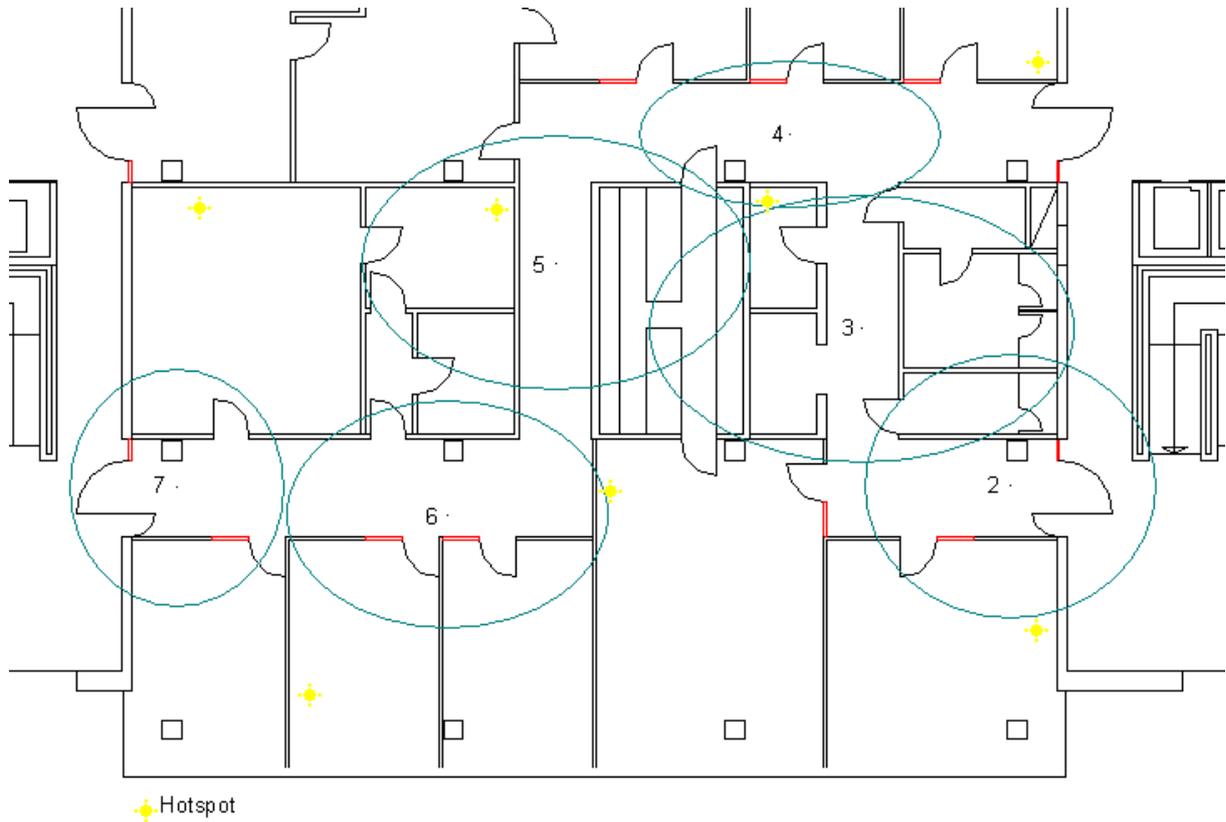


Abbildung 95: WLAN-Messung: Darstellungen der Standardabweichungen in den Gängen

Computerlabor

Im Labor ergaben sich folgende Standardabweichungen:

Punkt	1		2		3		4		5		6		7	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
wahre Koord	30	22,96	30	19,69	30,59	17,8	26,36	15,88	28,19	17,71	26,99	19,77	26,98	22,78
Mittelwert	32,63	19,46	31,43	18,79	29,88	17,27	25,60	16,12	29,20	17,90	30,63	19,84	30,09	20,01
Standardabw	4,13	4,35	5,36	4,00	2,70	2,39	2,33	1,53	2,65	4,37	4,74	3,39	3,99	3,94

Tabelle 22: Mittelwerte und Standardabweichungen im Computerlabor

Die mittleren Standardabweichungen betragen 3,7 m für die X-Koordinate und 3,42 m für die Y-Koordinate. Nachfolgend werden die Standardabweichungen der einzelnen Punkte grafisch dargestellt.

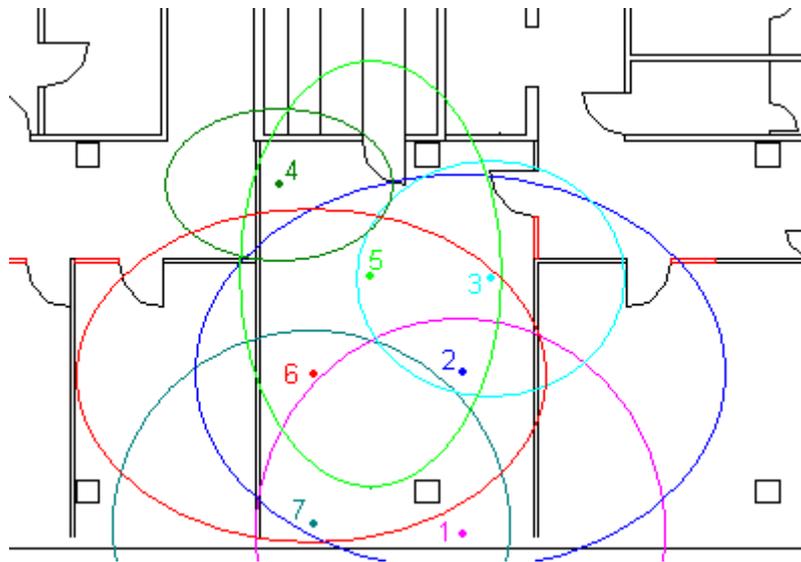


Abbildung 96: WLAN-Messung: Darstellung der Standardabweichungen im Computerlabor

Vergleich UWB und WLAN

Vergleicht man die Standardabweichungen der UWB-Messungen mit denen der WLAN-Messungen, so ergibt sich folgendes Bild:

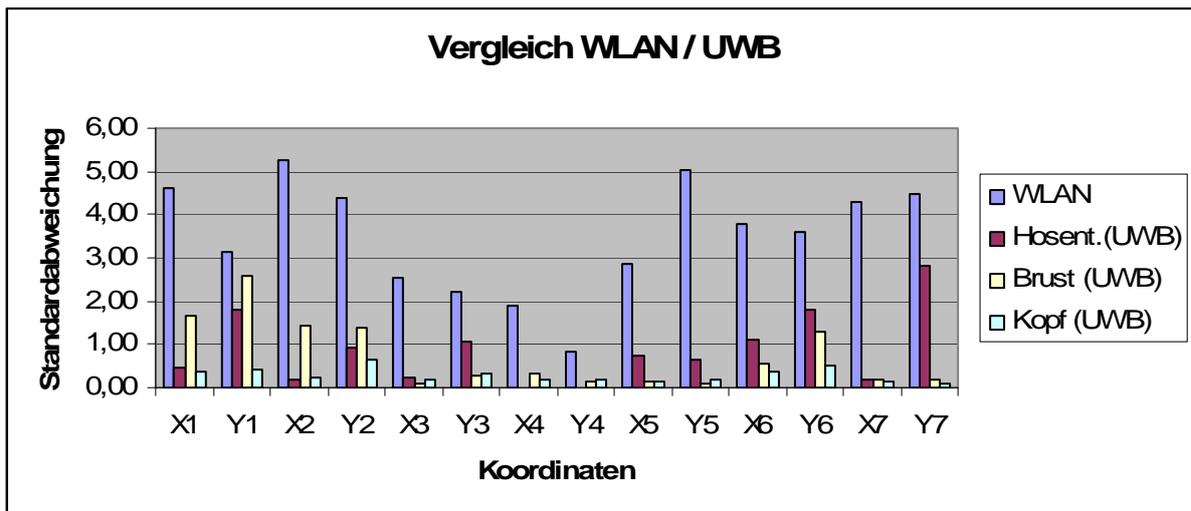


Abbildung 97: Vergleich WLAN und UWB

Es ist deutlich zu erkennen, dass UWB die deutlich geringeren Abweichungen zeigt. Diese liegen meist unterhalb eines Meters, wohingegen die Standardabweichungen der WLAN-Messungen mit 1-5 m deutlich darüber liegen.

Für die WLAN-Technologie allerdings spricht, dass die dafür benötigten Geräte ebenfalls für andere Anwendungen wie eine kabellose Internetverbindung genutzt werden können.

8. Ergebnisse und Erkenntnisse

Die Evaluation des Kontextsensitiven RFID-Gebäude-Leitsystems zusammen mit den Praxispartnern hat gezeigt, dass die Kombination verschiedener Ortungstechniken zur Verbesserung der Orientierung im Gebäude vielfältige Vorteile für Anwender bietet. Insbesondere wurde durch die Praxistests und Interviews mit den Einsatzkräften Folgendes deutlich:

- Vorbehalte gegenüber der neuen Technik konnten nicht festgestellt werden, die Vorteile einer verbesserten Orientierung und Ortung im Gebäude werden für Notfallsituationen als besonders wichtig bezeichnet.
- Ein wesentlicher Vorteil für Einsatzleiter ist besonders die Übersicht über das Geschehen im Gebäude. Dies ermöglicht eine einfachere und sichere Koordination von Einsätzen.
- Eine Notruffunktion mit Anzeige der Position des Verunglückten wird als wichtig angesehen.
- In Gängen hat sich eine punktweise Ortung (ca. alle 7 m) als ausreichend für die Orientierung herausgestellt, wohingegen in Räumen mit mehreren Brandmeldern und wichtigen Objekten eine genauere Ortung benötigt wird.
- Darüber hinaus hat das Testszenario gezeigt, dass die Ortungssysteme besonders bei verrauchten Umgebungen die Orientierung erheblich erleichtern.

Im Bezug auf die eingesetzte Technik und die INI wurden folgende Erkenntnisse gewonnen:

- Die eingesetzten Ortungstechniken und die Fusionierung der unterschiedlichen lokalen Koordinatensysteme in ein einheitliches Koordinatensystem ermöglichen eine ausreichend genaue Ortung in den unterschiedlichen räumlichen Gegebenheiten.
- Die eingesetzten Ortungstechniken wurden auch bei dichtem Rauch nicht beeinflusst.
- Das eingesetzte mobile Endgerät (Kaleo von der Firma Texxmo) war durch das hell hinterleuchtete Display auch bei dichtem Rauch bis aus ca. 1,0 m Entfernung gut lesbar (siehe Abbildung 98:).

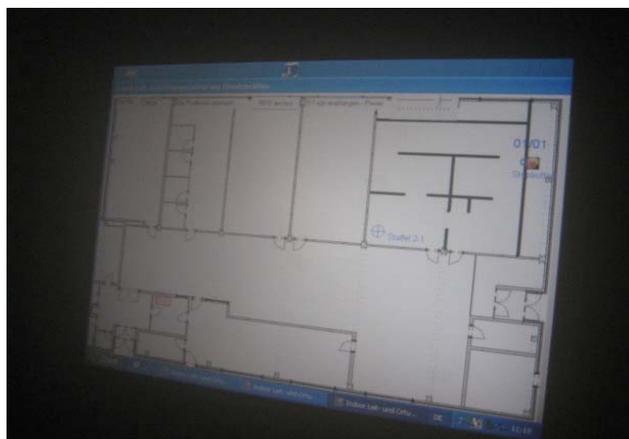


Abbildung 98: Kaleo-Display bei Rauch aus 1m Entfernung

-
- Als Verbesserungen haben sich die etwas träge Initialisierung des UWB-Systems und die Übergänge zwischen den Systemen herausgestellt, hieran wird bereits gearbeitet.
 - Im Rahmen der Tests wurden folgende Erkenntnisse gewonnen:
 - UWB-Ortung ist die genaueste der drei getesteten Ortungstechniken, erfordert jedoch den höchsten Verkabelungsaufwand.
 - WLAN-Ortung ist bei einer Genauigkeitsanforderung von einer raumgenauen Ortung in vielen Bereichen eine gut realisierbare Ortungstechnik, die sowohl mit einfachen Accesspoints, als auch mit High-End-Produkten durchgeführt werden kann.
 - RFID-Ortung mittels aktiver RFID-Tags ist eine einfach zu installierende Ortungstechnik, die in Bereichen mit wenig technischer Gebäudeinfrastruktur eine punktweise Ortung ermöglicht, die den Anforderungen in diesen Bereichen gerecht wird.
 - RFID-Tags bieten auch die Möglichkeit, weitere Informationen abzulegen und Warnhinweise lokal elektronisch für eine kontextsensitive Darstellung bereit zu stellen. Diese Warnhinweise könnten sonst, sofern sie als Aufkleber oder Etiketten angebracht sind, leicht übersehen werden. Eine kontextsensitive Darstellung von Informationen für Einsatzkräfte stellt daher ein wichtiges Mittel dar, um Einsatzkräfte gezielt mit den für sie relevanten Informationen zu versorgen.
 - Die Speicherung von weiteren Daten auf RFID-Tags bietet ein großes Potential auch für andere Anwendungen z. B. im Bereich der Wartung von Brandschutzobjekten. Die benötigten Informationen für die Wartung überschneiden sich mit den im Einsatzfall benötigten Daten.

Dieses Kapitel basiert der Darstellung in [Stübbe, 2010].

9. Zusammenfassung und Ausblick

9.1. Zusammenfassung

Gebäude mit öffentlichem Zugang und besonders Verkehrsinfrastrukturen stellen neuralgische Punkte für Anschläge dar und beinhalten darüber hinaus hohe Anforderungen in Bezug auf die Feuersicherheit in diesen Gebäuden. Aus diesem Grund sind diese Gebäude mit Brandmelde- und Löschsystemen ausgestattet. Die hochsensible Technik führt jedoch zu zahlreichen so genannten Fehlalarmen. Beispielsweise treten ca. 5000 Alarme pro Jahr auf dem Frankfurter Flughafen auf.

Bisher müssen ausgelöste Brandmelder umständlich anhand von Papierplänen aufgesucht werden. Dies erfordert viel Zeit, die im Ernstfall Menschenleben kosten kann. In Alarmsituationen müssen in sehr kurzer Zeit Maßnahmen eingeleitet und Einsatzkräfte koordiniert werden. Ein Überblick über die Positionen von Einsatzkräften in Gebäuden (indoor) ist für Einsatzleiter nur schwer möglich.

Daher sind im Forschungsprojekt „Kontextsensitives RFID-Gebäude-Leitsystem“ Methoden zur Indoor-Ortung und -Navigation für Einsatzkräfte zur schnellen Wegfindung im Einsatzfall in Gebäuden am Beispiel der Flughafenfeuerwehr des Frankfurter Flughafens entwickelt worden.

Es ist gezeigt worden, dass eine Ortungstechnik für die unterschiedlichen Gebäude- und Raumgrößen nicht ausreichend ist und diese Problematik mit Hilfe eines Multimethodenansatzes und einer entwickelten Indoor-Navigations-Integrationsplattform (INI) gelöst werden kann.

Neben Konzepten zur Darstellung von einsatzrelevanten Informationen auf mobilen Endgeräten, zur Integration unterschiedlicher Ortungsmethoden und zur dreidimensionalen Darstellung von Gebäudeinformationen für Einsatzleiter, ist der erstellte Prototyp anhand von Praxistests evaluiert worden.

Eine praxisnahe Forschung ist durch namhafte Partner (Flughafenfeuerwehr der Fraport AG und Bureau Veritas Brandschutzservices GmbH) aus der Praxis sicher gestellt worden. Diese Partnerschaft soll in der nachfolgenden zweiten Projektphase fortgesetzt werden.

9.2. Ausblick

Die Arbeit am Forschungsprojekt und die erreichten Ergebnisse haben gezeigt, dass weitere Forschung erstens im Bereich der Ortung mittels RFID, zweitens im Bereich der Integrierung von Routingnetzen zur Routenberechnung und drittens im Bereich einer Erweiterung des Leitsystems für die Inspektion von Brandschutzeinrichtungen notwendig ist.

Für eine Routenberechnung soll das bereits in der Datenbank gespeicherte Building Information Model (BIM) mittels eines zu entwickelnden Tools direkt in Routingnetze überführt werden, hierbei soll aus den Raumgeometrien ein Netzwerk möglicher Wege (Routingnetz) erzeugt werden, das dem Weg

eines Menschen im Gebäude möglichst nahe kommt. Dieses Routingnetz wird dann für die Berechnung des kürzesten Weges innerhalb eines Gebäudes verwendet. Um bauliche Veränderungen in den Gebäuden erfassen zu können, soll eine Webschnittstelle zusammen mit dem neuen Praxispartner Innotec GmbH entwickelt werden, die es erlaubt tagesaktuell alle CAD-Informationen der Fraport AG einzulesen und somit auch im Wegenetz eines komplexen Gebäudes zu berücksichtigen. Diese tagesaktuellen Daten sollen dann bei der Wegberechnung berücksichtigt werden.

Mit dem neuen Praxispartner Identec Solutions ist geplant die RFID-Ortung zu verfeinern und Methoden mit aktiven RFID-Tags zu erforschen, um Entfernungen von RFID-Tags zu Lesegeräten bestimmen zu können.

Im Nachfolgeprojekt soll das in der ersten Phase entwickelte System auch für den Anwendungsfall Inspektion und Wartung (vorbeugender Brandschutz) nutzbar gemacht werden. Hierdurch soll eine vollständige, digitale Dokumentation der Wartungsprozesse und eine Verifizierung der tatsächlichen Anwesenheit der Wartungskräfte vor Ort mittels RFID-Tags sichergestellt werden. Darüber hinaus sollen ortsunkundige Wartungskräfte, z. B. von Fremdfirmen, auch auf direktem Weg zum Wartungsort mittels Indoor-Navigation geführt werden. Wartungskräfte sollen weitere Informationen über Bauteile mittels RFID (z. B. Kabel- oder Rohrdurchführungen) auslesen können. Hierzu können Informationen aus den intelligenten Bauteilen des Projektes RFID-Intellibau der TU Dresden der ARGE RFID im Bauwesen genutzt werden.

Der in der ARGE RFID-im-Bauwesen geplante „RFID-Bauserver“ mit EPC Discovery Service der Bergischen Universität Wuppertal ist für die Versorgung von Wartungskräften mit Informationen über Bauteile oder Brandschutzobjekte des Gebäudes sehr interessant. Hier könnten beispielsweise das letzte Wartungsdatum eines Feuerlöschers und weitere Produktinformationen, z. B. über das Löschmittel, anhand eines Zugriffs auf den RFID-Tag und den Bauserver ausgelesen und angezeigt werden.

Die Schnittstellen zwischen den einzelnen ARGE-RFID-im-Bauwesen-Projekten wurden bereits definiert (siehe Abbildung 99:).

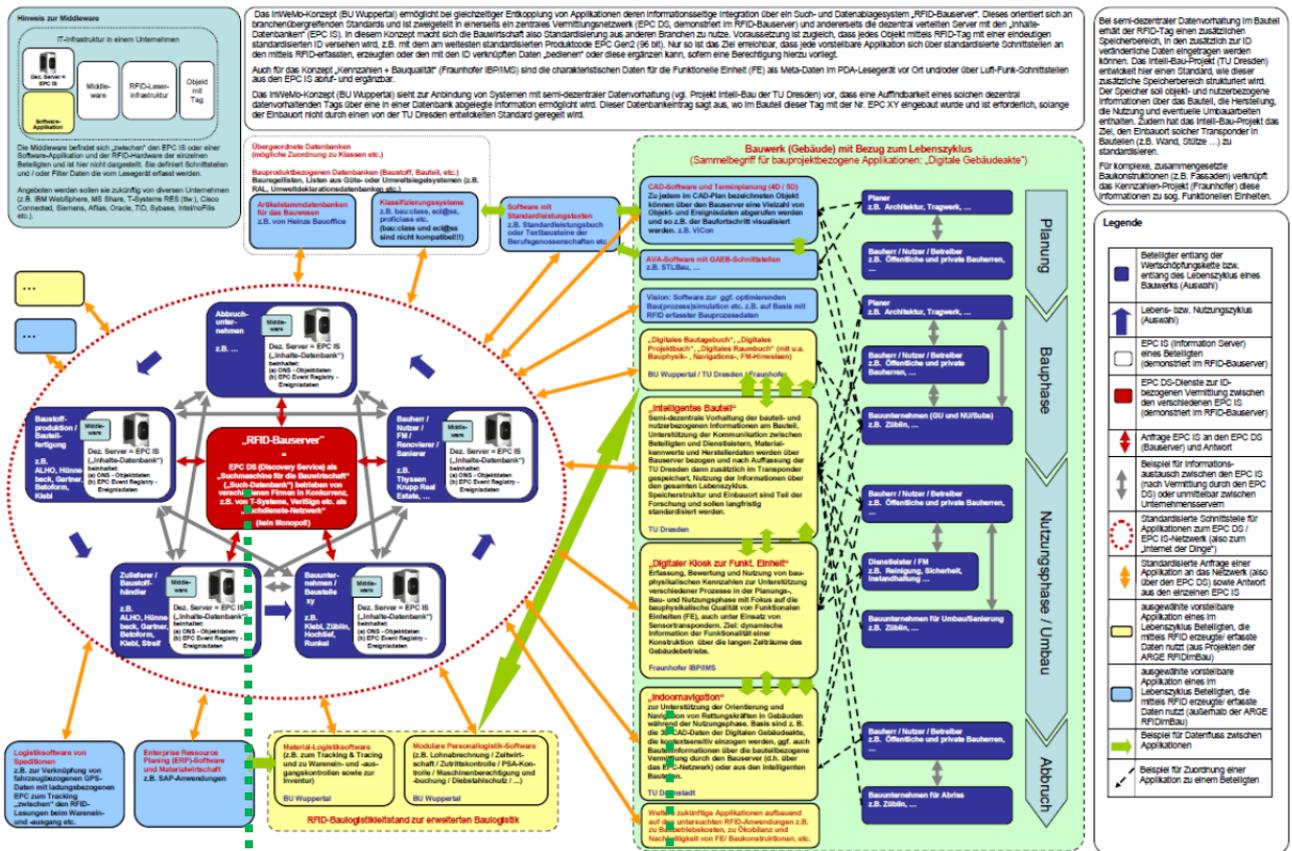


Abbildung 99: Schnittstellübersicht innerhalb der ARGE RFIDimBau, siehe www.rfidimbau.de

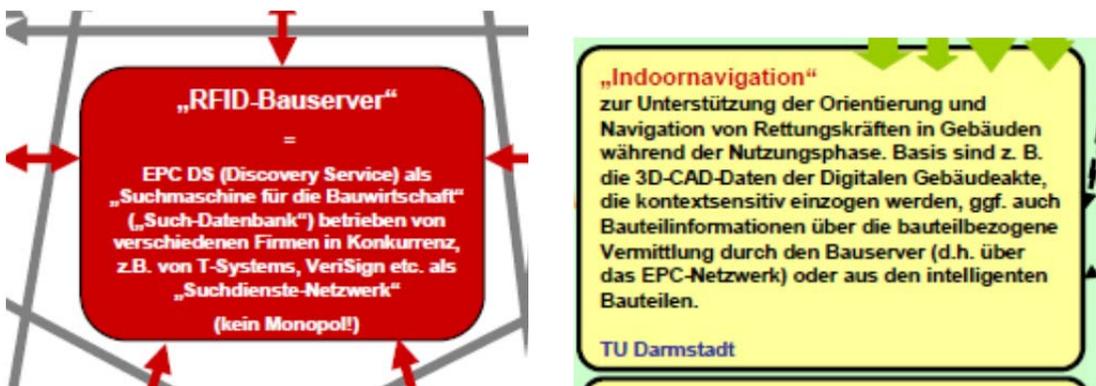


Abbildung 100: Ausschnitte Schnittstellen RFIDimBau

Sobald diese Schnittstellen z. B. in Form eines Webservices umgesetzt worden sind, wird eine Nutzung der Informationen für die Wartung mittels RFID-Tags forschungsbegleitend eingebunden. Produktinformationen des RFID-Bauservers lassen sich auch für die kontextsensitive Darstellung innerhalb des RFID-Gebäude-Leitsystems verwenden.

Auch die beiden bisherigen Praxispartner werden in der nächsten Phase wieder mitwirken. Die Fraport AG unterstützt als Anwendungspartner die Praxistests und Bureau Veritas Brandschutz Services GmbH wird die fachgerechte Erstellung des RFID-Wartungsleitsystems betreuen.

Die bisherige Forschungsarbeit hat die Vorteile der Nutzung von Ortungstechnologien für Einsatzzwecke gezeigt. Durch Gespräche auf Konferenzen und Messen wurde dem Projekt ein großes Interesse entgegengebracht und durch viele Anregungen ergänzt. Systeme, die helfen die schwierigen Bedingungen von Einsatzkräften zu verbessern und sicherer zu gestalten und gleichzeitig Effizienzsteigerungen durch eine Vereinfachung von Inspektions- und Wartungsprozessen mit RFID zu erzielen, wurden als besonders praxistauglich angesehen.

10. Literaturverzeichnis

- A1.3, A. (04 2007). *Technische Regeln für Arbeitsstätten ASR A1.3*. Abgerufen am 26. 01 2009 von http://www.baua.de/nn_56926/de/Themen-von-A-Z/Arbeitsstaetten/ASR/pdf/ASR-A1-3.pdf
- AGBF, N. (2007). *Gestaltungsrichtlinie für Feuerwehrlaufkarten*. AGBF Niedersachsen - Arbeitskreis Vorbeugender Brand- und Gefahrenschutz LFV-Niedersachsen e.V.
- Aitenbichler, E. (2008). A Focus on Location Context. In M. Mühlhäuser, & I. Gurevych, *Ubiquitous Computing Technology for Real Time Enterprises* (S. 257-281). Idea Group Publishing.
- Akinci, B. (2008). Utilization of RFID for construction supply-chains and for facility management. *Tagungsband RFID im Bau, ARGE RFID*. Berlin: Addprint AG.
- Autodesk. (2008). *DXF Reference*. Abgerufen am 28. 01 2009 von <http://usa.autodesk.com/adsk/servlet/item?siteID=123112&id=8446698>
- Autodesk Revit. (2009). *Autodesk Revit*. Abgerufen am 30. 01 2009 von <http://www.autodesk.de/adsk/servlet/index?siteID=403786&id=10555446#section2>
- BBC-News. (11 2007). Abgerufen am 7. 11 2008 von Warenhausbrand in Warwickshire: http://news.bbc.co.uk/2/hi/uk_news/england/coventry_warwickshire/7076401.stm
- BDBOS. (14. 10 2008). *BDBOS: Frontal 21: Digitalfunk BOS*. Abgerufen am 02. 04 2009 von http://www.bdbos.bund.de/cln_116/nn_421076/sid_0E389BE76923CDCDB5E26E6E6A9E565E/SharedDocs/Meldungen/frontal21.html?__nnn=true
- Becker, B. (2008). Anwendungsgebiete der Ultraweitband (UWB)-Technologie. In *Smart Solution 2008*. Hannover: rfid ready Verlag.
- Bentley. (2006). *Microstation C++ API Help*. Abgerufen am 28. 01 2009 von www.docs.bentley.com
- Bentley. (02 2007). *Microstation V8 XM Edition Handbuch*. Abgerufen am 28. 01 2009 von www.docs.bentley.com
- Bentley. (12 2006). *ProjectWise Explorer Hilfe*. Abgerufen am 28. 01 2009 von docs.bentley.com
- Bentley_Facilities_Planer. (01 2007). *Bentley Facilities Planner Reference*. Abgerufen am 28. 01 2009 von docs.bentley.com
- Bentley_MDL. (2006). *MDL Programmer Guild*. Abgerufen am 28. 01 2009 von docs.bentley.com
- Bentley_ProjectWise. (2007, 08). *ProjectWise Administration V8 XM Edition Help*. Retrieved 01 28, 2009, from <http://selectservices.bentley.com>
- Bentley_Select. (2008). *Bentley Selectservices*. Abgerufen am 28. 01 2009 von <http://selectservices.bentley.com>
- Bentley_VBA. (2007). *Microstation V8 Visual Basic for Applications Reference*. Retrieved 01 28, 2009, from docs.bentley.com

-
- BGV. (2002). *BGV A8 Sicherheits- und Gesundheitsschutzkennzeichnung am Arbeitsplatz*. Abgerufen am 26. 01 2009 von http://www.umwelt-online.de/regelwerk/arbeitss/uvv/bgva/a8_ges.htm
- Blankenbach, J., Schlemmer, H., Norrdine, A., & Willert, V. (05 2007). Indoor-Positionierung auf Basis von Ultra wide Band. *AVN - Allgemeine Vermessungs-Nachrichten*, S. 169-178.
- BNetzA. (2008). *Pressemitteilung: Frequenzen für Ultra-Wideband-Technologie bereitgestellt*.
- BNetzA_2. (2008). *Vfg 1/2008 geändert mit Vfg. 17/2008*.
- Brettschneider, N., Brattke, S., & Rein, K.-H. (2006). Head mounted Display For Fire-Fighters. *3rd International Forum on Applied Wearable Computing*. Bremen.
- BuildingSMART. (2008). *IFC Spezifikation*. Abgerufen am 28. 01 2009 von <http://www.iai-tech.org>
- BuildingSMART. (2006). *IFC-Anwenderhandbuch Version 1.0*. München: IAI Industrieallianz für Interoperabilität.
- CadSoftTools. (2008). *DXF Export.NET von CadSoftTools*. Abgerufen am 28. 01 2009 von <http://cadsofttools.de>
- Clasen, M. (11 2006). *GS1*. Abgerufen am 21. 01 2009 von RFID/EPC und Sensorik: http://www.gs1-germany.de/content/e39/e466/e468/datei/epc_rfid/sensorik.pdf
- Corte, J. (01 2009). Was bedeutet die Umrüstung auf Digitalfunk für den Gebäudefunk. *Baurecht und Brandschutz aktuell, Newsletter Bureau Veritas Brandschutzservices GmbH*, S. 03.
- de Haan, R., Krannich, R., & Landsperger, S. (2008). *Handbuch Brandschutzvorschriften*. Merching: Forum Verlag Herkert.
- de Swaaf, K. (06. 12 2006). *WLAN-Pilotprojekt: Heidelberg - ein einziger Hotspot*. Abgerufen am 23. 02 2009 von Spiegel Online: <http://www.spiegel.de/reise/staedte/0,1518,452822,00.html>
- Derbel, F. (2002). *Smart-sensor-System zur Brandfrüherkennung*. ISBN 978-3790508703: Plaum Verlag.
- DIN 14034. (2005). *DIN 14034: Graphische Symbole für das Feuerwehrwesen*. Berlin: Deutsches Institut für Normung e.V.
- DIN-14095. (2007). *DIN 14095:2007-05 Feuerwehrpläne für bauliche Anlagen*. Berlin: Deutsches Institut für Normung e.V.
- DIN-14675. (2003). *DIN 14675, Branmeldeanlagen Aufbau und Betrieb*. Berlin: Deutsches Institut für Normung e.V.
- DIN-4844. (2003). *DIN 4844 Sicherheitskennzeichnung Teil 3: Flucht- und Rettungspläne*. Berlin: Deutsches Institut für Normung.
- DXFLIB. (2008). *dxflib open source C++ Bibliothek*. Abgerufen am 28. 01 2009 von <http://www.ribbonsoft.com>
- Eissfeller, B., Teuber, A., & Zucker, P. (04 2005). Indoor-GPS: Ist der Satellitenempfang in Gebäuden Möglich? *ZfV*, S. 226-234.
- Ekahau. (2009). *Ekahau Inc*. Abgerufen am 20. 01 2009 von <http://www.ekahau.com/>

-
- Endsley, M. (1995). Toward a theory of situation awareness in dynamic systems. *Human Factors* 37 (1) , 32-64.
- FEMA. (2008). *Federal Emergency Management Agency*. Abgerufen am 12. 11 2008 von <http://www.fema.gov>
- Feuerwhere. (17. 06 2008). *FeuerWhere Tracking Fire Fighters*. Abgerufen am 23. 04 2009 von <https://feuerwhere.mi.fu-berlin.de/>
- Flörkemeier, C. (2005). EPC-Technologie - Auto-ID Center zu EPCglobal. In F. Mattern, & E. Fleisch, *Das Internet der Dinge - Ubiquitous Computing und RFID in der Praxis* (S. 87-100). Heidelberg: Springer Verlag.
- Friedl, W. J. (1998). *Fehlalarme minimieren*. ISBN: 978-3800719389: VDE-Verlag.
- Füßler, A., & Clasen, M. (4 2005). *GS1 Germany*. Abgerufen am 7. 11 2008 von Ultra Hochfrequenz (UHF): http://www.gs1-germany.de/content/e39/e466/e468/datei/epc_rfid/mip_7_ultrahochfrequenz_uhf.pdf
- Gambardella, A., Marzoli, M., De Pccoli, F., & Marasca, G. (2008). Indoor Location of Rescuers in a Complex Emergency Management Scenario: The Liaison Intalin Fire Brigade Test Case. *Proceedings of 15th TEIMS Annual Conference*, (p. 47). Prag, Tschechische Republik.
- Gartner, G., Radoczky, V., & Retscher, G. (2008). *Location technologies for pedestrian navigation*. Abgerufen am 20. 01 2009 von Department of Geoinformation and Cartography, Vienna: <http://www.gisdevelopment.net/magazine/years/2005/apr/location.htm>
- gbXML. (2008). *Green Building XML Schema*. Abgerufen am 28. 01 2009 von <http://www.gbXML.org>
- gbXML-Schema. (2009). *Green Building XML Schema*. Abgerufen am 30. 01 2009 von <http://www.gbXML.org>
- Gefas. (28. 05 2008). *Gefas Gesellschaft für Arbeitssicherheit GmbH*. Abgerufen am 02. 04 2009 von Warum Wärmebildkameras ? : <http://www.gefas.at/index.php/lang-de/news/65-warum-waermebildkameras->
- Gemeiner, P., Einramhof, P., & Vincze, M. (6 2007). Simultaneous Motion and Structure Estimation by Fusion of Inertial and Vision Data. *International Journal of Robotics Research* , S. 591-605.
- Gerber, G. (2006). *Brandmeldeanlagen: Planen, Errichten, Betreiben*. ISBN 978-3810102232: Hüthig & Pflaum-Verlag.
- Golem. (2009). *Golem*. Abgerufen am 03. 03 2009 von <http://www.golem.de/specials/webservice/>
- Harmer, D., Yarovoy, A., & Schmidt, N. (2008). An Ultra-Wide Band Indoor Personnel Tracking System for Emergency Situations (Europcom). *European Microwave Week (EuMW)*. Amsterdam.
- Harter, A., Hopper, P., Ward, A., & Webster, P. (1999). The anatomy of a context-aware application. *5th Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking (Mobicom 1999)* (S. 59-68). Seattle: ACM Press.
- Heise. (18. 01 2009). *TU Chemnitz entwickelt Indoor-Navi auf RFID-Basis*. Abgerufen am 21. 01 2009 von <http://www.heise.de/newsticker/TU-Chemnitz-entwickelt-Indoor-Navi-auf-RFID-Basis--/meldung/121893>
- Helmus, M., Laußat, L., Meins-Becker, A., & Kelm, A. (2009). *RFID in der Baulogistik: Forschungsbericht zum Projekt "Integriertes Wertschöpfungsmodell mit RFID in der Bau- und Immobilienwirtschaft"*. Vieweg+Teubner.

-
- Identec Solutions. (2009). *Identec Solutions*. Abgerufen am 03. 02 2009 von <http://www.identecsolutions.com/ilrlongrange.html>
- IIS, F. (16. 02 2009). *Fraunhofer IIS*. Abgerufen am 06. 03 2009 von http://www.iis.fraunhofer.de/pr/Presse/Presseinformationen_2009/PI_WLAN_Lokalisierung.jsp
- Innotec GmbH. (2009). *Innotec GmbH*. Von Enterprise-Facility-Manager (EFM): <http://www.innotec-cad.de> abgerufen
- Jehle, P., Seyffert, S., Wagner, S., & Netzker, M. (2008). *Forschungsbericht Optimierungspotentiale im Lebenszyklus eines Bauwerks durch den Einsatz der Radio Frequency Identification Technologie*. Dresden: TU Dresden.
- Kalkusch, M., Lidy, T., Knapp, M., Reitmayr, G., Kaufmann, H., & Schmalstieg, D. (2002). Structured Visual Markers for Indoor Pathfinding. *IEEE First International Augmented Reality Toolkit Workshop (ART02)*. Darmstadt.
- Kaszynski, O. (2008). Datenübertragung und Applikationen in sicherheitsorientierten Digitalfunksystemen. Berlin. Von http://www.pmev.de/tont/download/08-03_daten&applikationen.pdf abgerufen
- Kotz, J., Pfeffer, K., & Klaubert, S. (2002). *Der VB.NET Anwendungsentwickler . Praktische Einführung in die neue VB-Generation*. München: Addison-Wesley; ISBN 978-3827320353.
- Koukolikova, Z., Nicola, C., & Stamm, C. (2008). Genauigkeit eines Lokalisierungssystems für aktive RFID-Tags. *IMVS Kokus Report 2008*, S. 11-17.
- Kulpa, M. (2006). *RFID-Informationen.de*. Abgerufen am 2006. 01 21 von <http://rfid-informationen.de/>
- Lampe, M., Florkemeier, C., & Haller, S. (2005). Einführung in die RFID-Technologie. In E. Fleisch, & F. Mattern, *Das Internet der Dinge*. Heidelberg: Springer.
- Landmarke. (15. 08 2008). *Landmarke - Innerräumliche Navigation*. Abgerufen am 23. 04 2009 von <http://www.landmarke-projekt.de/>
- Lukowicz, P., Timm-Giel, A., Lawo, M., & Herzog, O. (2007). WaerIT@work: Toward Real-World Industrial Wearable Computing. *IEEE Pervasive Computing* 6(4), S. 8-13.
- Marten, M. (1995). *BOS-Funk Band 1* (Bde. ISBN 3-922221-81-5) Siebel Verlag.
- Mayr, J., & Battran, L. (2005). *Brandschutzatlas*. Köln: FeuerTrutz.
- Meißner, A., & Steinebach, M. (2003). Neue IT Infrastrukturen im Notfall- und Rettungswesen - Potential und Risiko. *Kongress Netz- und Computersicherheit*. Universität Düsseldorf.
- Minimax. (2009). *Minimax GmbH & Co. KG*. Abgerufen am 04. 03 2009 von <http://www.minimax.de/de/produkte/brandmeldung/images/funktion-bma.jpg>
- Mohnke, J., & Meriac, M. (2008). *Openbeacon*. Abgerufen am 21. 01 2009 von http://www.openbeacon.org/dl/Mohnke_LokalisierungstechnikenMuseum.pdf

Newsletter Projekt Digitalfunk BOS Hessen. (02 2008). Gibt es diese Geräte überhaupt schon? *Newsletter Projekt Digitalfunk BOS Hessen* , S. 6.

Ni, L., Liu, Y., Lau, Y. C., & Patil, A. (2003). LANDMARK: Indoor Location Sensing Using Active RFID. *First IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications*, (S. 407).

Normung, D. I. (1979). *Graphische Symbole für das Feuerwehrwesen*.

Oehlmann, H. (2008). RFID Ready. In *Smart Solutions 2008* (S. 5). rfid ready Verlag.

Pitoura, E., & Samaras, G. (2000). Locating Objects in Mobile Computing. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering. Vol 13* . IEEE.

Prasanna, R., Yang, L., & King, M. (2008). Dynamic Information Management During Fire Emergency Response. *Proceedings of 15th TIEMS Annual conference* (S. 46). Prag, Tschechische Republik: ISBN 987-90-9023299-7.

Projekt Digitalfunk BOS Hessen Newsletter. (01 2008). Basisstationen als Rückgrat der flächendeckenden Versorgung. *Newsletter Projekt Digitalfunk BOS Hessen* , S. 7.

Renaudin, V., Yalak, O., Tome, P., & Merninod, B. (03. 07 2007). Indoor Navigation of Emergency Agents. *European Journal of Navigation (Volume 5)* .

Roth, J. (2002). *Mobile Computing: Grundlagen, Techniken, Konzepte*. Heidelberg: dpunkt Verlag.

Rothermel, K., Bauer, M., & Becker, C. (2003). Digitale Weltmodelle - Grundlage kontextbezogener Systeme. In F. Mattern, *Total vernetzt - Szenarien einer informatisierten Welt* (S. 123-141). Springer-Verlag.

Rüppel, U., & Stübbe, K. (2007). context sensitive Emergency-Navigation-System for Buildings. *The 11th International Conference on Civil, Structural and Environmental Engineering Computing* (S. Paper 77). Malta: Civil-Comp Press.

Schatz, K. (2008). *Konzeption und Entwicklung eines Werkzeugs zur dreidimensionalen Darstellung von dynamischen Brandschutzplänen für den Einsatz der Feuerwehr aus CAD-Gebäudeinformationen*. Darmstadt: Diplomarbeit am Institut für Numerische Methoden und Informatik im Bauwesen.

Schmidt, T., & Sollinger, R. (1 2005). Tablet-PC-Der digitale Aktenordner. *BrandSchutz* , S. 30-32.

Schweigert, M., & Hübner, T. (2005). *WLAN-basierte ortung mit MagicMap, Studienarbeit*. Humboldt Universität Berlin, Institut für Informatik, Lehrstuhl Rechnerorganisation und Kommunikation.

Sharma, T. (2008). RFID Grundlagen. In *Smart Solutions 2008* (S. 10-12). rfid ready Verlag.

Shun-yaan Veh, K.-h. C.-i.-h. (2005). The GETA Sandals: A Footprint Location Tracking System. In *Location- and Context-Awareness: First International Workshop, LoCA 2005, Oberpfaffenhofen, Germany, May 12-13, 2005, Proceedings* (S. 120-131). Berlin / Heidelberg: Springer .

Siemens DPS. (2005). *DECT Positioning System*. Abgerufen am 2009. 02 12 von www.telenova.org/cms/upload/pdf/HiPath_Cordless_DPS.pdf

Sollinger, R. (12 2004). Komplettumbau: Die neue Leitstelle der Werkfeuerwehr TUM. *BrandSchutz* , S. 861-866.

Stadt Tübingen. (17. 12 2005). *Tübingen Universitätsstadt*. Abgerufen am 2008. 12 03 von http://www.tuebingen.de/pressemitteilungen/25_14097.html

Stübbe, K. M. (2010). *Kontextsensitive Indoor-Navigation für Einsatzkräfte - Ortung, Wegberechnung, Zielführung und Einsatzkoordination*. Herzogenrath: Shaker Verlag.

Swedberg, G. (2004). *Ericsson's Mobile Location Solution*. Ericsson Review, No. 4.

Sweeney, P. J. (2006). *RFID für Dummies*. Wiley-VCH.

Tadakamadla, S. (10 2006). Indoor Local Positioning System, Master Thesis. Mid Sweden University, Department of Information Technology and Media (ITM), Schweden.

Télématique. (2009). *Télématique: Cellular Communication Based Positioning*. Abgerufen am 15. 04 2009 von http://www.telematique.eu/enabling_technologies/cellular_positioning.en.html

TFH Wildau. (03. 02 2009). *TFH Wildau*. Abgerufen am 13. 02 2009 von wiki Indoor-Ortung: <http://www.tm.tfh-wildau.de/~sbruntha/wiki/index.php/Indoor-Ortung#RFID>

Thapa, K., & Case, S. (2003). An Indoor Positioning Service für Bluetooth Ad Hoc Networks. *The 36th Annual Midwest Instruction an Computing Symposium*. Duluth, USA.

TNO. (2008). *TNO Building Research IFC Engine*. Abgerufen am 28. 01 2009 von <http://www.ifcbrowser.com>

Tsakiridou, E. (28. 11 2008). Mit RFID durch das Flughafen-Gewirr. *VDI Nachrichten*, S. 13.

TU Berlin. (2009). *Magic Map*. Abgerufen am 20. 01 2009 von <http://www2.informatik.hu-berlin.de/rok/MagicMap/>

U.S. Fire Administration. (2007). Abgerufen am 7. 11 2008 von QuickStats, The Overall Fire Picture - 2007: <http://www.usfa.dhs.gov/statistics/quickstats/index.shtm>

U2010. (2008). *Ubiquitous IP-Centric Government & Enterprise Next Generation Networks Vision 2010*. Abgerufen am 7. 11 2008 von <http://www.u-2010.eu/index.php?id=7>

Ubisense. (2007). *Ubisense Produktinformation*. Abgerufen am 03. 02 2009 von Ubisense Serie 7000 Sensor Datenblatt: <http://www.ubisense.de>

W3C. (2009). *World Wide Web Consortium*. Abgerufen am 30. 01 2009 von <http://www.w3.org/XML/>

Walder, U. (2006). Integration of computer aided facility management data and real-time information in disaster management. *ECPPM 2006* (S. 397-401). Valencia: Taylor & Francis.

Walter, T. (03. 03 2009). *Thomas Walter Nachrichtentechnik*. Abgerufen am 03. 03 2009 von http://www.walter-nachrichtentechnik.de/assets/images/laufkarte_a_detail.gif

Want, R., Hopper, A., Falcao, V., & Gibbons, J. (01. 01 1992). The Active Badge Location System. *ACM Transactions on Information Systems*, S. 91-102.

Wießflecker, T. (2008). Kontext-sensitive Gebäudemodelle für das Katastrophenmanagement. *Forum Bauinformatik 2008* (S. 245-255). Dresden: Institut für Bauinformatik, Fakultät Bauingenieurwesen, Technische Universität Dresden.

Zwinger, U. (2009). Führung und Leitung von Feuerwehreinsatzkräften in komplexen Gebäuden mit Indoor-Ortungstechniken. *Vertieferarbeit am Insitut für Numerische Methoden und Informatik im Bauwesen* . Darmstadt: TU Darmstadt.

11. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schnittstellen der ARGE RFID-Technologie im Bauwesen [Jehle, Seyffert, Wagner, & Netzker, 2008]	4
Abbildung 2: Cell of Origin nach [Télématique, 2009]	8
Abbildung 3: Time of Arrival nach [Télématique, 2009]	9
Abbildung 4: Time Difference of Arrival nach [Télématique, 2009]	10
Abbildung 5: Angle of Arrival nach [Télématique, 2009]	10
Abbildung 6: Techniken für Indoor Positioning	11
Abbildung 7: Active Bat Quelle: http://www.cl.cam.ac.uk/research/dtg/attarchive/bat/	12
Abbildung 8: Landmark: Aufbau mit 9 Readern mit zwei unterschiedlichen Reichweiten [Ni, Liu, Lau, & Patil, 2003]	13
Abbildung 9: SingPost [Kalkusch, Lidy, Knapp, Reitmayr, Kaufmann, & Schmalstieg, 2002]	15
Abbildung 10: Trägheitssensoren [Renaudin, Yalak, Tome, & Merninod, 2007]	16
Abbildung 11: MagicMap [TU Berlin, 2009].	18
Abbildung 12: Ekahau Site-Survey zur Analyse der Signalstärken [Ekahau, 2009]	18
Abbildung 13: Ubisense UWB-System nach [Becker, 2008]	19
Abbildung 14: Aufbau eines RFID-Systems, (Quelle: http://www.logsystems.hu)	22
Abbildung 15: Aktive und passive RFID-Tags (Quelle www.gaorfid.com)	23
Abbildung 16: Funkregulatoren, Quelle: [Füßler & Clasen, 2005]	24
Abbildung 17: UHF Nutzung der Frequenzbereiche [Füßler & Clasen, 2005]:	26
Abbildung 18: Kanalaufteilung, Quelle: [Füßler & Clasen, 2005]	27
Abbildung 19: Feldausbreitung Isotroper Strahler vs. Dipolantenne, Quelle: [Füßler & Clasen, 2005].	28
Abbildung 20: Ortung mit RFID-Tags nach [TFH Wildau, 2009]	30
Abbildung 21: Signalausbreitung Konventionelle Funktechnologie und UWB nach [Becker, 2008]	34
Abbildung 22: Ubisense Tag und Sensor [Becker, 2008]	35
Abbildung 23: Einmessung mit vorgegebenen Wegen mit der Ekahau Sitesurvey	38
Abbildung 24: Bestandteile eines Feuerwehreinsatzplans nach [Mayr & Battran, 2005]	43

Abbildung 25: Feuerwehr-Laufkarte [Walter, 2009]	46
Abbildung 26: Feuerwehrplan – Übersichtsplan [de Haan, Krannich, & Landsperger, 2008]	47
Abbildung 27: Feuerwehrplan – Geschossplan [de Haan, Krannich, & Landsperger, 2008]	48
Abbildung 28: Flucht- und Rettungsplan [de Haan, Krannich, & Landsperger, 2008]	49
Abbildung 29: Aufbau einer Brandmeldeanlage (Quelle: http://www.fire-protection-solutions.com/images/19_CalBrandmeldeanlage_gr.jpg)	52
Abbildung 30: Schematische Struktur einer BMA [de Haan, Krannich, & Landsperger, 2008]	53
Abbildung 31: Rauchmelder (Quelle: http://www.elektrofachmarkt-online.de/Media/Shop/701151.jpg)	54
Abbildung 32: Organisationseinheiten der Feuerwehr (Quelle: http://www.feuerwehr-schwaltungen.de/dokumente/Taktische_Zeichen_Feuerwehr.pdf)	58
Abbildung 33: Einsatzablauf [Stübbe, 2010]	59
Abbildung 34: Brandmeldertableau [Wikipedia]	60
Abbildung 35: Anfahrtskarten-Register	61
Abbildung 36: Links Langzeitgerät, rechts Normalzeitgerät.	62
Abbildung 37: Wärmebildkamera [Stübbe, 2010]	64
Abbildung 38: Stand des digitalen BOS-Netzaufbaus Ende November 2008, Quelle www.bdbos.bund.de	66
Abbildung 39: Datenraten BOS-Funk [Kaszynski, 2008]	68
Abbildung 40: MicroStation Export-Funktion	79
Abbildung 41: Use Case-Diagramm	84
Abbildung 42: Systementwurf Indoor-Navigations-Integrationsplattform	88
Abbildung 43: Aufbau einer Brandmeldeanlage / Symbolik für den Einsatzablauf [Schatz, 2008]	90
Abbildung 44: Konzept Gebäudeübersicht	91
Abbildung 45: 3D-Gebäudemodell und gbXML-Elemente [Schatz, 2008]	94
Abbildung 46: RectangularGeometry Modell [Schatz, 2008]	94
Abbildung 47: PlanarGeometry Modell [Schatz, 2008]	95
Abbildung 48: Innotec Enterprise Facility Management [Schatz, 2008]	96

Abbildung 49: Reduzierte Gebäudegeometrie [Schatz, 2008]	98
Abbildung 50: Datenbank ERM-Diagramm Teil Gebäudedaten [Schatz, 2008]	99
Abbildung 51: Datenbankentwurf	101
Abbildung 52: Systemstruktur bei Einsatz eines Webservices [Kotz, Pfeffer, & Klaubert, 2002]	104
Abbildung 53: Kommunikationsabhängigkeiten im Einsatzfall	105
Abbildung 54: Systemkomponenten der INI	108
Abbildung 55: Startdialog für Leitstelle und Einsatzleiter	112
Abbildung 56: Neuen Einsatz erstellen	112
Abbildung 57: Nachricht an Einsatzkräfte Versenden	113
Abbildung 58: 2D-Übersicht für Einsatzleiter	113
Abbildung 59: 3D Außenansicht eines Gebäudes mit FFOpControl3D	114
Abbildung 60: Vogel-Perspektive mit FFOpControl3D	114
Abbildung 61: Ego-Perspektive mit FFOpControl3D	115
Abbildung 62: Startdialog für Truppführer und Staffelführer	116
Abbildung 63: 2D-Darstellung für Truppführer und Staffelführer	116
Abbildung 64: Dialoge für Systemadministrator	117
Abbildung 65: Lage des Feuerwehr-Trainingscenters auf dem Frankfurter Flughafen	119
Abbildung 66: Aufbau der Testortungssysteme	120
Abbildung 67: Einsatzdurchführung	121
Abbildung 68: Laufwege der Einsatzkräfte während der Testdurchführung	122
Abbildung 69: Einsatzleitstelle	122
Abbildung 70: Tag frei im Raum	123
Abbildung 71: Tag und Handcomputer	123
Abbildung 72: Tag vor Wand	124
Abbildung 73: Tag auf Pappe	124
Abbildung 74: Tag auf Holz	124
Abbildung 75: Messstellen im Gebäude	125

Abbildung 76: Messstelle 2 _____	126
Abbildung 77: Messstelle 4 _____	126
Abbildung 78: Messstelle 5 _____	126
Abbildung 79: Diagramm zur Messung der Signalstärke _____	127
Abbildung 80: Messstelle 2, 45° _____	129
Abbildung 81: Messung im Computerlabor _____	129
Abbildung 82: Signalstärke an Messstelle 1 _____	130
Abbildung 83: Signalstärke an Messstelle 2 _____	130
Abbildung 84: Reichweite bei Verringerung des Abstands (Messstelle 2) _____	133
Abbildung 85: Reichweite bei Vergrößerung des Abstands (Messstelle 2) _____	133
Abbildung 86: Reichweite bei Verringerung des Abstands (Messstelle 4) _____	133
Abbildung 87: Reichweite bei Vergrößerung des Abstandes (Messstelle 4) _____	134
Abbildung 88: Messpunkte im Computerlabor _____	135
Abbildung 89: UWB: Standardabweichungen _____	136
Abbildung 90: UWB-Messung: Darstellungen der Standardabweichungen _____	136
Abbildung 91: UWB: Mittelwerte der Standardabweichungen in Meter _____	136
Abbildung 92: Übersicht der Versuchsumgebung _____	138
Abbildung 93: Messpunkte in der Laborumgebung _____	138
Abbildung 94: Messpunkte in den Gängen _____	139
Abbildung 95: WLAN-Messung: Darstellungen der Standardabweichungen in den Gängen _____	140
Abbildung 96: WLAN-Messung: Darstellung der Standardabweichungen im Computerlabor _____	141
Abbildung 97: Vergleich WLAN und UWB _____	142
Abbildung 98: Kaleo-Display bei Rauch aus 1m Entfernung _____	143
Abbildung 99: Schnittstellübersicht innerhalb der ARGE RFIDimBau, siehe www.rfidimbau.de _____	147
Abbildung 100: Ausschnitte Schnittstellen RFIDimBau _____	147

12. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Ortungssysteme nach [Aitenbichler, 2008]	20
Tabelle 2: Überblick über die Frequenzbänder, Quelle: [Kulpa, 2006]	24
Tabelle 3: WLAN Standards 802.11 mit Frequenzen, Datenraten und Reichweiten [Zwinger, 2009]	36
Tabelle 4: Graphische Symbole – Rahmen und Farben [DIN 14034, 2005]	43
Tabelle 5: Symbole für Feuerwehr-Laufkarten [DIN-14675, 2003]	45
Tabelle 6: Gegenüberstellung und Bewertung der Ortungstechniken	74
Tabelle 7: Geräteübersicht	76
Tabelle 8: Bewertungsskala	80
Tabelle 9: DXF-Bewertung	81
Tabelle 10: IFC-Bewertung	82
Tabelle 11: gbXML-Bewertung	82
Tabelle 12: Versuchsliste frei in der Luft	126
Tabelle 13: Tag befindet sich an der Wand	126
Tabelle 14: Tag befindet sich auf Karton	127
Tabelle 15: Tag befindet sich direkt auf der Wand	127
Tabelle 16: Versuche zur Reichweite	128
Tabelle 17: Versuch 1, Trefferquoten [%]	128
Tabelle 18: Messergebnisse an der Wand	131
Tabelle 19: Messungen zur Reichweite	132
Tabelle 20: Reichweiten im Freien	134
Tabelle 21: Mittelwerte und Standardabweichungen in den Gängen in Metern	139
Tabelle 22: Mittelwerte und Standardabweichungen im Computerlabor	141
Tabelle 23: Übersicht aktive UHF-RFID-Hardware	162

13. Quellcodeverzeichnis

Quellcode 1: gbXML Grundstruktur	93
Quellcode 2: building3D Grundstruktur	97

14. Anlagen

14.1. Anlage 1: Geräteübersicht aktive RFID-Hardware

Passive RFID-Hardware wurde von den ARGE-RFID-Partnern in Wuppertal [Helmus, Laußat, Meins-Becker, & Kelm, 2009] und in Dresden [Jehle, Seyffert, Wagner, & Netzker, 2008] untersucht. Nachfolgende Übersicht zeigt aktive RFID-Hardware im UHF-Bereich: Einige Hersteller bieten aktive UHF-Tags, jedoch nur stationäre Lesegeräte. RFID-Tags wie der iQ8 oder iQ32 von Identec Solutions senden auf Anfrage des Readers, Beacon-Tags haben eine feste Senderate (z. B. 2s) in denen sie ungefragt ein Signal aussenden. Sie haben meist nur einen kleinen Speicher, der oft nur mit geringem Abstand zum Lesegerät beschreibbar ist.

Anbieter	Hardware	Frequenz	Reichweite [m]	Lebensdauer Tag	Programmierbarer Speicher	Maße	Preis [Euro]	Sonstiges
Identec Solutions	ICard Reader	868 MHz	6-30 m	-	-	86 × 54 × 5 mm	ca. 1200 Euro	PCMCIA Standard Typ II PC Card
	ICard CF Reader	868 MHz	6-30 m	-	-	55 × 43 × 3,3/6 mm	ca. 1200 Euro	CF Typ I
	iQ8 / iQ32-Tag ILR	868 MHz	100 m	> 6 Jahre bei 600 Lesungen/Tag	7.855 Bytes für Anwender (i-Q8) 32.431 Bytes für Anwender (i-Q32)	131 × 28 × 21 mm	ca. 50 Euro	Der Datenträger sendet nur, wenn er gezielt abgefragt wird.
	i-B2-Tag ILR	868 MHz	100 m	> 2 Jahre	9 Bytes	131 × 28 × 21 mm	ca. 30 Euro	Beacon-Tag Pingrate einstellbar
Axcess	Personal Key-FobTag AT-132PF-R	126 kHz 315 MHz	10 m	1-3 Jahre	k.A.	72 × 36 × 10 mm	k.A.	Beacon-Tag
Savi	St-602 Asset Tag	128 kHz 433 MHz	100 m	4 Jahre	16 Bytes	62 × 43 × 12 mm	k.A.	
Identpro	ID-RTA 9800	433 MHz	100 m	5 Jahre	k.A.	90 × 30 × 8,6 mm	k.A.	Beacon-Tag
Wave-trend	L-RX 300 Reader	433 MHz	10-15 m	-	-	32 × 33 × 15 mm	k.A.	Serial Port Reader
	W-TG8000 Tag	433 MHz	8 m	5 Jahre	k.A.	85 × 70 × 9 mm	k.A.	Beacon Tag

Tabelle 23: Übersicht aktive UHF-RFID-Hardware

Im Bereich der aktiven UHF-Tags ist die Firma Identec-Solutions [Identec Solutions, 2009] mit mobilen Lesegeräten für PC-Card- und CF-Card-Slots führend.