

RFID-Einsatz in der Baubranche:

Entwicklung eines RFID-Systems mit mobilen Gates auf Baustellen zur schnellen Identifikation und Verfolgung von Betriebsmitteln zwischen Baustellen und Werken

Günthner, W. A. - Schneider, O.

Das IGF-Vorhaben 15288 N/1 der Forschungsvereinigung Bundesvereinigung Logistik e.V. – BVL, Schlachte 31, 28195 Bremen wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie auf Grund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Zusammenfassung

Durch eine zunehmende Dynamik und internationale Vernetzung der Märkte steht die Baubranche vor neuen Herausforderungen, denen die aktuellen Prozesse zunehmend nicht mehr gewachsen sind. Insbesondere die zeit- und kostenaufwändige Verwaltung der vielfältigen Betriebsmittel birgt das Risiko fehlerhafter Buchungsvorgänge und damit verbundener Fehlmengen. Nur durch eine Verbesserung der Datenqualität lassen sich Lieferqualität und damit auch Kosten optimieren und die Gefahr aufwändiger nachträglicher Versorgungsprozesse reduzieren. Eine der Grundlagen hierfür bildet die eindeutige Identifikation der Betriebsmittel und darauf aufbauend die zentrale, zeitnahe Dokumentation der Prozesse.

Um Objekte auch unter schwierigen Randbedingungen, wie sie in der Bauindustrie auftreten, kennzeichnen und erfassen zu können, befasste sich das Forschungsprojekt mit dem Einsatz von RFID in der Bauindustrie. Die Grundlage bildete die Klassifizierung der Betriebsmittel im Hinblick auf einen RFID-Einsatz. Diesen wurden verschiedene Nutzenpotenziale und darauf aufbauend konkrete Einsatzszenarien zugeordnet, die dem Anwender bereits zu Beginn eine Aufwand-/Nutzenabschätzung ermöglichen. Für die Bewertung der Umsetzbarkeit dieser Szenarien wurden aus den einzelnen Gruppen repräsentative Betriebsmittel bestimmt. Anhand derer ließen sich neben den Anforderungen an die RFID-Hardware, die das Bauumfeld bedingt, geeignete Integrations- und Anbringungsmöglichkeiten der Datenträger definieren.

Die besondere Herausforderung des Projekts lag in der Erarbeitung einer möglichen RFID-Systemarchitektur für die Bauindustrie. Im Fokus stand dabei die Entwicklung praxisnaher Konzepte für den Identifikationspunkt als Schnittstelle zwischen Betriebsmitteln und der übergeordneten Datenverwaltung. Speziell für den Einsatz auf weitläufigen Baustellen ohne ausreichende Infrastruktur wurde ein mobiles RFID-Gate mit eigener Energieversorgung entwickelt. Bei einer Durchfahrt werden die empfangenen Betriebsmitteldaten zusammen mit den aktuellen Ortskoordinaten des Gates an eine zentrale Datenbank, die die einzelnen Prozesse dokumentiert, fernübertragen. Dahingegen unterstützt die RFID-Theke insbesondere die Ausgabe von Mietgeräten im Bereich von Magazinen und Lagern, indem Wartungs- und Reparaturumfänge gerätespezifisch dokumentiert werden. Beide Konzepte liefern durch die Anbindung an eine zentrale Datenschnittstelle zeitnah den aktuellen Gerätestatus.

Das Ziel des Vorhabens wurde erreicht.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Wissenschaftlich-technische Problemstellung	1
1.2	Forschungsziel und angestrebte Ergebnisse	3
1.2.1	Forschungsziel	3
1.2.2	Angestrebte Forschungsergebnisse	4
1.2.3	Innovativer Beitrag der angestrebten Forschungsergebnisse	5
2	Stand der Technik und Forschung	8
2.1	RFID-Einsatz in Produktion und Logistik	8
2.2	RFID-Einsatz in der Bauindustrie	10
2.3	Betriebsmitteleinsatzplanung in der Bauindustrie	13
3	Einsatzszenarien und Anforderungsanalyse	15
3.1	Einflussfaktoren im Umfeld der Bauindustrie	15
3.2	Klassifizierung der Prozessmittel für den RFID-Einsatz	20
3.2.1	Klassifizierungskriterien	20
3.2.2	Prozessmittelklassen	21
3.3	Nutzenpotenziale und Einsatzszenarien von RFID in der Bauindustrie	25
3.3.1	Nutzenpotenziale und Mehraufwand	25
3.3.2	Ableitung und Zuordnung von Einsatzszenarien	27
3.4	Bewertung der Betriebsmittel	31
4	Definition der Systemarchitektur	33
4.1	Aufgaben eines RFID-Systems zur Betriebsmittelverfolgung	33
4.2	Technologieauswahl	36
4.2.1	Automatische Identifikationssysteme (AutoID)	36
4.2.2	Einsatz von RFID als Kennzeichnungstechnologie	39
4.2.3	Auswahl geeigneter Datenübertragungstechnologien	48
4.3	Analyse und Definition bauleistungslogistischer Prozesse	50
4.3.1	Definition eines exemplarischen Bauleistungslogistikprozesses	51
4.3.2	Integrationsmöglichkeiten von Erfassungspunkten	53
4.3.3	Anforderungen des Transportprozesses an ein RFID-System	54
5	Auswahl und Untersuchung von Datenträgern	56
5.1	Anforderungen an Kennzeichnungskonzepte	56

5.2	Anforderungen und Grenzwerte der Transponder	57
5.3	Verwendete RFID-Hardware	58
5.4	Kennzeichnungskonzepte für die Prozessmittel	61
5.4.1	Bohrrohre	62
5.4.2	Metallische Rohrkörper	71
5.4.3	Schalungen	76
5.4.4	Maschinen und Geräte	85
5.4.5	Kleingeräte	86
5.4.6	Betonteile	90
5.5	Zuordnung von Datenträgern und Betriebsmitteln	95
6	Entwicklung geeigneter Identifikationspunkt-konzepte	99
6.1	Analyse und Bewertung gängiger Erfassungskonzepte	99
6.2	Mobiles Gate für den Baustelleneinsatz	102
6.2.1	Anforderungsdefinition	102
6.2.2	Zielstrukturierung	105
6.2.3	Lösungssuche	106
6.3	RFID-Theke	119
6.3.1	Zielstellung	119
6.3.2	Anforderungsdefinition	120
6.3.3	Konzeptentwicklung	125
7	Konzeption der Datenhaltungs- und Datenübertragungsschicht	132
7.1	Transponder als Datenspeicher	132
7.2	Definition der Datenhaltungsschicht	134
7.2.1	Datenhaltungsschicht für das mobile Gate	134
7.2.2	Datenhaltungsschicht für die RFID-Theke	136
7.3	Definition von Schnittstellen für die Datenübertragung	137
7.3.1	XML-Datei als hierarchisch strukturierte Datenschnittstelle	137
7.3.2	CSV-Datei als Datenschnittstelle	139
8	Umsetzung der Demonstratoren	141
8.1	Mobiles RFID-Gate	141
8.1.1	Auswahl der Komponenten	141
8.1.2	Energiebilanz	145
8.1.3	Autarkes Energieversorgungskonzept	147
8.1.4	Applikation zur Prozessdokumentation	151

8.1.5	Integration der Komponenten	154
8.2	RFID-Theke	157
8.2.1	Auswahl und Integration der Komponenten	157
8.2.2	Applikation zur Prozessdokumentation	158
9	Ergebnisse	162
9.1	Bewertung der Kennzeichnungskonzepte	162
9.2	Bewertung der Identifikationspunktkonzepte	166
9.3	Leitfaden für den Einsatz von RFID in der Bauindustrie	168
10	Fazit und Ausblick	171
10.1	Zusammenfassung	171
10.2	Ausblick	173
10.3	Weiterverwendung der Forschungsergebnisse	174
10.4	Fazit	176
	Veröffentlichungen	i
	Literaturverzeichnis	ii
	Abbildungsverzeichnis	x
	Tabellenverzeichnis	xiii
	Nomenklatur	xiv

1 Einleitung

Das Baugewerbe zählt mit knapp einer Million Beschäftigten und einem Jahresumsatz von über 115 Milliarden Euro in 2008 zu den wichtigsten produzierenden Gewerben in Deutschland [STA-09]. Zunehmend sieht sich die Bauindustrie mit einem hohen Wettbewerbsdruck konfrontiert, der einen harten Preiskampf zur Folge hat. Zwar sind einige, zumeist größere Baufirmen in der Logistikplanung und -organisation bereits weit fortgeschritten, aber besonders die kleinen, mittelständischen Bauunternehmen (kmU) operieren zumeist in traditionellen Marktsegmenten und lokalen Märkten und haben neben Kostendruck verstärkt mit der Saisonalität der Nachfrage und Konjunkturabhängigkeit zu kämpfen. Produktionskonzepte und zugehörige Prozesse in EDV und Logistik sind oft veraltet, durch einen hohen Individualisierungsgrad geprägt und schöpfen die Potenziale einer intelligenten Logistik kaum aus. Demnach steht der Bauwirtschaft ein tief greifender Strukturwandel bevor, wie er sich in anderen Industriezweigen bereits vollzogen hat.

Erfolg versprechend ist vor diesem Hintergrund die in den letzten Jahren stark diskutierte RFID-Technologie, die wegen des hohen Optimierungspotenzials insbesondere handels- und intralogistischer Prozesse in vielen Industriebereichen bereits Einzug gehalten hat. Auf Grund der rauen Umgebungsbedingungen und der komplexen Prozesslandschaft konnte die Technologie jedoch in der Bauindustrie bisher kaum Fuß fassen. Um auch hier neue Nutzenpotenziale zu erschließen, beschäftigte sich dieses Forschungsprojekt daher mit den Möglichkeiten eines Einsatzes von RFID in der Baubranche. Über einen Zeitraum von zwei Jahren wurden Kennzeichnungslösungen für die zeitnahe und aufwandsarme Identifikation und Dokumentation der Betriebsmittel und deren Materialflüsse entwickelt, sowie verschiedene Identifikationspunkt-konzepte erstellt und in Form von Funktionsmustern umgesetzt.

1.1 Wissenschaftlich-technische Problemstellung

Die steigende Vielfalt der Betriebsmittel und die zunehmende Synchronisierung der Bauvorhaben zwingen die Baufirmen zur Sicherstellung der Materialversorgung verstärkt in Betriebsmittel zu investieren. Abhängig von der Größe und dem Tätigkeits-

feld der Unternehmen werden bis zu 39% in Maschinen, bis zu 50% in Baumaterial und bis über 60% in Verschleißteile investiert, um Störfälle abfedern zu können, woraus hohe Material- bzw. Sicherheitsbestände resultieren [Gün-08]. Eine Lösung dieser Probleme bieten die gleichmäßige Auslastung und die zeitnahe, vollständige Dokumentation der Betriebsmittel und deren Nutzung vom Bauhof über die verschiedenen Einsatzorte. Klassische Identifikationsmethoden mittels Barcode oder Lieferscheindaten sind sehr personalintensiv, oft nicht hinreichend aktuell und deshalb hierfür nicht geeignet.

In vielen Baufirmen hat sich in den letzten Jahren ähnlich wie bereits in anderen Industriezweigen ein sehr ausgeprägtes Kostenstellenbewusstsein entwickelt. Die einzelnen Bauvorhaben agieren meist unabhängig voneinander und optimieren sich individuell hinsichtlich der Bauabwicklung und ihrer Kosten. Aus diesen Bestrebungen heraus resultiert mittlerweile ein sehr hoher interner Verwaltungsaufwand, da Betriebsmittel kostenmäßig möglichst genau auf die verschiedenen Baustellen gebucht und dafür die Einsatzzeiten sowie die verschiedenen Kostenstellen dokumentiert werden müssen. Diese detaillierte Betriebsmittelabrechnung verschiedener Bau- bzw. Kostenstellen innerhalb der Baustellen ist sehr zeitintensiv und bindet Personalkapazitäten in einem nicht wertschöpfenden Bereich.

Zusätzlich zum steigenden Verwaltungs- und Buchungsaufwand sehen sich mittelständische Baufirmen mit dem Problem der Einsatzplanung der Betriebsmittel konfrontiert. Zu diesem Zweck ist jedoch eine fundierte, zeitnahe Kenntnis der Einsatzorte und -zeiten erforderlich. Im Gegensatz zu Planungsaufgaben im industriellen Bereich, die meist in einem klar definierten Umfeld erfolgen und für einen längeren Zeitraum bestehen, muss bei der Baustellenfertigung die Planung permanent an den Baufortschritt angepasst werden. Die Randbedingungen sind zudem nicht starr und die Einsatzplanung muss fast immer zwischen verschiedenen Produktionsstandorten abgestimmt werden. Es ist daher nicht verwunderlich, dass nach einer Studie der TU München im Umfeld der Bauindustrie ca. 67% der befragten Bauunternehmen die Materialverfügbarkeit durch Planungsfehler gefährdet sehen [Gün-08].

Auf Grund der historisch gewachsenen Prozesse werden die Betriebsmittel großteils noch immer manuell auf Basis von Lieferscheinen verwaltet. Die steigende Zahl der Buchungsvorgänge vielfältiger Betriebsmittel unter hohem Zeitdruck bedeutet eine personal- und kostenintensive Verwaltung. Wegen der hauptsächlich manuellen Durchführung ergeben sich Fehler in der Buchung und Abrechnung der Betriebsmit-

tel. Durch die Zeitverzögerung (Rücklauf der Lieferscheine, manuelle Verbuchung im EDV-System) kann zudem nur bedingt auf die tatsächliche Verteilung der Betriebsmittel auf die verschiedenen Baustellen oder den Bauhof geschlossen werden. Die daraus resultierende eingeschränkte Datenqualität bedingt Schwund und Fehlmengen durch falsch oder nicht angelieferte Betriebsmittel, welche aufwändig nachträglich beschafft werden müssen.

Insbesondere die rauen Einsatzbedingungen in der Bauindustrie durch Verschmutzung, Witterung oder mechanische Belastung machen den Einsatz von optischen Codierungen zur automatisierten Identifikation nahezu unmöglich. Die lückenlose Dokumentation der Transportkette, in deren Folge Fehlmengen oder Schwund auftreten können, beeinträchtigt zunehmend den regulären Baustellenbetrieb.

Logistische Prozesse bereiten vor allem den kmU der Baubranche enorme Schwierigkeiten, da vielfach keine standardisierten Prozesse existieren und bei der Versorgung der Baustellen mit den notwendigen Waren und Betriebsmitteln teils stark improvisiert wird. Eine zeitnahe Kontrolle und Verwaltung der Lagerbestände auf den Bauhöfen und Baustellen ist durch diese „Feuerwehrationen“ nicht mehr möglich. Erschwerend hinzu kommt die Beschäftigung von gering qualifiziertem Personal im Bereich der Bauhöfe, das mit durchgängigen manuellen Kontrollen der Materialflüsse häufig überfordert ist. Daraus resultieren vielfach Abweichungen zwischen physischem und buchhalterischem Materialbestand, da die erforderlichen Daten sowohl hinsichtlich ihrer Qualität als auch Aktualität nicht ausreichend sind.

1.2 Forschungsziel und angestrebte Ergebnisse

1.2.1 Forschungsziel

Ziel des Forschungsprojekts war die Entwicklung eines Systems zur automatisierten Identifikation von Betriebsmitteln für die Baubranche mit Hilfe von RFID. Die Herausforderung lag in den besonderen Rahmenbedingungen der Baubranche. Hierzu zählten vor allem die schwierigen Umwelt- und Umgebungsbedingungen, da die Technik auf den Baustellen ungeschützt der Witterung und mechanischer Beanspruchung durch die Bauprozesse selbst ausgesetzt wird. Neben diesen äußeren Einflussparametern lag die Komplexität der Aufgabe aber auch in den zu kennzeichnenden Arti-

keln, die speziell im Bereich der Betriebsmittel ein breites Spektrum mit unterschiedlichen Materialeigenschaften und Anbringungsmöglichkeiten darstellen. Für diese Aufgabenstellungen wurden sowohl technische als auch prozessorganisatorische Lösungskonzepte für die Identifikation und Handhabung der Betriebsmittel erarbeitet. Insbesondere im Tiefbaubereich verfügen weitläufige Baustellen an den einzelnen Zugängen über keine Infrastruktur zur Versorgung eines I-Punktes¹. Durch autarke, mobile RFID-Lesegeräte (sog. Gates), die dem Baufortschritt leicht angepasst werden können, sollen die Warenein- und -ausgänge auf der Baustelle automatisiert erfasst und verarbeitet werden. Ziel ist die Realisierung einer permanenten Verfolgung der Betriebsmittel beim Transport zwischen den Baustellen und Bauhöfen. Die Gates müssen sowohl robust ausgeführt sein, als auch autark hinsichtlich des Energietransfers arbeiten und durch eine Kommunikationseinheit mit einer zentralen Datenbank kommunizieren können. Diese zeitnahe Datenübertragung bildet die Basis zur lückenlosen Betriebsmittelverfolgung zwischen den verschiedenen Einsatzorten. Durch die Digitalisierung des Identifikationsprozesses sind die Datenbasis und die tatsächliche Situation auf der Baustelle immer kongruent.

Das zu entwickelnde System sollte modular aufgebaut sein sowie über neutrale Schnittstellen verfügen, um einfach in bestehende IT-Systeme integriert werden zu können. Durch den Einsatz von offenen Systemen wie beispielsweise MySQL als Datenbank zur Zwischenspeicherung der Informationen aus den mobilen I-Punkten sollte besonders für den Mittelstand ein System entwickelt werden, das ohne hohe zusätzliche Lizenzkosten auskommt. Die modulare Bauweise sollte den Firmen eine einfache Anpassung an ihre Anforderungen und eine individuelle Konfiguration ermöglichen, um den besten Kosten/Nutzen Effekt zu erzielen.

1.2.2 Angestrebte Forschungsergebnisse

Im Rahmen des Forschungsprojekts sollten sowohl die technischen als auch die organisatorischen Voraussetzungen für eine automatische Identifizierung mittels RFID-Technik für die Baubranche konzipiert werden. Zum Einen sollten anhand ausgewählter Betriebsmittel Kennzeichnungskonzepte für die Bauindustrie erarbeitet werden. Zum Anderen sollte ein Demonstrator, bestehend aus einem mobilen I-Punkt und einem Anwendungsszenario für repräsentative Prozesse bei der Versorgung von

¹ Station im Materialfluss, an der die Betriebsmittel erfasst werden

Baustellen mit Betriebsmitteln, entwickelt werden. Besonderes Augenmerk lag dabei auf der Entwicklung eines modularen Systems mit neutralen Schnittstellen zu weiterführenden Systemen, um die automatisch erfassten Daten in die unterschiedlichen, heterogenen Systemlandschaften, wie sie vor allem bei kmU der Baubranche weit verbreitet sind, leicht integrieren zu können. Der mobile I-Punkt wurde als autarkes, ortsunabhängiges RFID-Gate mit mobiler Datenübertragung zu einer zentralen Datenbank konzipiert, die sowohl als direkte Informationsplattform für alle Prozessbeteiligten als auch als Middleware zur Weitergabe der Daten an nachstehende EDV-Systeme dient. Für eine mögliche Systemarchitektur der EDV-Komponenten wurde im geplanten Vorhaben hierzu ein Konzept erstellt.

Durch das geplante System sollten zeitaufwändige und fehlerbehaftete manuelle Kontrollen der Betriebsmittel soweit möglich durch eine automatische Identifikation ersetzt werden. Dadurch entfallen bisherige manuelle buchhalterische Aufgaben, wie Lieferscheinkontrollen oder die Dateneingabe von Ladungslisten.

Zudem ermöglicht der Einsatz mobiler RFID-Systeme auf der Baustelle eine lückenlose Sendungsverfolgung insbesondere wertvoller Betriebsmittel beim Transport. Durch die Dokumentation der Einsatzzeiten und die zentrale Speicherung der ermittelten Daten können zusätzlich bei verschleißbeanspruchten Bauteilen schnelle Aussagen über die Einsatzdauer und somit Abschätzungen über die verbleibende Lebensdauer oder die Wartungsumfänge der Betriebsmittel getroffen werden.

Durch das zu entwickelnde System kann eine schnelle Identifikation und Kontrolle der Warenein- und -ausgänge auf dem Bauhof und der Baustelle bzw. zwischen verschiedenen Subsystemen ohne langwierige Zählprozesse realisiert werden. Neben einer deutlichen Steigerung der Prozesstransparenz können die Firmen zeitnah und aufwandsarm Aussagen über den aktuellen Aufenthaltsort, die Verfügbarkeit und die Prozesshistorie eines Betriebsmittels treffen. Somit ist eine permanente Inventur der Teile unabhängig von deren momentanem Einsatzort möglich.

1.2.3 Innovativer Beitrag der angestrebten Forschungsergebnisse

Die im Forschungsprojekt angestrebten Ziele hinsichtlich eines durchgängigen IT-Einsatzes zur lückenlosen Identifikation der Betriebsmittel via RFID sind vor allem für die Baubranche eine neuartige Problemlösungsvariante. Durch den Einsatz des RFID-gestützten Betriebsmittelverfolgungssystems wird eine hohe Transparenz bei

der Verfolgung von Betriebsmitteltransporten und den derzeitigen Einsatzorten generiert. Dieses Wissen kann für eine deutlich verbesserte Einsatzsteuerung der Betriebsmittel auf und zwischen Baustellen genutzt werden, wodurch die Betriebsmittel effektiver disponiert werden können.

Die mobile Datenkommunikation ermöglicht eine ortsunabhängige Überwachung mit permanenter Datenanbindung an die verwaltenden Systeme. Für den RFID-Einsatz werden neue Handhabungsprozesse ausgearbeitet, die eine technik- und praxisgerechte, weitgehend automatisierte Identifikation der unterschiedlichen Betriebsmittel ermöglichen.

Die im Projekt zu entwickelnden mobilen, autarken Erfassungsstationen bilden die Basis für den flexiblen Aufbau von AutoID-Systemen für Baustellen. Neben den mobilen Gates werden in den Subsystemen auch prozessangepasste tragbare Leseinheiten eingesetzt, die ebenfalls über drahtlose DFÜ (Datenfernübertragung) in das Gesamtkonzept eingebunden sind. Durch diese Art und Möglichkeit der Systemabgrenzung können zukünftig sehr zügig wandelbare Systeme abgebildet und an die realen Änderungen der Rahmenbedingungen angepasst werden. Die Übertragung des autarken, mobilen RFID-Erfassungskonzepts auf den Einsatz mobiler EDV-Technik zur sofortigen Datenauswertung und zum Controlling ist ein weiterer innovativer Schritt hin zur echtzeitfähigen Betriebsmitteleinsatzplanung und -verwaltung.

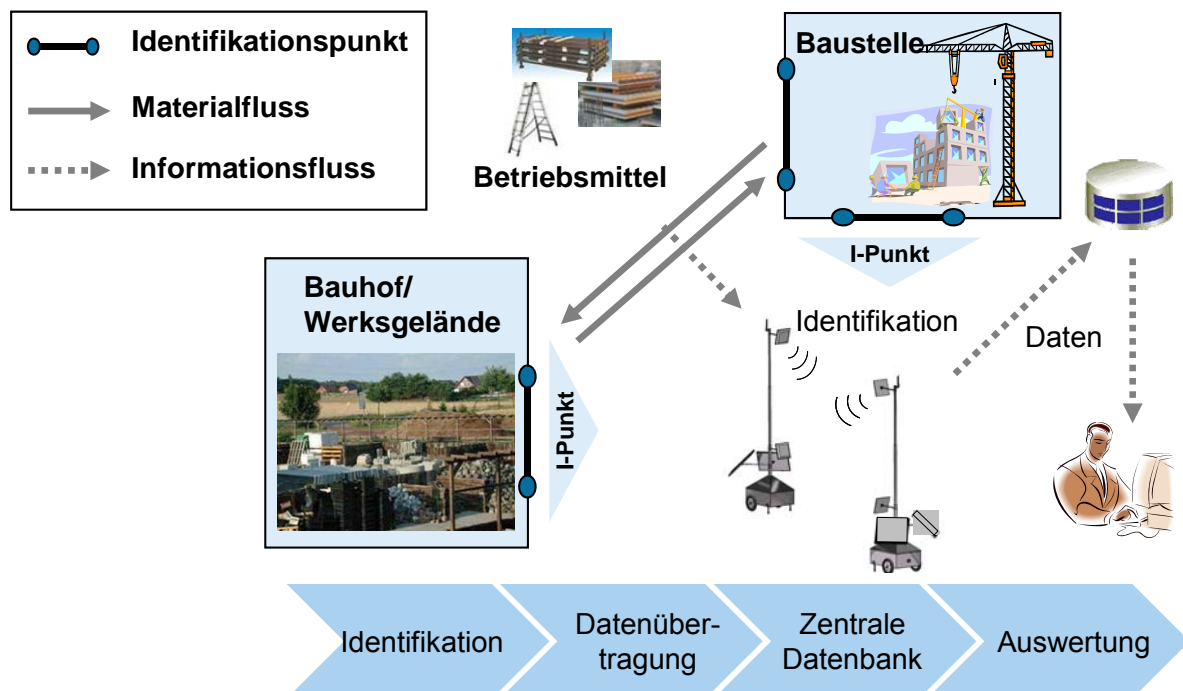


Abbildung 1-1: Schematischer Material- und Informationsfluss

Durch den Einsatz der Auto-ID in Kombination mit der Online-Datenübertragung an eine zentrale Datenbank entstehen echtzeitfähige Systeme, mit deren Hilfe Fehlerquellen beim Kontrollprozess auf Baustellen aber auch in den Bauhöfen deutlich minimiert werden können. Daraus resultiert ein verbessertes Bestandswissen. In Abbildung 1 wird eine mögliche Architektur für eine logistische Gesamtlösung mit automatisiertem Tracking und Tracing wertvoller Betriebsmittel aufgezeigt.

Unabhängig von den angestrebten Systemkonzepten wird das Forschungsvorhaben zudem aussagekräftige Ergebnisse für Entscheidungen über einen RFID-Einsatz unter den rauen Umwelt- und Einsatzbedingungen der Baubranche leisten. Der zu erstellende (Hardware-)Katalog wird eine Zuordnung zwischen verschiedenen RFID-Datenträgern und den einsetzbaren Betriebsmitteln bzw. Ladungsträgern unter verschiedenen Einsatzbedingungen gestatten. Mit dieser Wissensbasis können von den Anwendern der Baubranche auch zukünftig Rückschlüsse auf mögliche andere Einsatzgebiete von RFID in der Baubranche gezogen werden. Die Grundlage hierfür bilden umfangreiche Testreihen anhand ausgewählter Betriebsmittel.

Nicht zuletzt wird mit der Nutzbarmachung der RFID-Technologie auf Baustellen für eine ganze Branche eine neue Technologie erschlossen. Die angestrebte Konfrontation der Branche mit der für sie neuen Technologie wird weitere lukrative Einsatzfelder wie z.B. die automatisierte Kontrolle von Geräten und Maschinen generieren können.

2 Stand der Technik und Forschung

2.1 RFID-Einsatz in Produktion und Logistik

Radio Frequenz Identifikation (RFID) ist eine der am meisten diskutierten Zukunftstechnologien, mit der Objekte über kontaktlos und ohne Sichtverbindung auslesbare Datenträger durch Schreib-Lesegeräte eindeutig identifiziert werden können. Die daraus resultierenden Vorteile haben in verschiedenen Industriebereichen zahlreiche Anwendungsmöglichkeiten hervorgebracht.

Gängige Anwendungen in der Automobillogistik setzen Transponder unter anderem zur Identifikation von Behältern in geschlossenen Kreisläufen ein, bspw. beim Management von Spezialbehältern der Volkswagen AG [Wen-05], zur Lagerverwaltung oder in Produktions- und Lackierstraßen. Auf Grund der zunehmenden Teilekomplexität und der steigenden Variantenvielfalt hält RFID auch in der Ersatzteillogistik unternehmensübergreifend Einzug [Sch-06]. Weitere Anwendungsfelder sind die Fortschreibung des Bearbeitungsstatus im Logistikprozess, die Fehlermeldung bei definierten Prozessabweichungen, Vollständigkeitsprüfungen im Logistikprozess sowie die Steigerung der Prozessqualität und Reduzierung des Handlingaufwands interner Prozesse durch automatisierte Identifikation.

Weiterführende Forschungsansätze werden durch die Projekte „Smart@Logistics“, das ein RFID-gestütztes Produktions- und Beschaffungslogistiksystem für die Automobilzulieferindustrie zum Thema hat [Att-08], und „LAENDmarKS“, in dem die Rückverfolgbarkeit von Automobilkomponenten durch prozesskettenübergreifende, RFID-gestützte Erfassung von Produktions- und Logistikdaten geprüft wird [Sch-08], definiert.

Auch der Handel nutzt RFID bereits über verschiedene Partner der Wertschöpfungskette von der Kennzeichnung der Waren bei den Lieferanten bis zur automatisierten Erfassung von Wareneingängen bei Großhändlern wie der Metro AG [MET-09].

Das Projekt „LogAss“ bezeichnet ein Assistenzsystem für den Betrieb und die Visualisierung von Logistiknetzen einschließlich RFID-gestützter Datenerfassung [COM-05]. „Ko-RFID“ untersucht unternehmensübergreifende RFID-gestützte Logistiknetze

mit einem Vertrauensmodell zur individuellen Steuerung von Prozesstransparenz [Tam-08].

Zudem beschäftigt sich die Forschung zum Thema RFID zunehmend mit der Selbststeuerung von Objekten im Materialfluss. Der Sonderforschungsbereich (SFB 637) der Universität Bremen untersucht dabei die Selbststeuerung als neues Paradigma für logistische Prozesse [Fre-04].

Im Projekt „Integration der Transpondertechnologie zur Erhöhung der Leistungsfähigkeit der operativen Produktionssteuerung“ (ITELOP) der TU Chemnitz und des Flog der Universität Dortmund wurden erste Ansätze für Auswahlverfahren und Laboruntersuchungen von Transpondern erarbeitet. Forschungsgegenstand ist der Einsatz von Transpondern in Produktionssystemen zur Verknüpfung von Produkt und Logistikkette. Dabei werden ausgewählte Transponder als Mittel zur Produktionssteuerung durch eine echtzeitnahe Prozessüberwachung und -beeinflussung genutzt [Jan-04].

Auch in der Textilindustrie erfährt RFID eine zunehmende Verbreitung. In einem von der industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) geförderten Projekt beschäftigte sich das Flog im Auftrag der Forschungsgemeinschaft Bekleidungsindustrie (FB) zudem mit der Untersuchung von Einsatzpotenzialen von RFID in der Bekleidungsindustrie (AiF-Nr.13111 N). Neben der Erstellung eines branchenspezifischen Anforderungskatalogs wurden eine geeignete Arbeitsfrequenz empfohlen sowie RFID in Piloteinsätzen bei ausgewählten kmU der Bekleidungsbranche umgesetzt [IGF-05]. Das Modeunternehmen Gerry Weber erprobt RFID bereits zur Unterstützung seiner logistischen Prozesse bei der Warenvereinnahmung und Inventur [IDE-09].

Am Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik (fml) der TU München wurde im Projekt „RFID in der Logistik“ ein Projektierungswerkzeug zur unternehmensunabhängigen Identifikation und Nutzung von RFID-Potenzialen entwickelt, das die einheitliche Beschreibung von Identifikationsprozessen in Prozessbausteinen ermöglicht. In einer Technologie-Datenbank wird das Zusammenspiel zwischen RFID-Hardware und Umgebung beschrieben, um frühzeitige Aussagen zur technischen und wirtschaftlichen Machbarkeit von RFID-Projekten treffen zu können [FML-09].

Der in den Forschungs- und Industrieprojekten erarbeitete Wissensstand zeigt das Potenzial der RFID-Technologie zur weiteren Anwendungsforschung im Bereich Einsatzplanung von Betriebsmitteln. Besonders Planung und Steuerung von Betriebsmitteleinsätzen auf Basis fundierter Echtzeitdaten sind bisher unberücksichtigt ge-

blieben und bedürfen einer genauen Untersuchung, um ein breites Fundament für den Einsatz von RFID in der Baubranche zu schaffen.

2.2 RFID-Einsatz in der Bauindustrie

Im Verlauf dieses Forschungsprojekts gewann das Thema RFID in der Bauindustrie zunehmend an Bedeutung. Nachfolgend sind verschiedene Forschungsansätze, pilothafte Anwendungen und konkrete Umsetzungen dargestellt.

Forschungsansätze zum RFID-Einsatz in der Bauindustrie sind besonders in den Vereinigten Staaten und in Japan weit verbreitet. Eine Studie der Universität von Osaka beschäftigt sich bspw. mit der robotergestützten Konstruktion einfacher Fertigteilbauwerke durch mit Transpondern (siehe Kapitel 4.2.2) gekennzeichneten Einzelkomponenten. Über die RFID-Tags bezieht der Roboter die Einbauposition sowie zusätzliche Einbauparameter und steuert seine Bewegungen. Wegen der hohen Individualität komplexer Fertigteilbauwerke fehlt jedoch die erforderliche Datenbasis zur Erstellung von Arbeitsplänen für die Konstruktionsroboter [Ume-06].

In verschiedenen praxisnahen Pilotprojekten im Rahmen des FIATECH Smart Chips Project wurde die automatisierte Erfassung großformatiger, metallischer Rohrleitungselemente bei der Verladung auf Sattelzüge und deren Durchfahrt durch RFID-Gates untersucht. Nachdem passive Transponder auf Grund des Einflusses von Metall kaum Vorteile gegenüber der bisherigen Barcode-Lösung brachten, wurden aktive UHF-Transponder verwendet, die nach der Montage entfernt werden und wieder zum Einsatz kommen können. Die erzielten Ergebnisse ermöglichen im Rahmen des Qualitätsmanagements eine sehr detaillierte Dokumentation bis zum Einbauprozess ohne eine aufwändige manuelle Datenerfassung auf der Baustelle [Woo-05] [Sto-00] [Aki-08] [Son-06]. Durch den Einsatz aktiver Transponder, die aus Kostengründen nicht am Bauteil verbleiben können, ist eine fortlaufende Dokumentation des Lebenszyklus jedoch nicht möglich. Auch werden die RFID-Tags lediglich als alternative Lesemöglichkeit zu einem Barcode verwendet, wodurch das Potenzial zur Verbesserung des Gesamtprozesses relativ beschränkt bleibt [Jas-06].

Für ihre hochwertigen Werkzeugmaschinen hat die Firma Hilti ein RFID-basiertes Diebstahlschutzsystem („Theft Protection System“) als eine Art Wegfahrsperre entwickelt, das bereits erfolgreich am Markt vertrieben wird. Dabei kann der Nutzer die mit

dem System ausgerüsteten Geräte nur mit einer entsprechenden Kundenkarte aktivieren und verwenden [HIL-09].

Zur direkten Materialversorgung der Baufirmen auf der Baustelle dienen die Miet- und Baustationen der Firma Gradwohl GmbH. Die Kunden können sich mit ihrer EC- oder Kundenkarte rund um die Uhr Mietgeräte und Material in der Baustation ausleihen bzw. kaufen. Über die an den Geräten befindlichen Transponder werden die Warenbewegungen erfasst [GRA-09].

Ein viel beachtetes Einsatzgebiet für die RFID-Technologie in der Bauindustrie ist die Dokumentation von Ort- und Fertigbeton. So setzt die Gera-Ident GmbH beim Bau des Burj Dubai in den Vereinigten Arabischen Emiraten HF-Transponder zur elektronischen Dokumentation von Frischbetonlieferungen ein [GER-09a]. Speziell für die rauen Einsatzbedingungen wurden Schreib-/Lesegeräte (SLG) mit eigener Energieversorgung und hoher Geräteschutzklasse konzipiert [GER-09b]. Die Fahrt- und Standzeiten der Transportbetonmischer werden elektronisch erfasst und dokumentiert, indem Ort- und Zeitstempel auf den Transpondern hinterlegt werden.

Am Department of Civil and Environmental Engineering der Carnegie Mellon University in Pittsburgh wird die Nachverfolgbarkeit großer, kundenspezifischer Betonfertigteile auf weitflächigen Lagerplätzen durch den Einsatz von RFID getestet. Die Objekte wurden mit aktiven und passiven UHF-Transpondern, die in robusten Kunststoffgehäusen untergebracht waren, ausgerüstet und über ein Lesegerät am Portalkran identifiziert, das über ein integriertes GPS-Modul die Koordinaten übertragen kann. Im Gegensatz zur passiven Lösung, deren Leseraten durch den Einfluss von Metall und Beton zu stark eingeschränkt wurden, konnte die aktive Lösung in einem ersten Schritt überzeugen [Erg-07].

Im Rahmen des Forschungsprojekts IntelliBau untersucht das Institut für Baubetriebswesen der Technischen Universität Dresden Einsatzmöglichkeiten passiver UHF-Transponder in Stahlbetonteilen in praxisnahen Versuchsreihen. Über die einzelnen Lebenszyklusphasen eines Bauteils von der Fertigung über die Auslieferung bis zum Einbau sowie während der Nutzung sollen die Informationen im Sinne einer langfristigen Datenhaltung dezentral auf den Tags gespeichert werden. Schwierig für eine Umsetzung sind die erforderliche Speicherkapazität und Langlebigkeit der Transponder [Jeh-09].

Auch beim Bau des Freedom Tower in New York City, dem größten Bürogebäude der Welt, überwacht ein spezielles System des US-amerikanischen Unternehmens

Wake auf Basis aktiver UHF-Tags der Firma Identec Solutions die optimale Aushärtung des verwendeten Betons im gesamten Gebäudekomplex. Dazu nehmen die Sensortags die Temperaturdaten in vordefinierten Intervallen auf. Handhelds lesen die Daten aus und senden sie an das Concrete Maturity Monitoring System, so dass zu jedem Zeitpunkt der Aushärtungsgrad erkennbar ist. In Summe können somit die Bauzeit verkürzt und die statische Sicherheit durch optimal ausgehärtete Betonteile erhöht werden [RFI-09].

Die Firma Schreiner LogiData GmbH bietet eine RFID-gestützte Lösung zur Kennzeichnung von Betonrohren in Abwassersystemen an. Auf den Transpondern werden Daten zur Wartung und Herstellung hinterlegt. Die bei der Produktion eingegossenen RFID-Tags werden so ausgelegt und im Rohr positioniert, dass sie von einem mit RFID-Lesegeräten ausgestatteten Roboter angesteuert und ausgelesen werden können [SCH-09b].

Eine weitere industrielle Anwendung zur Kennzeichnung von Schalungen wurde von dem Schalungshersteller Paschal entwickelt. Das System PASCHAL-Ident dient neben der Erkennung von Fälschungen durch eine eindeutige Identifizierung auch der Verbesserung der Produktqualität und -haftung sowie der Rückverfolgbarkeit und Inventur und arbeitet im Niederfrequenzbereich. Die passiven Transponder werden bündig in die Schalung integriert und mit einem zähen Kit gegen mechanische Beanspruchungen geschützt [BAU-07].

Ebenfalls eine Lösung für die Kennzeichnung von Schalungsteilen hat der Schweizer RFID-Spezialist MBBS zusammen mit dem Schalungshersteller Sateco entwickelt. Dabei werden passive Nahfeld-Transponder in ein rautenförmiges Trägerelement integriert, das mit der Schalung bündig verschweißt wird. Die Transponder verfügen über eine werkseitig vorgegebene eindeutige Nummerierung sowie einen Nutzerspeicher für individuelle Einträge [All-09].

Die Fraunhofer Institute für Bauphysik und Mikroelektronische Schaltungen und Systeme befassen sich seit einiger Zeit mit dem Einsatz von RFID zur Gewinnung statischer und dynamischer Informationen über die Baukonstruktion eines Gebäudes. Gekennzeichnet werden beispielhaft Fassaden- und Lüftungselemente, die bei der Auslieferung im Werk sowie der Abnahme und Montage erfasst werden. Des Weiteren sind datenbankhinterlegte Wartungs- und Einbauinformationen abrufbar, um den Handwerker auf der Baustelle zu unterstützen. Der Bauteilstatus wird darüber laufend aktualisiert [Kön-08].

Forschungsgegenstand des Lehr- und Forschungsgebiets Baubetrieb und Bauwirtschaft der Bergischen Universität Wuppertal ist ein Integriertes Wertschöpfungsmodell in der Bau- und Immobilienwirtschaft (InWeMo). Beschrieben werden einheitliche Datenaustauschstrukturen in Anlehnung an das EPCglobal-Netzwerk in Form eines internetbasierten, zentralen RFID-Bauservers. Anhand ausgewählter Anwendungen wurden die Ergebnisse demonstriert und in Form eines Baulogistikleitstands zusammengeführt. Der Schwerpunkt der Forschungsarbeit liegt in der Definition einer standardisierten Datenhaltungsschicht für die Bauindustrie [BUW-09].

Innerhalb des Forschungsverbunds ForBAU erarbeiten sieben Lehrstühle unter der Koordination des Lehrstuhls für Fördertechnik Materialfluss Logistik der TU München ein Konzept zur ganzheitlichen Abbildung eines komplexen Bauvorhabens in einem digitalen Baustellenmodell. Dabei dient RFID zur Erfassung der Ist-Daten von Betriebsmitteln und wird dazu genutzt, den Baufortschritt abzubilden. Durch den möglichen zeitnahen Vergleich zwischen Ist- und Sollzustand erhöht sich die Prozesstransparenz [FML-09a].

In den beschriebenen Anwendungen werden Lösungsmöglichkeiten zur Kennzeichnung von einzelnen, ausgewählten Betriebsmitteln wie Schalungen, Fertigbetonteilen oder Beton- und Stahlrohren mit RFID-Transpondern gezeigt. Diese verwenden jedoch zumeist LF- oder HF-Frequenzen, die sich auf Grund ihrer beschränkten Lese Reichweite kaum für den automatisierten Einsatz in der Baulogistik eignen. Aktive Systeme, wie bspw. in [Aki-08] beschrieben, stellen durch ihre hohen Kosten und den Wartungsaufwand Lösungen für spezielle Anwendungen dar.

Einen viel versprechenden Ansatz für die Verwaltung von Betriebsmittelinformationen stellt der in [BUW-09] beschriebene Bauserver dar. Jedoch werden dabei praxisnahe Kennzeichnungsmöglichkeiten für die verschiedenen Betriebsmittel sowie deren Erfassungspunkte kaum betrachtet.

2.3 Betriebsmitteleinsatzplanung in der Bauindustrie

Im industriellen Bereich, vor allem in der Maschineneinsatzplanung (siehe [Sub-99], [Wei-99]) und zur Verwaltung der Betriebsmittel von automatisierten Fertigungsanlagen, sind zahlreiche Softwaretools und Planungshilfsmittel vorhanden, die eine EDV-gestützte Werkzeugverwaltung ermöglichen. Auch im Bereich der Forschung wurden die Themen rechnergestützte Werkzeugverwaltung, Optimierung von Werkzeugver-

sorgungsprozessen und Steuerung der Werkzeugbereitstellung schon an zahlreichen Hochschulen eingehend behandelt, wie folgender Auszug an Dissertationen zeigt ([FuZ-95], [Lei-96], [Ned-95], [Pau-92], [Val-04], [Wit-94]). Die Ergebnisse dieser Arbeiten sind aber nur bedingt auf die Anforderungen der Bauindustrie übertragbar, da nicht nur die Randbedingungen stark abweichen, sondern auch die zu verwaltenden Betriebsmittel ein deutlich breiteres Spektrum aufweisen.

Im Bereich der Bauindustrie dagegen ist eine EDV-gestützte Betriebsmitteleinsatzplanung noch nicht in den Mittelpunkt der Forschungsbemühungen gerückt. Untersuchungsgegenstand sind aktuell mehr die Bauprozesse an sich. Praxisanwendungen, die in einigen kmU bereits im Einsatz sind, bestehen meist aus individuellen Excel-Tools, oder einfachen Einsatzplantafeln, die speziell auf einen bestimmten Anwendungsfall oder häufig sogar Benutzer zugeschnitten sind und daher nicht universell eingesetzt werden können. Eine standardisierte Lösung zur Verwaltung und Abrechnung von Maschinen und Geräten im Baubereich und für die Bergwerksbranche bietet z.B. SAP mit dem Modul ETM – equipment tool management. Diese Lösung ist jedoch hauptsächlich auf Großgeräte zugeschnitten und nur in Verbindung mit einer Basis R/3 Lizenz zu erwerben, die die finanziellen Möglichkeiten vieler kmU weit übersteigt [SAP-09].

3 Einsatzszenarien und Anforderungsanalyse

In einem ersten Schritt wurden die in der Bauindustrie maßgeblichen Einflussfaktoren als Anforderungen an ein RFID-System charakterisiert. Des Weiteren wurden in enger Zusammenarbeit mit den Industriepartnern die in der Bauindustrie gebräuchlichen Prozessmittel klassifiziert und anhand verschiedener Kriterien bewertet. Diese Gruppierung bildete die Grundlage für die späteren Versuchsreihen mit einzelnen, repräsentativen Betriebsmitteln. Auch wurden speziell für die Bauindustrie Nutzenpotenziale durch die RFID-gestützte Kennzeichnung der Prozessmittel definiert und für die einzelnen Gruppen konkrete Einsatzszenarien abgeleitet. Die einzelnen Schritte sind als Leitfaden zu verstehen, der dem Anwender dabei helfen soll, den Nutzen durch den Einsatz von RFID in Abhängigkeit von den einzelnen Betriebsmitteln zu beschreiben und Anforderungen an die nötige RFID-Hardware zu definieren. Im weiteren Verlauf des Kapitels werden die Auswirkungen auf die RFID-Hardware bzw. die Kommunikation zwischen Datenträger und SLG erläutert und bewertet. Nachdem die Einflussfaktoren in ihrer Wirkung unterschiedlich relevant für die einzelnen Prozessmittel sind, werden sie diesen gegenübergestellt.

3.1 Einflussfaktoren im Umfeld der Bauindustrie

Um im weiteren Projektverlauf die RFID-Technologie hinsichtlich ihrer Eignung für den Einsatz in der Bauindustrie bewerten und geeignete Kennzeichnungskonzepte entwickeln zu können, müssen zunächst die maßgeblichen Einflussfaktoren identifiziert werden, denen die verschiedenen Prozessmittel auf der Baustelle ausgesetzt sind. Diese bilden die Grundlage einer Anforderungsliste an die RFID-Hardware und insbesondere die Datenträger, da diese direkt an den jeweiligen Prozessmitteln angebracht oder in diese integriert werden. Somit unterliegen sie spezifischen Einflüssen.

Eine Herausforderung in der Bauindustrie stellen die mit dem Arbeitsfortschritt wechselnden Umgebungsbedingungen dar [Ume-06]. In Abbildung 3-1 sind die möglichen Umwelteinflüsse auf Prozessmittel in Gruppen zusammengefasst. Die umrahmten

Klassen sind dabei für die Prozesssicherheit eines RFID-Systems von entscheidender Bedeutung.

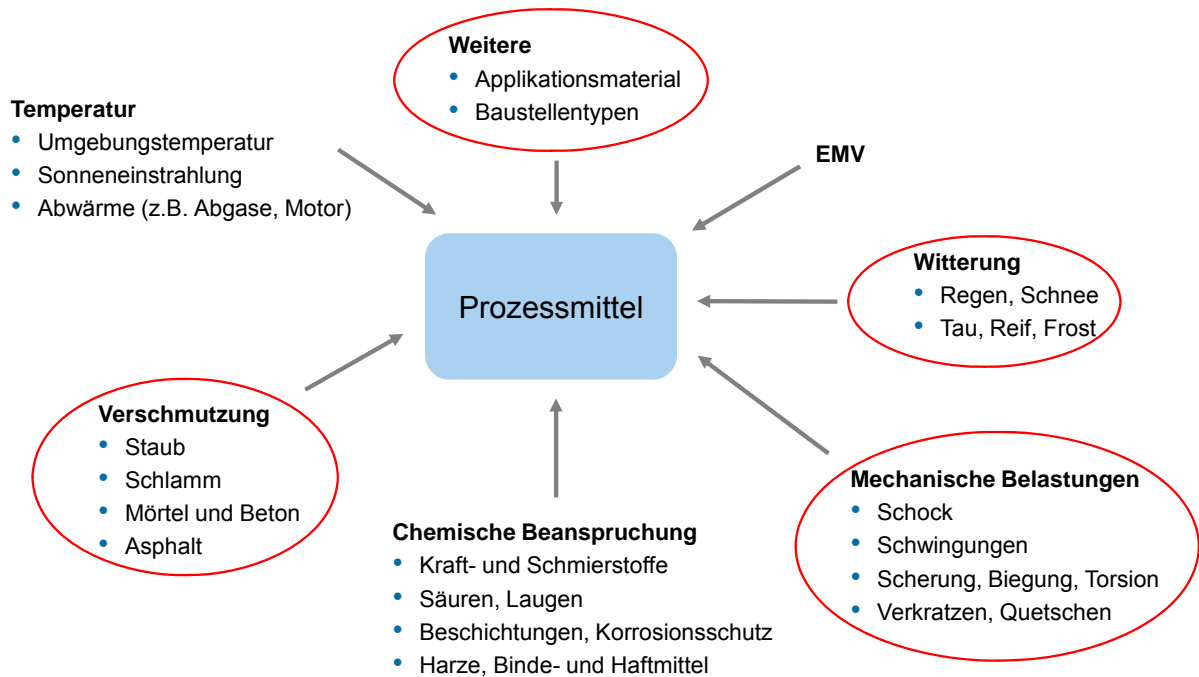


Abbildung 3-1: Einflussfaktoren auf Prozessmittel in der Bauindustrie

Witterung

Da ein Großteil der Betriebsmittel auf der Baustelle direkter Witterung ausgesetzt ist, müssen die Einflüsse von Regen, Schnee oder Reif auf den Identifikationsprozess untersucht werden. Aus dem hohen Dämpfungsmaß von Flüssigkeiten resultiert insbesondere bei höheren Funkfrequenzen wie dem Ultrahochfrequenzband mit 868 MHz eine starke Dämpfung des ausgesandten elektromagnetischen Feldes. Die Folge ist eine mitunter deutlich reduzierte Leserate und Beeinträchtigung der Prozesssicherheit durch Fehllesungen. Auch kann beim Eindringen von Flüssigkeit in den Transponder der Chip beschädigt oder gar zerstört werden. Der Einfluss von Flüssigkeiten muss daher in den Versuchsreihen Berücksichtigung finden.

Temperatur

Durch den ganzjährigen Einsatz im Freien, direkte Sonneneinstrahlung oder Abwärme von Motoren wirken Temperaturen zwischen -20°C und über 60°C auf die Transponder. Mögliche Auswirkungen wie Beschädigungen durch Verformung infolge der Temperatur oder Versprödung der Gehäuse sind jedoch als gering zu betrachten und können durch die Auswahl geeigneter Hardware ausgeschlossen werden (siehe Kapitel 5.2).

Verschmutzung

Staub, Schlamm, Mörtel, Beton oder Teer können eine dämpfende Wirkung auf das elektromagnetische Feld haben und Fehlesungen und damit Prozessstörungen bewirken. Erschwerend kommt mitunter der Feuchtigkeitsanteil bspw. bei Mörtel oder Beton hinzu. Auch hier muss der genaue Einfluss der Verschmutzung in Versuchsreihen analysiert werden. Indirekt können zudem starke mechanische Belastungen durch erforderliche Reinigungszyklen auf die am Bauteil befindlichen Transponder einwirken und zum Verlust oder zur Beschädigung führen.

Mechanische Belastungen

Mechanische Belastungen sind vielseitig und können in Form von Schock, Schwingung, Scherung, Biegung oder Torsion auftreten. Genaue, allgemeingültige Zahlenwerte hängen jedoch zum Großteil von der Handhabung der einzelnen Prozessmittel ab und sind daher äußerst schwierig zu ermitteln. In den Normen sind vereinzelt typische Grenzwerte beschrieben. DIN 30786 beschreibt bspw. mechanisch-dynamische Transportbelastungen in Form von Schwingungen bei verschiedenen Frequenzen in Abhängigkeit vom Transportmittel und der Beschaffenheit der Fahrstrecke, wobei jedoch kaum Werte über 1,5g erreicht werden [DIN-02]. Beispiele für Schwingbeschleunigungen bei großen Kolbenmaschinen wie Schiffsmotoren oder Schiffsgeneratoren liefert VDI 3839 Blatt 8, wobei auch hier kaum Werte von 3g überschritten werden [VDI-04].

Von größerer Relevanz sind hingegen Schockbeanspruchungen als kurze, heftige Impulse durch Stöße oder Schläge. Sie kommen punktuell bei der Verladung, dem Transport oder insbesondere während des Einsatzes der Betriebsmittel vor und sind nur schwer vorhersagbar. Normen wie die DIN 60068-2-27 beschreiben zwar Prüfverfahren zur Durchführung von Schockprüfungen, geben jedoch keine allgemeingültigen Werte an. Für den Einzelfall müssen diese gemäß den Normen und Richtlinien ermittelt werden. Mögliche Auswirkungen sind die Beschädigung oder Zerstörung des Transponders und damit die fehlerhafte Dokumentation des Materialflusses. Kritisch sind hierbei das Eindringen von Schmutz oder Feuchtigkeit infolge eines defekten Gehäuses sowie die Beschädigung des Speicherchips oder der Kontakte zwischen Speicherchip und Antenne des Transponders.

Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)

Nach der europäischen Richtlinie 2004/108/EG bezeichnet die Elektromagnetische Verträglichkeit die Fähigkeit eines Apparates, einer Anlage oder eines Systems, in der elektromagnetischen Umwelt zufriedenstellend zu arbeiten, ohne dabei selbst elektromagnetische Störungen zu verursachen, die für alle in dieser Umwelt vorhandenen Apparate, Anlagen oder Systeme unannehmbar wären [EMV-09]. Zu unterscheiden ist zwischen Störquellen und Störsenken. Wechselfelder, elektrostatische Entladungen oder hohe induzierte Strom- und Spannungsspitzen können die Funktion eines Transponders durch die Verstimmung der Arbeitsfrequenz negativ beeinflussen oder den Datenträger zerstören. Diese können von Baumaschinen oder der Umgebung herrühren. Auf der anderen Seite können auch elektromagnetische Felder der RFID-Antennen Prozessmittel beeinflussen.

Grenzwerte werden von der Richtlinie 2004/108/EG jedoch nicht genannt. Bewertungen der elektromagnetischen Verträglichkeit sind demnach vom Hersteller vorzunehmen. Die DIN EN 13309 beschreibt hierzu Prüfverfahren und Bewertungskriterien für die Störfestigkeit von Baumaschinen gegenüber elektromagnetischen Feldern sowie Emissionen elektromagnetischer Felder durch die Baumaschine selbst.

Chemische Beanspruchung

In der Bauindustrie finden vielfältige Betriebsmittel Verwendung. Dazu zählen Kraft- und Schmierstoffe (Treibstoff, Mineralöl, Fette, Kühlmittel, Bremsflüssigkeit), Säuren und Laugen bspw. für die Reinigung der Betriebsmittel, Beschichtungen wie Lasuren oder Korrosionsschutz sowie Binde- und Haftmittel. Diese Stoffe können bei längerfristigem Einwirken die Klebeverbindungen des Gehäuses auflösen oder dessen Material durch Weichmacher angreifen und beschädigen. Folglich können Schmutz und Feuchtigkeit in den Datenträger eindringen. Auch basieren viele der genannten Stoffe auf Flüssigkeiten, die eine dämpfende Wirkung auf das elektromagnetische Feld haben können. Trotz mehrfacher Nachfrage bei Herstellern und umfangreicher Recherche können zu Langzeitauswirkungen von chemischen Stoffen auf RFID-Transponder keine verlässlichen Aussagen getroffen werden. Hier besteht Forschungsbedarf.

Materialien und Applikationsuntergrund

Starken Einfluss auf das elektromagnetische Feld und damit die Kommunikation zwischen Transponder und Schreib-/Lesegerät haben der Applikationsuntergrund und das in der näheren Umgebung befindliche Material.

Das größte Problem stellt der hohe Anteil metallischer Betriebsmittel in der Bauindustrie dar. Bedingt durch die starken Reflexionseigenschaften kommt es direkt auf dem Metall zur Auslöschung des elektromagnetischen Feldes, weshalb RFID-Datenträger nur mit einem Mindestabstand zu Metall ausgelesen werden können. Eigens entwickelte onMetal-Tags lassen sich jedoch ebenso wie Transponder, die auf speziellen Abstandmaterialien aufgebracht sind, direkt auf Metall applizieren.

Die an metallischen Oberflächen reflektierten Funkwellen können sich zudem überlagern und dabei verstärken, abschwächen oder auslöschen, wodurch Überreichweiten oder reduzierte Leseentfernungen entstehen. Hinzu kommt die Verdeckung von Transpondern durch benachbarte metallische Betriebsmittel, wodurch sich Fehlleistungen ergeben.

Beschaffenheit der Baustelle

Üblicherweise wird in der Bauindustrie zwischen Hoch- (Innenausbau, Parkhäuser, Wohn-, Bürogebäude, öffentliche Bauten) und Tiefbaustellen (im Besonderen Straßen-, Netz-, Gleis-, Tunnel-, Erd-, Brückenbau, Kanalisation) unterschieden. Dabei definiert der Typ einer Baustelle spezielle Randbedingungen für mögliche I-Punkt-Konzepte. Mögliche Einflusskriterien sind nachfolgend dargestellt.

Zum Einen spielt die Ortsbeständigkeit der Baustelle eine Rolle. Bei Wanderbaustellen, die nur kurze Zeit an einem Ort verweilen, sind stationäre Identifikationspunkt-konzepte wegen der aufwändigen Installation kaum geeignet. Typische Beispiele sind nächtliche Autobahnbaustellen. Dieselbe Aussage kann für dynamische Baustellen, deren Topologie und Infrastruktur sich während des Baufortschritts ständig verändern, getroffen werden. Bspw. verschieben sich beim Trassenbau fortlaufend die Systemgrenzen und mit ihnen die Zu- und Abfahrten.

Zum Anderen ist die räumliche Ausdehnung der Baustelle von Bedeutung. Bei einem durch den Standort abgegrenzten Baugelände (z. B. Innenstadt, Tunnel) sind die Systemgrenzen einfach zu definieren im Gegensatz zu weitläufigen Baustellen oder im freien Gelände (z. B. Straßen-, Gleis-, Kanalbau). Wegen der hohen Anzahl an

Zu- und Abfahrten ist die Installation und Vernetzung dortiger Identifikationspunkte sehr aufwändig, weshalb kostengünstige, flexible Lösungen erforderlich sind.

3.2 Klassifizierung der Prozessmittel für den RFID-Einsatz

Um die Anwendung der RFID-Technologie in der Bauindustrie beurteilen zu können, müssen im Verlauf des Projekts umfangreiche Testreihen durchgeführt werden. Insbesondere die Fragestellung nach betriebsmittelspezifischen Kennzeichnungsmöglichkeiten muss hierbei beantwortet werden. Da Versuchsreihen mit vielfältigen Prozessmitteln schnell komplex und aufwändig werden, muss zunächst eine Möglichkeit für deren Klassifizierung gefunden werden. Dabei gilt es, verschiedene Klassifizierungskriterien zu definieren und zusammenzufassen.

3.2.1 Klassifizierungskriterien

Für die nachfolgende Gliederung der Prozessmittel werden als Erstes Klassifizierungskriterien insbesondere im Hinblick auf den Einsatz von RFID beschrieben. Entscheidend ist in diesem Zusammenhang die Frage, ob eine eindeutige Kennzeichnung eines Prozessmittels sinnvoll ist. Maßgeblich hierfür ist die Art des Prozesses, wonach zwischen Verbrauchs- und Gebrauchsgütern unterschieden werden kann. Während Erstere in der Regel einmalig verwendet und im Laufe des Einsatzes physisch oder buchhalterisch verbraucht werden, unterliegen Gebrauchsgüter einem geschlossenen Prozesskreislauf, der sie nach der Nutzung zum Bauhof zurückführt. Weitere Prozesseigenschaften sind die Transportcharakteristik in Form von Transport- oder Ladehilfsmitteln sowie Prozessstationen oder Lagerbedingungen.

Eng verknüpft mit dem Kreislauf eines Prozessmittels ist dessen Wertigkeit. Allerdings ist diese schwierig zu ermitteln und kaum pauschalisierbar, da hier mehrere Faktoren Einfluss finden, die sich nicht immer klar quantifizieren lassen. Ein wesentlicher Bestandteil sind die Investitionskosten für die Beschaffung eines Prozessmittels, gegeben durch den Anschaffungspreis. Entscheidend für den Wert ist darüber hinaus die Bedeutung des Bauteils für den weiteren Baufortschritt, da im Falle des Schwunds oder einer Fehllieferung Folgekosten bspw. durch Bauverzögerungen entstehen können. Demnach sind die Austauschbarkeit, der Aufwand für eine Wiederbeschaffung, bspw. gemessen an der Verfügbarkeit, und die einzuplanende Wieder-

beschaffungszeit wichtige Bemessungsgrößen. Da die einzelnen Unternehmen derartige Fälle unbedingt vermeiden wollen, werden mitunter überdimensionierte Sicherheitsbestände angelegt, die sich in höheren Bestandskosten niederschlagen. Auch sollten nach DIN 276 zur Ermittlung von Kosten im Bauwesen vorhersehbare Kostenrisiken nach Art, Umfang und Eintrittswahrscheinlichkeit benannt werden [DIN-06]. Ein weiteres Wertigkeitskriterium ist die Lebenszeit eines Objekts. Je längerfristig dessen Nutzung ist, desto kostenintensiver wirkt sich ein Verlust aus.

Zusätzliche Klassifizierungskriterien bilden die groben Geometrien und Abmessungen bzw. ungefähre Dimensionen der Prozessmittel, die für die spätere Anbringung von RFID-Transpondern wichtig sind. Weitere Kriterien bilden der Werkstoff sowie die maßgeblichen Einflussgrößen als Folge der Einsatzbedingungen in der betrieblichen Praxis. Diese Kriterien sind für die spätere Entwicklung von Kennzeichnungslösungen von Bedeutung.

3.2.2 Prozessmittelklassen

Die Einteilung der verschiedenen Prozessmittel in der Baubranche erfolgt in Anlehnung an Standardwerke wie die Baugeräteliste (BGL). Dort finden sich bereits definierte Gruppen für Schalungen und Rüstungen (Gruppe U), Maschinen und Geräte für den Werkstattbetrieb (Gruppe W), Bohrgeräte (Gruppe K) sowie Geräte (Gruppe D/E) [BGL-01]. Dadurch können sämtliche gebräuchliche Baugeräte einfach zugeordnet und im weiteren Verlauf Einsatzpotenziale oder Kennzeichnungsmöglichkeiten abgeleitet werden. Um die Einteilung der Prozessmittel zu vervollständigen, wurden die Gruppen Personal und Ladeeinheiten definiert. Die einzelnen Cluster können an Hand der zuvor aufgeführten Kriterien beschrieben werden. Die Ergebnisse sind in nachfolgender Abbildung dargestellt.

Unter Prozessmitteln sind dabei alle Ressourcen zu verstehen, die für die Erstellung eines Gewerks notwendig sind. Der Fokus des Forschungsprojekts liegt dabei auf der Kennzeichnung von Betriebsmitteln, weshalb Personal hier unberücksichtigt bleibt. Auch die Kennzeichnung von Ladeeinheiten wird im Rahmen des Projekts nicht betrachtet, da es hierfür bereits verschiedene Lösungen gibt.

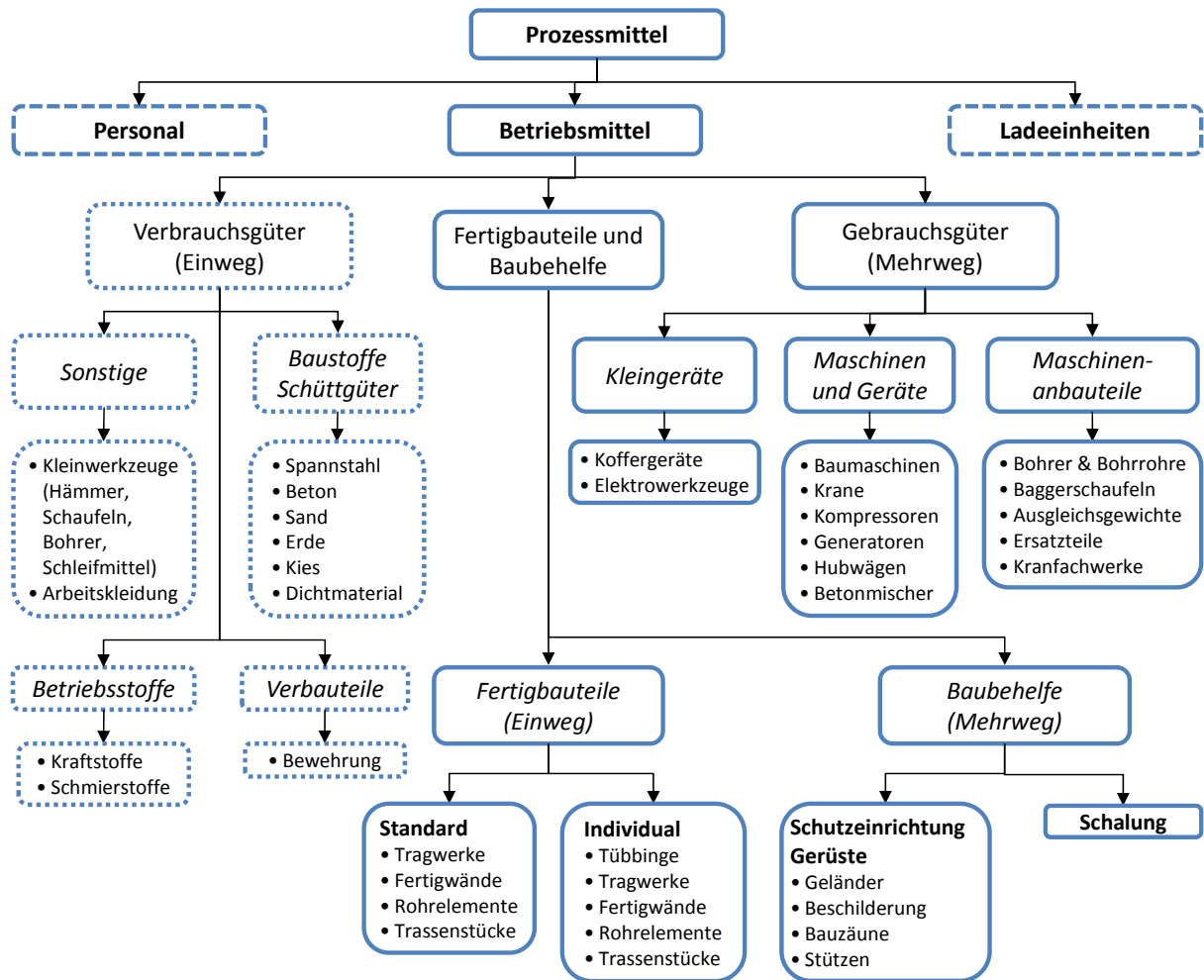


Abbildung 3-2: Übersicht der Prozessmittel in der Bauindustrie

Verbrauchsgüter

Typische Verbrauchsgüter wie Kleinwerkzeuge haben nur eine geringe Wertigkeit und damit keine ausreichenden Nutzenpotenziale für einen RFID-Einsatz. Oft werden sie ohne genaues Abzählen ausgeliefert und verbleiben am Ende ihrer Nutzungsphase auf der Baustelle. Auch verfügen sie auf Grund ihrer geringen Abmessungen oder Geometrie oft nicht über Anbringungsmöglichkeiten für Transponder.

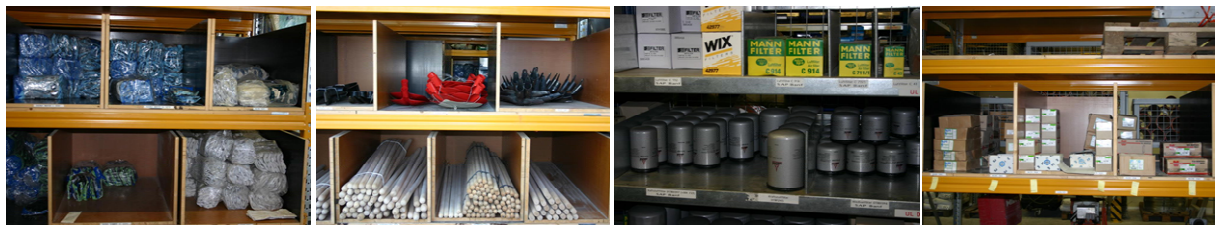


Abbildung 3-3: Beispiele für Verbrauchsgüter

Kleingeräte

Zu der Gruppe der Kleingeräte zählen Bohrmaschinen, Handkreissägen oder Schleifmaschinen von mittlerer Wertigkeit. Sie sind in der Regel mehrfach vorhanden, einfach wiederzubeschaffen und austauschbar. Nach dem Einsatz werden sie wieder zurück zum Bauhof gebracht, wo sie innerhalb eines eigenen Lagerbereichs in Regalen typenweise gelagert werden. Zumeist verfügen sie über ein Kunststoffgehäuse als Isolation zu den metallischen Komponenten des Elektroantriebs und werden in Kunststoff- oder Metallkoffern verstaut. Im Vergleich zu anderen Betriebsmitteln unterliegen sie nur mäßigen direkten Witterungseinflüssen oder mechanischen Beanspruchungen. Für den Transport werden sie auftragsweise zusammen mit anderen Betriebsmitteln auf Paletten oder in Gitterboxen zusammengefasst.



Abbildung 3-4: Beispiele für Kleingeräte

Maschinen und Geräte

Maschinen und Geräte sind meist von höherer oder hoher Wertigkeit, da sie im Gegensatz zu Kleingeräten nur begrenzt verfügbar und nicht immer austauschbar sind. Sie bestehen fast ausschließlich aus Metall und unterliegen beim Einsatz direkten Witterungseinflüssen sowie mechanischen Belastungen. Aus diesem Grund sind spezielle, für die Anbringung auf Metall geeignete Transponder erforderlich, die jedoch relativ einfach angebracht werden können. Zumeist werden Maschinen auf grob definierten Außenlagerflächen gelagert. Während größere Maschinen und Geräte mit Tiefladern transportiert werden, erfolgt der Transport kleinerer Geräte auf einzelnen Ladeeinheiten.



Abbildung 3-5: Beispiele für Maschinen und Geräte

Maschinenanbauteile

Auch Anbauteile und Maschinenausrüstung bestehen nahezu vollständig aus Metall und sind sowohl bei der Lagerung als auch beim Einsatz direkten Witterungseinflüssen und hoher mechanischer Belastung ausgesetzt. Für eine direkte Kennzeichnung kommt bei einigen Anbauteilen wie Bohrrohren zudem das Fehlen von Anbringungsmöglichkeiten von Transpondern durch den ständigen Eingriff mit dem Erdreich erschwerend hinzu. Insbesondere vor dem Hintergrund ihrer relativ hohen Wertigkeit stellt die sichere Ausrüstung mit RFID-Datenträgern eine große Herausforderung in dieser Betriebsmittelgruppe dar.



Abbildung 3-6: Beispiele für Maschinenanbauteile

Fertigbauteile und Baubehelfe

Fertigbetonteile werden im Werk gefertigt, je nach Abmessungen einzeln mit Tiefladern oder in Set-Behältern per LKW auf die Baustelle transportiert und dort verbaut. Dabei sind sie direkter Witterung ausgesetzt. Sie verfügen über eine hohe bis sehr hohe Wertigkeit, da sie im Falle von Schwund oder Fehlproduktion wegen ihres mitunter hohen Individualcharakters zeit- (Aushärtung) und kostenaufwändig nachproduziert werden müssen. Dabei sind sie entscheidend für den Baufortschritt. Gelagert werden die Teile zumeist in großflächigen Außenlagern auf dem Bauhof oder auf einem Zwischenlager auf der Baustelle.



Abbildung 3-7: Beispiele für Fertigbauteile und Baubehelfe

Baubehelfe wie Gerüste oder Schalungen werden mit Ausnahmen (z.B. verlorene Schalung) nach der Nutzung zum Bauhof zurück transportiert. Dabei sind sie oft auf eigenen Ladungsträgern sortenrein verladen. Sowohl bei der Lagerung als auch im Einsatz unterliegen sie direkten Witterungseinflüssen. Baubehelfe bestehen beinahe

ausschließlich aus Metall, da sie im Einsatz oder der Reinigung hohen bis sehr hohen mechanischen Beanspruchungen unterliegen. Bei Schalungen sind zudem sämtliche Außenflächen Nutzflächen, die eine externe Anbringung von Transpondern unmöglich machen. Sie sind von mittlerer bis höherer Wertigkeit, mehrfach vorhanden und einfach austauschbar. Eine Ausnahme bilden Systemschalungen, die individuell im Werk vorgefertigt und auf die Baustelle geliefert werden.

3.3 Nutzenpotenziale und Einsatzszenarien von RFID in der Bauindustrie

In einer Untersuchung der DEKRA zu Baumängeln an Wohngebäuden in den Jahren 2006 und 2007 wurden durchschnittlich rund 32 Mängel pro Projekt festgestellt. Die durchschnittliche Anzahl festgestellter Mängel nahm dabei von 2003 bis 2007 um 102 % zu [DEK-08]. Der Bauherren-Schutzbund gibt in einer Untersuchung das Volumen durch Bau- und Folgeschäden im Jahr 2001 mit 40 Mrd. Euro an bei einem Bauvolumen von ca. 240 Mrd. Euro, unter anderem wegen falscher Baustoffe, mangelhaftem Einbau und fehlender Gewerke-übergreifender Vernetzung [Gül-02]. Die genaue monetäre, zahlenmäßige Bewertung von RFID-Nutzenpotenzialen ist jedoch äußerst schwierig, zumal es bisher kaum diesbezügliche Daten gibt. So herrscht bspw. kein einheitliches Logistikverständnis in der Bauindustrie. Der Logistikkostenanteil beträgt nach [Gün-08] einer Umfrage zufolge zwischen 1% und 26% der Gesamtkosten. Auch sind Vorteile wie eine gesteigerte Auslastung, besserer Kundenservice, Kostenzuordnung oder die Reduzierung der Anzahl der erforderlichen Ersatzlieferungen schwer quantifizierbar.

Ob sich der Einsatz von RFID lohnt, hängt neben der Wertigkeit des Betriebsmittels von den möglichen Nutzenpotenzialen, aber auch dem Aufwand für die Implementierung in bestehende Prozesse ab. Für die verschiedenen Betriebsmittel lassen sich auf Basis der Nutzenpotenziale konkrete Einsatzszenarien ableiten.

3.3.1 Nutzenpotenziale und Mehraufwand

RFID stellt eine robuste Technologie zur Identifikation und Dokumentation von Betriebsmitteln dar und hilft, die Informationslücke zwischen Objekt- und Datenebene zu schließen. Vor diesem Hintergrund wurden in einer Baulogistikstudie der TU Mün-

chen von 2008 unter ausführenden und planenden Unternehmen der Bauindustrie Nutzenpotenziale durch den Einsatz von RFID untersucht [Gün-08]. Meist genannt wurden dabei die Aktualität der Bestandslisten durch eine zeitnahe Buchung, schnelle Warenein- und Warenausgangskontrollen und ein geringerer Verwaltungsaufwand durch die Reduzierung manueller Tätigkeiten bspw. beim Ausfüllen von Begleitscheinen und eine damit einhergehende fehlerhafte Dokumentation. Weitere positive Aspekte werden in der zeitnahen Projektbewertung und Nutzung einer detaillierteren Datenbasis für spätere Projekte sowie der Reduzierung des Teileschwunds gesehen. Dabei werden fast 14% Zeitersparnis bei administrativen Tätigkeiten und etwa 8% der gesamten Arbeitszeit durch automatische Datenerfassung angenommen. Durch die Organisation, Koordination und zeitnahe Abstimmung von Gewerken können schätzungsweise bis zu 11%, durch zeitgerechte Belieferung ca. 7% und bei der Lagerhaltung auf der Baustelle und dem Bauhof je ca. 5% der jeweiligen Kosten eingespart werden.

Bei [Bör-06] werden des Weiteren Vorteile für die Qualitätssicherung, die Protokollierung von Umgebungsbedingungen, das Transportmanagement, die Belieferung von Baustellen und die Dokumentation von Betriebszeiten oder Wartungsumfängen aufgelistet. Die hierbei anfallenden Kosten können den betreffenden Kostenstellen verursachungsgerecht zugerechnet werden. Hinzu kommen die Vereinfachung der Verwaltung der Betriebsmittel und die durchgängige Nachweisbarkeit von Leistungsumfängen. Durch diese durchgängige Prozessdokumentation bieten sich auch für Unternehmen der Bauindustrie Möglichkeiten einer Zertifizierung nach ISO 9000. Zwar bedingt der Einsatz von RFID eine verbindliche Definition der Logistikprozesse, kann dabei aber als Chance verstanden werden, die historisch gewachsene Prozesslandschaft aufzubrechen und zu optimieren.

Ein Einsatz von RFID ist jedoch auch mit zusätzlichem Aufwand in Form von Investitions- und Integrationskosten, Kosten für die Kennzeichnung der Betriebsmittel sowie möglichen Wartungsaufwänden verbunden. Die tatsächliche Höhe der Kosten für die erfolgreiche Implementierung eines RFID-Systems ist dabei sehr schwer abzuschätzen. Selbst in der Automobilindustrie, die im Vergleich zur Baubranche dank des stationären Umfelds über eine transparente Prozesslandschaft verfügt, kann die Wirtschaftlichkeit eines RFID-Einsatzes bisher nur für den jeweiligen Einzelfall nachgewiesen werden. Nach Schätzungen betragen die dortigen Investitionskosten für eine mittelgroße RFID-Lösung durchschnittlich 500.000 €, deren Amortisationszeit wenige

Monate bis Jahre beträgt [Gil-09]. Eine Umfrage des Instituts für Informatik und Gesellschaft der Universität Freiburg, nach der sich zwei Drittel der RFID-Projekte innerhalb der ersten vier Jahre amortisieren, stützt diese Aussage. Jedoch können zusätzliche Nutzenpotenziale wie eine steigende Transparenz oder sinkender Schwund, der sich erfahrungsgemäß allein durch die Kennzeichnung der Objekte einstellt, kaum zahlenmäßig erfasst werden.

3.3.2 Ableitung und Zuordnung von Einsatzszenarien

Personal

Möglichkeiten zur Personenkontrolle durch RFID stellen etablierte Anwendungen in vielen Industriebereichen dar. Zumeist werden hierbei induktive Chip-Karten zur individuellen Zugangskontrolle genutzt. Zunehmend halten derartige Systeme auch in der Bauindustrie Einzug. Genannt sei an dieser Stelle ein RFID-basiertes System zur Überprüfung der persönlichen Schutzausrüstung der BU Wuppertal und der Streif Baulogistik GmbH. Bei der Anmeldung des Mitarbeiters mit seinem Dienstausweis wird neben dessen Berechtigung beim Durchschreiten eines Portals auch die Vollständigkeit der persönlichen Schutzausrüstung, bspw. in Abhängigkeit der Sicherheitsanforderungen des jeweiligen Bauabschnitts, überprüft. Hierfür ist jedes Element mit einem passiven UHF-Transponder versehen. Zielstellungen sind die bessere Kontrolle von Personalströmen und die Erhöhung der Sicherheit auf der Baustelle [Hel-08].

Eine weitere Anwendung besteht in der Überprüfung der Gültigkeit der Fahrerlaubnis vor der Inbetriebnahme von Baufahrzeugen. Der Fahrer meldet sich mit seinem Führerschein am Fahrzeug an, wobei neben der Gültigkeit die Berechtigung des Fahrers geprüft wird. Entsprechende Führerscheine sind bereits erhältlich [RFI-09b]. Neben der Wahrung der Sorgfaltspflicht lässt sich dadurch die Fahrt-Historie für jedes Fahrzeug dokumentieren.

Probleme für Personalkontrollsysteme ergeben sich jedoch in der Praxis bspw. durch Datenschutzbestimmungen. Daher sind für einen erfolgreichen Einsatz bereits frühzeitig Rechtsgrundlagen zu prüfen und Instanzen wie der Betriebsrat einzubinden.

Ladeeinheiten

Ladeeinheiten, wie bspw. Gitterboxen oder Paletten, können als Transporteinheit genutzt und dank der klaren Geometrie einfach mit einem Transponder ausgerüstet werden. Durch die Verknüpfung des Ladeguts mit der Ladeeinheit in einer Datenbank lässt sich der Materialfluss von Artikeln verfolgen, für die eine objektbezogene Kennzeichnung nicht realisierbar oder lohnend ist.



Abbildung 3-8: Gitterboxen für Kleinteile

Eine mögliche Anwendung in der Bauindustrie sind Kleinteile wie Federbolzen oder Rohrschellen. Diese werden ohne genaues Abzählen in Gitterboxen gelagert und auf die Baustelle geliefert. Durch das Hinterlegen des Gewichts des Artikels und der verwendeten Ladeeinheit kann durch Abwiegen einer beladenen Gitterbox die transportierte Artikelmenge bestimmt werden. Diese Lösung setzt jedoch eine sortenreine Beladung von Ladeeinheiten voraus. Auch kann Fremdmaterial wie Schmutz das Gewicht verfälschen. Zudem geht nach Eintreffen auf der Baustelle die Zuordnung zwischen Ladeeinheit und Ladegut verloren, weshalb der Prozesskreislauf nicht geschlossen werden kann. Auf dem Bauhof kann die beschriebene Lösung dagegen sehr gut zum Einsatz kommen.

Kleingeräte

Kleingeräte wie Bohrmaschinen oder Schleifmaschinen haben eine hohe Mietdichte und unterliegen im Rahmen der Qualitätssicherung häufigen Wartungs- und Reparaturzyklen. In der bauindustriellen Praxis werden sie zumeist auf Ebene der Artikelgruppe erfasst. Durch die fehlende objektbezogene Kennzeichnung können Wartungs- und Reparaturumfänge sowie Gerätehistorien nicht abgebildet oder Kostenstellen zugeordnet werden. Des Weiteren entsteht durch die Dokumentation mit Lieferscheinen ein Medienbruch, in Folge dessen Buchungsfehler auftreten können. Unvollständige oder fehlende Lieferscheine führen im Zweifelsfall zu nicht nachvollziehbaren Mietvorgängen.

Durch die Kennzeichnung der einzelnen Geräte mit Transpondern können diese eindeutig erkannt und auf eine Kostenstelle gebucht werden. Bei jeder Erfassung wird der Gerätestatus automatisch in der zentralen Geräteverwaltung aktualisiert und damit die Verfügbarkeit des Geräteparks transparent. Umfangreiche Sicherheitsbestände sind nicht mehr notwendig. Auch die Dauer und damit die Kosten einer Vermietung können zeitgenau erfasst werden. Durch die Geräte-spezifische Dokumentation der Einsatzzeiten sind des Weiteren eine Homogenisierung der Auslastung funktionsgleicher Geräte sowie die Anpassung von Wartungsumfängen möglich. Werden bei der Überprüfung der Geräte in der Werkstatt Mängel festgestellt, können die damit verbundenen Kosten verursachungsgerecht zugeordnet und abgerechnet werden. Weiterführend werden sowohl eine häufige unsachgemäße Gerätehandhabung einzelner Mietnehmer bzw. Kostenstellen als auch mangelhafte Geräte offen gelegt.

Maschinen und Geräte

Der Nutzen einer effizienten Geräte- und Maschinenverwaltung wird deutlich, wenn man bedenkt, dass die Geräte- und Maschinenkosten bspw. bei Tiefbauprojekten ca. 30% der Gesamtkosten betragen. Gründe hierfür sind neben der hohen Anzahl verschiedener Geräte und Baustellen bzw. Organisationseinheiten enge Zeitvorgaben und in Folge dessen hohe Sicherheitsbestände [SAP-09].

Insbesondere kostenintensive Maschinen und Geräte werden abhängig vom Baufortschritt angefordert und zwischen einzelnen Gewerken bedarfsabhängig ausgetauscht. Mit Ausnahme von Baumaschinen, die oft bereits über GPS verfügen, wird dabei der aktuelle Aufenthaltsort zumeist nicht zentral dokumentiert. Die Folgen sind neben zeitaufwändigen telefonischen Rücksprachen die fehlende zeitnahe Erkennung von Verlusten, ungenaue Projektabrechnungen sowie redundante Maschinenparks. Durch den Einsatz von RFID kann die Verfügbarkeit der Maschinen und Geräte erhöht, die Auslastung homogenisiert und überflüssige Redundanz abgebaut oder vermieden werden.

Zudem können in Verbindung mit den Maschinendaten Rückschlüsse auf konkrete Einsatzbedingungen gezogen und Wartungsaufwände angepasst werden. Speziell für kmU, die ihren Maschinen- und Gerätepark in der Regel deutlich länger betreiben als größere Unternehmen, entsteht hierdurch ein großes Kosteneinsparpotenzial [Gün-08].

Maschinenanbauteile

Für Maschinenausrüstung und Anbauteile entsteht ein großer Nutzen durch die mögliche Zuordnung zur Baumaschine. Ein Beispiel hierfür ist die Verknüpfung von Drehbohrgerät und Bohrrohr. Im ersten Schritt können durch die eindeutige Identifizierung von Bohrgerät und Rohr die Zulässigkeit der Kombination von Gerät, Kellystange und Bohrrohr überprüft und unterstützende Montageanweisungen gegeben werden. Aktuell werden Bohrröhre in Form geschweißter Nummern zwar für Inventurzwecke, jedoch nicht zur Bestimmung des aktuellen Einsatzortes dokumentiert.

Des Weiteren lassen sich in Verbindung mit Maschinen- oder Geodaten des Bohrgrunds Aussagen über die tatsächlichen Belastungen und damit die Abnutzung während des Einsatzes treffen. In Folge können Wartungsintervalle und Wartungsumfänge bedarfsgerecht angepasst und für jedes Gerät individuell dokumentiert werden.

Auf Grund der ungenauen Bedarfsangabe von Bohrröhren werden aktuell Sicherheitsbestände auf der Baustelle angelegt, die für den Einsatz letztlich nicht benötigt werden. Durch die Dokumentation der eingesetzten Bohrröhre in Abhängigkeit von den Einsatzbedingungen entsteht eine durchgängige Datenbasis als Grundlage für eine bedarfsgerechte Einsatzplanung und damit Auslastung der Geräte.

Fertigbauteile und Baubehelfe

Betonteile können zwischen Ortbeton bzw. Baustellenbeton und Fertigbeton unterschieden werden. Im Gegensatz zu Ortbeton, der auf der Baustelle verarbeitet wird, werden Fertigbetonteile extern vorgefertigt und fertig für den Verbau auf die Baustelle transportiert. Aus Prototypenfertigung und unzureichender Dokumentation des Materialflusses können Produktionsfehler oder Schwund resultieren, was Verzögerungen des Baufortschritts und damit ein hohes Risiko für die termingerechte Fertigstellung zur Folge hat [Gum-05]. Durch die eindeutige Identifikation bereits während der Herstellung werden nicht nur individuelle Produktionsdaten, bspw. über die Zusammensetzung der Betonmischung, erfasst, sondern auch Materialflüsse durchgängig dokumentiert. Im Falle von Haftungsfragen durch Bauschäden ist dadurch eine Rückverfolgbarkeit der Bauteile gewährleistet. Zudem lassen sich in Verbindung mit dem Verbauplan der korrekte Verbau eines Fertigbetonteils unterstützen und Freigaben für darauf aufbauende Gewerke erteilen. Durch den Einsatz von GPS und eines SLG an der Laufkatze eines Kranauslegers kann bspw. der Verbauort überwacht und

ggf. korrigiert werden. Alle Informationen können über eine zentrale Datenbasis zeitnah zwischen den beteiligten Personen ausgetauscht und Prozesse besser aufeinander abgestimmt werden. Darüber hinaus können Bauteilinformationen entlang des Lebenszyklus bis hin zu Sanierung, Um- oder Rückbau festgehalten und genutzt werden.

Auch bringt RFID entscheidende Vorteile für das Lagermanagement. Die Betonteile werden nach ihrer Fertigstellung in der Regel nicht sofort auf die Baustelle transportiert, sondern auf dem Bauhof zwischengelagert. Auf den weitläufigen Lagerflächen müssen die Teile häufig zeitaufwändig gesucht werden, da der genaue Lagerort nicht dokumentiert ist. Wird das Lastaufnahmemittel des Verladekrans, mit dessen Hilfe die massiven Teile bewegt werden, mit einem SLG kombiniert und bspw. durch GPS oder Auswertung der Seillänge während des Verfahrens geortet, ist jederzeit die letzte Position des Betonteils bekannt. Eine zweite Möglichkeit mit derselben Zielstellung bietet die Kombination von Ortungs- und RFID-Technologie im Transportmittel wie Stapler oder Radlader, die ebenfalls für die Bewegung der Teile eingesetzt werden können.

Aus Ermangelung an Alternativen werden in der Bauindustrie Betriebsmittel häufig mit Farbmarkierungen gekennzeichnet, die sich jedoch während des Einsatzes ablösen. Insbesondere auf größeren Baustellen mit mehreren Beteiligten kommt es dadurch zu Verwechslungen von Baubehelfen wie Bauzäunen oder Schalungen. Das hat zur Folge, dass Unternehmen, die erst spät die Baustelle räumen, nur noch Material schlechterer Qualität vorfinden. Gerade bei Mengengeräten wie Spundwänden ohne optische Differenzierbarkeit entstehen außerdem Kosten durch fehlende Nachweisbarkeit der verschiedenen Güteklassen.

3.4 Bewertung der Betriebsmittel

Den Abschluss des ersten Arbeitspakets bildet eine kurze qualitative Übersicht zur Bewertung der Betriebsmittel.

In Tabelle 3-1 sind die Auswirkungen der Einflussfaktoren des Bauumfelds auf die Betriebsmittel bzw. auf die an- oder eingebrachten Transponder zusammengefasst. Bei einer Implementierung von RFID müssen diese demnach besondere Beachtung finden. Die Skala reicht von wenig (-) bis sehr hohem Einfluss (++)

3 Einsatzszenarien und Anforderungsanalyse

	Auswirkung der Einflussfaktoren						
	Witterung	Temperatur	Mechan. Belastung	EMV	Chemische Belastung	Verschmutzung	Applikationsmaterial
Gebrauchsgüter							
Kleingeräte	-	0	-	0	-	-	0
Maschinen & Geräte	+	0	+	0	0	+	+
Maschinenanbauteile	+	0	++	-	0	++	+
Fertigbauteile & Baubehelfe							
Fertigbauteile	+	-	0	-	+	++	0
Schutzeinrichtung	+	-	+	-	-	0	+
Schalung	+	-	++	-	+	++	+

Tabelle 3-1: Auswirkung der Einflussfaktoren auf die Betriebsmittel

Nachfolgende Tabelle soll den Anwender bei der monetären Bewertung der Betriebsmittel unterstützen. Auf Grund der hohen Vielfalt und Verschiedenartigkeit der Betriebsmittel können hierbei keine allgemeingültigen Zahlenwerte gegeben werden, jedoch vermittelt die gezeigte qualitative Einschätzung einen ersten Eindruck.

	Monetäre Wertigkeit der Betriebsmittel				
	Investitions-Kosten	Folgekosten	Verfügbarkeit	Substituierbarkeit	Lebenszeit
Gebrauchsgüter					
Kleingeräte	-	-	+	+	-
Maschinen & Geräte	++	0	0	0	+
Maschinenanbauteile	+	0	0	0	0
Fertigbauteile & Baubehelfe					
Fertigbauteile	+	++	--	-	+
Schutzeinrichtung	-	-	+	+	0
Schalung Standard	0	-	+	+	0
Systemschalung	+	+	--	-	-

Tabelle 3-2: Monetäre Wertigkeit der Betriebsmittel

Tabelle 3-3 stellt die beschriebenen Einsatzszenarien den Betriebsmittelgruppen gegenüber und hilft dem Anwender bei der Abschätzung des RFID-Nutzens.

	Verknüpfung von Betriebsmitteln und Einsatzszenarien						
	Tracking & Tracing ²	Mietdauer	Wartung	Auslastung	Zuordnung	Lebenszyklus	Fertigung
Gebrauchsgüter							
Kleingeräte	+	++	+	+	-	-	-
Maschinen & Geräte	++	++	+	+	+	-	-
Maschinenanbauteile	+	0	+	0	+	-	-
Fertigbauteile & Baubehelfe							
Fertigbauteile	++	-	-	-	+	0	+
Schutzeinrichtung	0	0	-	0	-	-	-
Schalung Standard	0	0	-	0	0	-	-
Systemschalung	++	-	-	-	+	-	+

Tabelle 3-3: Zuordnung zwischen Betriebsmitteln und Einsatzszenarien

² Feststellen des Aufenthalts-/Lagerortes und Verfolgung des Materialflusses

4 Definition der Systemarchitektur

Im Rahmen dieses Arbeitspakets werden die Anforderungen an die Systemarchitektur definiert, um die RFID-Technologie in der Bauindustrie anwenden zu können. Zunächst erfolgt die Darstellung der Aufgaben eines RFID-Systems mit dem Ziel der Verfolgung von Betriebsmitteln. Dabei wird auch der Ansatz des Ubiquitous Computing angewendet. Im weiteren Verlauf wird auf die Eigenschaften der RFID-Technologie als Kennzeichnungslösung eingegangen und mögliche Kommunikationstechnologien dargestellt, um Daten zwischen den verteilten Identifikationspunkten und der zentralen Datenverwaltung austauschen zu können. Den Abschluss bildet die Beschreibung bauleistungsbezogener Prozesse anhand eines Beispiels. Diese Definition bildet die Grundlage für die Integration der Identifikationspunkte und somit für die durchgängige Dokumentation der Betriebsmittel.

4.1 Aufgaben eines RFID-Systems zur Betriebsmittelverfolgung

Die Zielstellung dieses Forschungsprojekts besteht in der Dokumentation des Materialflusses der Betriebsmittel. Dazu muss das zu entwickelnde System verschiedene, aufeinander aufbauende Aufgaben erfüllen können (siehe nachstehende Abbildung).

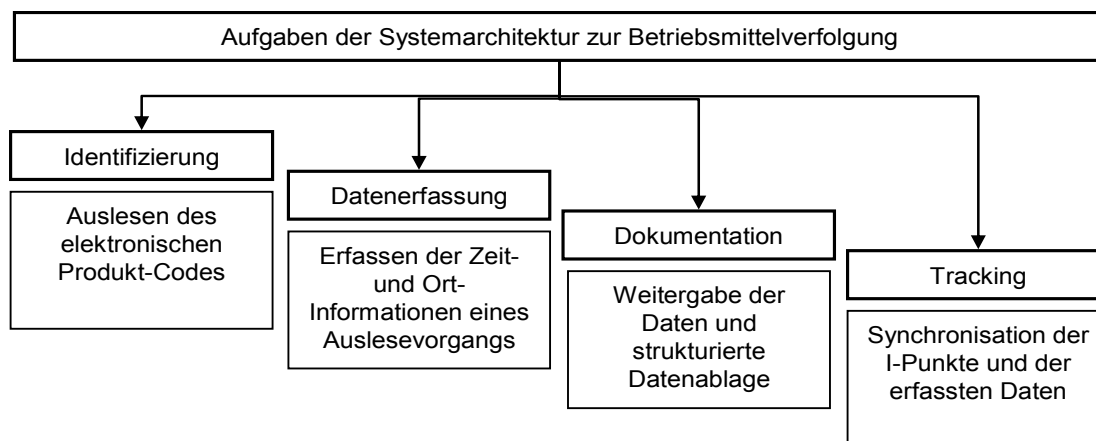


Abbildung 4-1: Aufgaben eines Systems zur Betriebsmittelverfolgung

Die Hauptaufgabe eines derartigen Systems liegt in der sicheren Identifizierung der Betriebsmittel, wobei hierfür RFID Verwendung findet (siehe Kapitel 4.2.2). Dazu werden die einzelnen Betriebsmittel oder Ladeeinheiten mit einem Transponder aus-

gestattet, auf dem ein eindeutiger elektronischer Produktcode (EPC, siehe Kapitel 4.2.2) hinterlegt ist. Dieser kann von einem RFID-Schreib-/Lesegerät ausgelesen und damit das Objekt identifiziert werden. Für eine ausreichende Prozesssicherheit sind Leseraten von deutlich über 99 % und die sichere Anbringung der Transponder über den gesamten Prozess zu garantieren. Der eigentliche Erfassungsvorgang kann sowohl automatisiert in Form stationärer SLG, als auch manuell durch Handgeräte erfolgen.

Ein weiterer Bestandteil für die vollständige Dokumentation des Materialflusses ist die Erfassung von Ort und Zeit eines Identifikationsvorgangs. Dazu werden beim Passieren eines Identifikationspunkts der Zeitpunkt der Erfassung in Form von Uhrzeit und Datum sowie dessen Ort protokolliert. Letzterer kann bei ortsfesten I-Punkten direkt auf der Erfassungsstation oder zentral in einer Datenbank hinterlegt oder bei ortsveränderlichen Konzepten über GPS automatisch bestimmt und in ein alpha-numerisches Format umgewandelt werden.

Ein ähnliches Konzept wird in [Tur-04] als das Zusammenwirken von Kommunikationsobjekten durch Auslöser und Ziel einer Ortung beschrieben. Dabei kann für beide Objekte gelten, dass sie für die Ausführung eines Dienstes relevant sind und geortet werden müssen. Sind sie für die Ausführung zwar relevant, jedoch statisch, unterbleibt ein Ortungsvorgang.

Der dritte Aufgabenbaustein ist die Weitergabe der Objekt-, Ort- und Zeitdaten durch eine geeignete Datenübertragungsschnittstelle an ein zentrales Datenverwaltungs- bzw. ERP-System (Enterprise Resource Planning). Dieses bildet die Basis für die projektbezogene Ausführungsplanung bspw. von Personal, externem und internem Material, Terminen und Bauablauf und kann Materialflüsse ereignisgesteuert anweisen sowie im Rahmen der Projektfortschrittskontrolle bei evtl. Abweichungen gegensteuern. Nachfolgende Tabelle stellt beispielhaft die Minimalanforderungen an die Datendokumentation dar.

Elektronischer Produkt-Code	Datum	Zeit	Ort
30F505D7DC040040000000001	15.07.2009	13:52:10	BauSt_0517_G2
30F505D7DC010020000000041	20.07.2009	08:12:54	BauSt_0314_G1
30F505D7DC030010000000A01	24.07.2009	16:01:23	BauSt_0517_G1

Tabelle 4-1: Schema zur Dokumentation des Materialflusses

Durch die Synchronisation der einzelnen I-Punkte in einer zentralen Datenverwaltung können für jedes Betriebsmittel der aktuelle Standort und der bisherige Materialfluss dokumentiert werden.

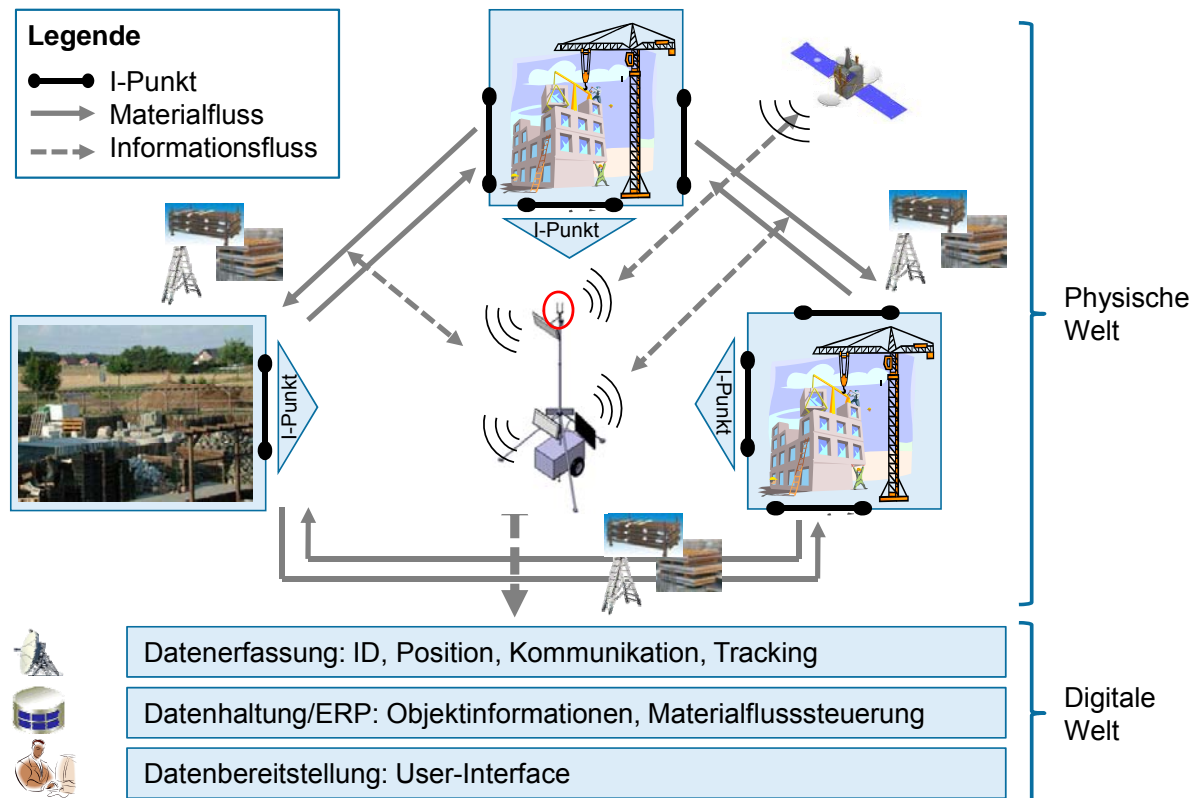


Abbildung 4-2: Systemarchitektur

Obige Abbildung stellt die Systemarchitektur als Verknüpfung zwischen physischer Welt der Betriebsmittel und digitaler Welt dar. Dabei unterscheidet sich das dargestellte System trotz einiger Parallelen vom Ansatz des Ubiquitous Computing nach [Wei-91]. Zwar werden die Betriebsmittel mit Transpondern und damit mit einer eigenen ID sowie einem Datenspeicher ausgestattet, für die Kommunikation untereinander oder zu zentralen Verwaltungssystemen sowie zur Lokalisierung benötigen sie jedoch ein intelligentes Gesamtsystem mit entsprechenden skizzierten Funktionalitäten. Beispiele hierfür sind in Kapitel 6 beschrieben. Die gekennzeichneten Betriebsmittel selbst stellen somit keine autonomen Objekte mit dezentraler Intelligenz dar. Zudem erfordert der Grundgedanke des Ubiquitous Computing eine zunehmende Verkleinerung von Objekten durch die Verteilung von Funktionalitäten.

Größere Analogien bestehen hingegen zum Ansatz des „Internet der Dinge“ [Gün-08b], wonach Intelligenz dorthin verlagert wird, wo sie nötig ist, bspw. in Form intelligenter Identifikationspunkt-konzepte. Technologien wie TCP/IP, Embedded Systems, Agentensysteme oder RFID ermöglichen autonome Einheiten, die logistische Funktionen im Materialfluss wahrnehmen können. Die Grundlage hierfür ist die konsequente Modularisierung von Mechanik und Steuerungslogik.

Zwar können einzelne Betriebsmittel auch mit Hilfe anderer Technologien verfolgt werden. Große Baumaschinen oder LKW werden auch in der Bauindustrie zunehmend mit GPS-Geräten ausgerüstet und verfolgt. Jedoch sind diese Geräte für einen flächendeckenden Einsatz bei einem Großteil der Betriebsmittel aus Kosten- und Machbarkeitsgründen nicht geeignet. Auch RTLS (Real Time Location Systems) auf Basis aktiver RFID-Technologie im WLAN-Bereich sind für einen Einsatz in der Bauindustrie kaum geeignet. Zum Einen haben sie einen direkten Kostennachteil verglichen mit passiven Systemen. Zum Anderen haben Versuche am Lehrstuhl fml eine ungenügende Genauigkeit von unter 10 Metern im Outdoor-Einsatz mit deutlichen Schwankungen ergeben. Zudem erfordern derartige Lösungen ein dichtes Netz von Sende- und Empfangsstationen, wofür die Infrastruktur nicht vorhanden ist. Auch der Aufwand für die Kalibrierung eines solchen Systems ist insbesondere bei einem variablen Umfeld, das sich mit dem Baufortschritt ändert, nicht vertretbar.

4.2 Technologieauswahl

Die Betriebsmittel werden mit der RFID-Technologie gekennzeichnet, die im Vergleich zu anderen AutoID-Systemen deutliche Vorteile beim Einsatz in der Bauindustrie bietet. Weiterhin werden verschiedene Kommunikationstechnologien einander gegenüber gestellt und bewertet.

4.2.1 Automatische Identifikationssysteme (AutoID)

Mit AutoID-Systemen ist es möglich, Objekte automatisch zu identifizieren und „maschinenlesbar“ zu machen [Ker-06]. Nachstehende Abbildung gibt einen Überblick über gängige Auto-ID-Systeme. Im Folgenden wird auf die für eine Anwendung in der Bauindustrie geeigneten Technologien kurz eingegangen.

Die Klarschriftlesung (optical character recognition, OCR) ermöglicht die automatische Erfassung von auch visuell für den Menschen lesbarer Schrift. Zum Einsatz kommen solche Systeme hauptsächlich im Dienstleistungs-, Verwaltungs- und Finanzbereich und dort vor allem bei Überweisungsträgern und Schecks. Auch in der Bauindustrie werden für Inventurzwecke oder zur Eigentumskennzeichnung häufig Nummern oder Farbcodierungen auf Betriebsmittel aufgebracht. Den Vorteilen einer hohen Informationsdichte und möglichen visuellen Erfassung stehen jedoch hohe

Kosten und die Notwendigkeit komplexer Lesegeräte gegenüber [Fin-02], [Ker-06]. Auch sind derartige Geräte durch die hohe Verschmutzung der Betriebsmittel während des Einsatzes für eine Anwendung in der Baubranche nicht geeignet.

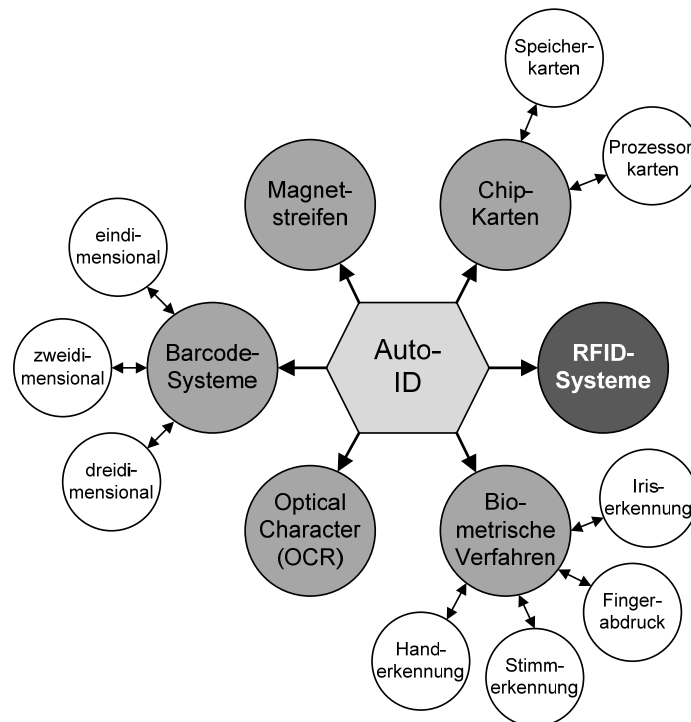


Abbildung 4-3: Überblick ausgewählter Auto-ID-Systeme [Fin-02]

Bei Magnetstreifenkarten werden verschiedene magnetisierte Teile eines Magnetstreifens durch direkten Kontakt an einem Leser erfasst. Typische Anwendungen sind in Papierform in Parkhäusern, als Plastikkarten bei Kreditkarten oder in Hotels als Schlüsselerersatz. Nachteile ergeben sich jedoch aus der leichten Kopier- und Überschreibbarkeit sowie der schwankenden Funktionssicherheit [Ker-06].

Chip-Karten werden in Speicher- und Prozessorkarten unterschieden. Speicherkarten sind vorwiegend zum Speichern von Daten, bspw. bei Versichertenkarten der gesetzlichen Krankenversicherung, konzipiert, wenn keine große Flexibilität erforderlich ist. Im Gegensatz dazu sind Prozessorkarten auf Grund ihres Mikroprozessors flexibel programmier- und anpassungsfähig. Auch können verschiedene Anwendungen auf einer Karte hinterlegt, aufgerufen und ausgeführt werden [Fin-02]. Diese Art von Chipkarten wird insbesondere bei „sicherheitssensitiven Anwendungen“ verwendet, wie bspw. bei GSM-Handys oder neueren EC-Karten. Durch den Passwortgeschützten Zugriff können Chip-Karten nur vom Eigentümer verwendet werden. Jedoch kann die Funktionssicherheit durch Korrosion, Verschmutzung und Abnutzung schnell beeinträchtigt werden [Fin-02].

Das am häufigsten, mitunter auch in der Bauindustrie eingesetzte Auto-ID-System ist der Bar- oder Strichcode. Dieser besteht aus parallel angeordneten, unterschiedlich breiten Strichen (engl. Bars) und Trennlücken, deren Abfolge durch einen Laser abgetastet und digitalisiert wird. Neben diesen klassischen eindimensionalen Barcodes gibt es durch neuere Entwicklungen auch mehrdimensionale Ausführungen wie Stapel-, Matrix- oder Farbcodes. Die mehrdimensionalen Vertreter sind neben dem Auslesen durch einen Laser auch für die Erfassung durch Kameras geeignet. Allgemein werden als Lesegeräte handgeführte Stifte und mobile oder stationäre Scanner eingesetzt. Am gebräuchlichsten ist der EAN-Code (European Article Number), der insbesondere im Handel eine wichtige Rolle spielt und bei der Entwicklung des EPC (siehe Kapitel 4.2.2) als Vorbild diente [DAT-09]. Vorteile sind die kostengünstige Herstellung, die Funktionssicherheit und die einfache Applizierbarkeit. Nachteile ergeben sich aus dem erforderlichen Sichtkontakt, der begrenzten Lesereichweite und insbesondere aus der Empfindlichkeit gegenüber Verschmutzung, Beschädigung oder Zerstörung [Fin-02].

Im Gegensatz zu anderen Auto-ID-Systemen kann mit RFID ein Objekt ohne direkten Sichtkontakt und damit ohne menschliche Interaktion identifiziert werden, da die zum Auslesen verwendeten Radiowellen durch viele Objekte und deren Verpackungen hindurch gehen. Dadurch wird der Medienbruch zwischen der Objekt- und Informationsebene stark reduziert und an manchen Stellen sogar aufgehoben.

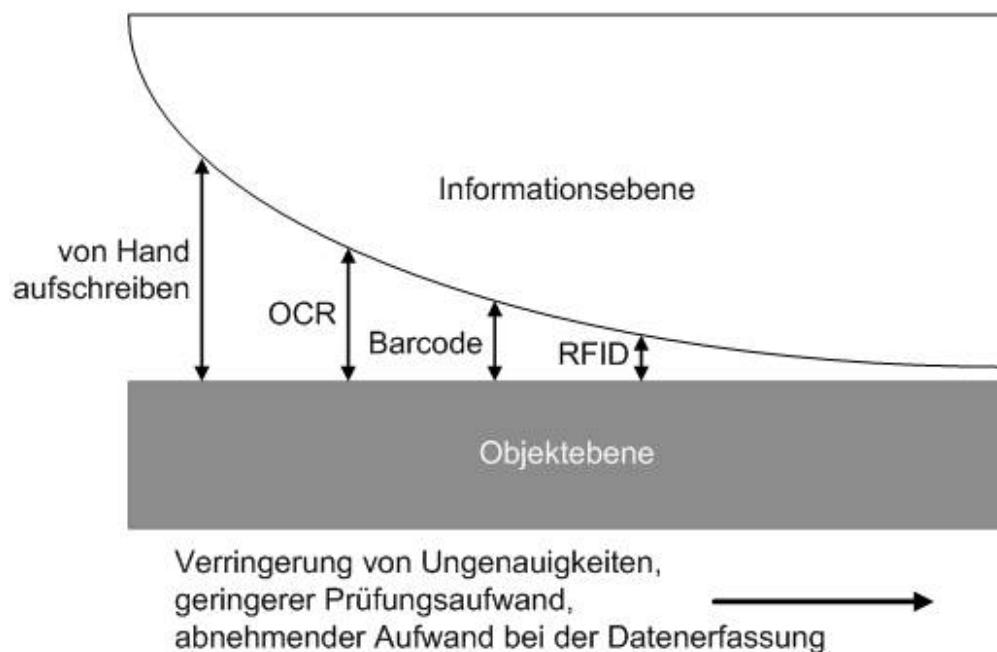


Abbildung 4-4: Medienbruch zwischen Objekt- und Informationsebene [Fle-04]

4.2.2 Einsatz von RFID als Kennzeichnungstechnologie

Radio Frequency Identification (RFID) bezeichnet eine Auto-Identifikations-Methode, um Daten berührungslos mittels magnetischer (Wechsel-)Felder oder elektromagnetischer Wellen lesen und schreiben zu können.

Die Ursprünge dieser Technologie liegen in Anwendungen des US-amerikanischen Militärs in den 1960er Jahren. Die zivile Nutzung fand in den 1970er und 1980er Jahren zunächst in Form elektronischer Warensicherungssysteme (engl. Electronic Article Surveillance, EAS) sowie in der Agrar- und Verkehrstechnik statt. Später folgten Zugangskontrollsysteme sowie Anwendungen in der Automobilindustrie zur Ortung von Chassis in der Produktion, in der Textilwirtschaft, Veranstaltungsbranche, im Einzelhandel und der Pharmaindustrie [Ker-06], [Glo-06]. Während die ersten Systeme niederfrequente Komponenten zur reinen Identifikation benutzten, stieg mit zunehmender Entwicklung auch die Arbeitsfrequenz. Zwar finden auch heute noch zumeist niederfrequente LF- und HF-Systeme Anwendung, jedoch setzen sich hochfrequente UHF-Systeme zunehmend am Markt und insbesondere in der Logistik durch.

Komponenten

Ein RFID-System besteht im Wesentlichen aus drei Komponenten (siehe Abbildung 4-5). Die eigentliche Kommunikation findet zwischen dem Schreib-/Lesegerät (SLG), welches über eine Antenne als Koppellement ein (elektro-)magnetisches Feld aussendet, und dem Transponder statt, der die Energie des Feldes zur Übertragung der Daten nutzt. Über eine Software-Schnittstelle kann das SLG angesprochen werden, um den Transponder zu beschreiben oder auszulesen.

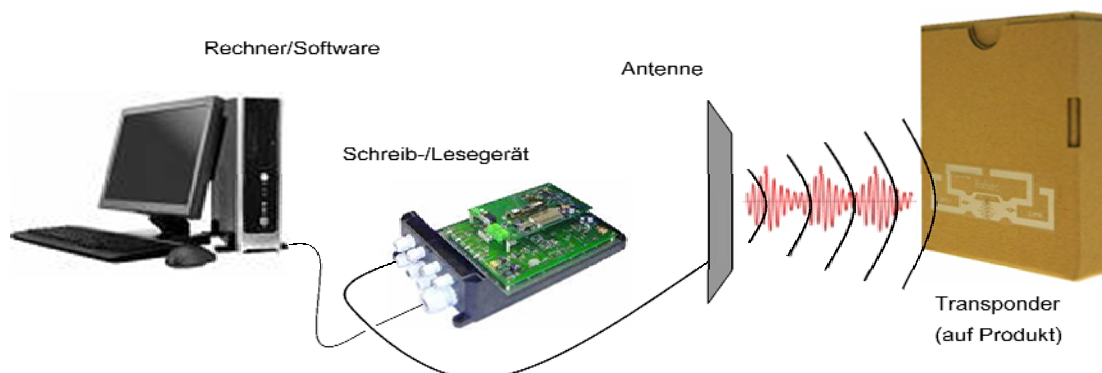


Abbildung 4-5: Komponenten eines RFID-Systems

Ein Transponder setzt sich aus einem Mikrochip als integrierte Schaltung (IC), welcher alle Prozesse der Datenübertragung steuert und als Speicher fungiert, sowie einer Antenne als Kopplungseinheit zusammen. Im LF- und HF-Bereich werden Antennen in Spulenform, im UHF- und Mikrowellenbereich Dipolantennen eingesetzt. Zudem können verschiedene Bauformen unterschieden werden. Smart Labels bestehen aus einer Papier- oder Kunststoffschicht, auf die die Antenne und der Chip appliziert und eine Klebschicht aufgebracht werden. Bei Hardtags werden Antenne und IC in Kunststoff eingegossen bzw. in einem Kunststoffgehäuse verklebt, was den Tag besser vor Umwelteinflüssen schützt. Weitere Bauformen sind beispielsweise Glaskapseln und kontaktlose Chipkarten.

Bei SLG wird zwischen Systemen unterschieden, die entweder die Antenne in das Gehäuse des Readers integrieren oder eine abgesetzte, über ein Koaxialkabel angeschlossene Antenne verwenden. Integrierte Systeme lassen sich zielgerichteter betreiben, da bspw. die tatsächlich abgestrahlte Sendeleistung der über die Software eingestellten Leistung entspricht. Dahingegen muss bei abgesetzten Antennen vor einer Inbetriebnahme das Koaxialkabel wegen der internen Widerstände vermessen werden. Jedoch können an moderne SLG in der Regel mehrere abgesetzte Antennen angeschlossen werden, wodurch diese Systeme deutlich günstiger sind.

Funktionsweise

Bei der Kommunikation zwischen SLG und Transponder ist zwischen induktiver und elektromagnetischer Kopplung zu unterscheiden.

Bei der induktiven Kopplung von LF- und HF-Systemen findet die Kommunikation zwischen SLG und Transponder über ein magnetisches Feld, vergleichbar zur Energieübertragung in einem Transformator, statt.

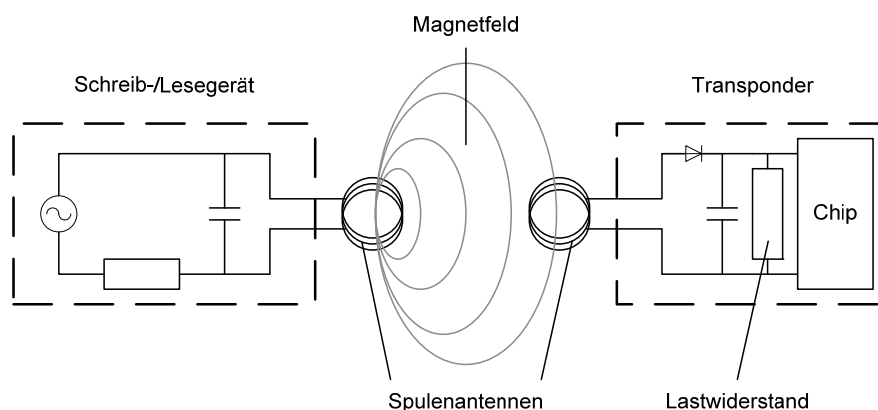


Abbildung 4-6: Prinzipskizze zur induktiven Kopplung [Gün-08c]

Zunächst erzeugt das SLG ein magnetisches Wechselfeld, indem die stromdurchflossene Leiterschleife als Antenne zusammen mit dem Kondensator einen Schwingkreis bildet. Das Wechselfeld induziert in der Spule des Transponders eine Wechselspannung, die, nachdem sie durch eine Diode gleichgerichtet wurde, den Mikrochip mit Energie versorgt. Zur Verstärkung der Spannung bildet, wie beim SLG, ein Kondensator mit der Spule einen Schwingkreis. Um größtmögliche Reichweiten zu erhalten, ist dessen Resonanzfrequenz auf die Sendefrequenz des SLG abgestimmt. Personen oder Objekte, die sich in der Nähe befinden, können die Frequenz jedoch beeinflussen.

Neben der Frequenzabstimmung hängt die induzierte Spannung auch von der Windungszahl ab. Um bei gleicher magnetischer Feldstärke eine vergleichbare Spannung zu erhalten, sind bei LF-Systemen zehnmal so viele Windungen erforderlich wie bei HF-Systemen.

Eine weitere Begrenzung der Reichweite geht vom magnetischen Feld selbst aus. Das Magnetfeld herrscht direkt an der Antenne vor, geht aber ab einem gewissen Abstand in Abhängigkeit der Wellenlänge der Arbeitsfrequenz kontinuierlich in ein elektromagnetisches Feld über. Aus diesem Grund wird das magnetische Feld auch als Nahfeld und das elektromagnetische Feld als Fernfeld bezeichnet. Bspw. ergibt sich bei einer Frequenz von 13,56 MHz eine theoretische Reichweite des Fernfeldes von 3,52 m, die jedoch in der Praxis nicht zu erreichen ist, da ab einer gewissen Entfernung die induzierte Spannung zu klein ist [Fin-02].

Im Gegensatz zur induktiven Kopplung werden die Daten bei der elektromagnetischen Kopplung von UHF-Systemen durch eine elektromagnetische Welle im Fernfeld übertragen.

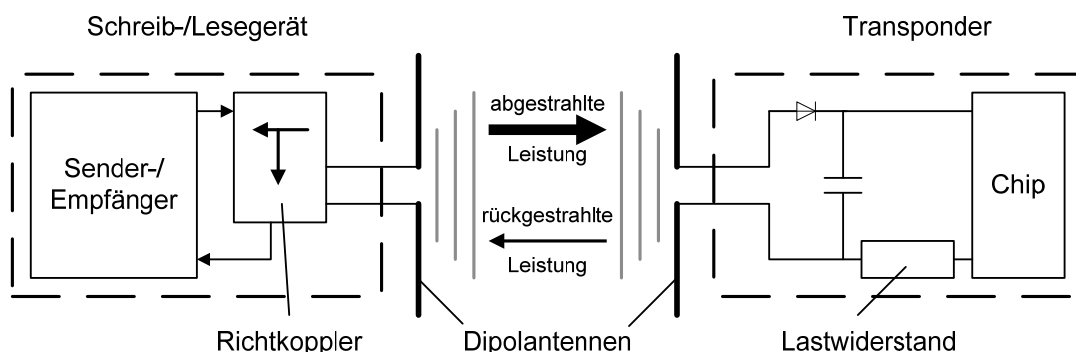


Abbildung 4-7: Prinzipskizze zur elektromagnetischen Kopplung [Gün-08c]

An der Dipolantenne des SLG wird ein elektromagnetisches Feld in den Raum abgestrahlt, das im Transponder eine Wechsellspannung erzeugt, die nach Gleichrichtung den Chip mit Energie versorgt. Nach dem Prinzip der Backscatterkopplung werden die elektromagnetischen Wellen an der Dipolantenne des Transponders reflektiert und die Daten durch Modulation des Rückstrahlquerschnittes übertragen. Dabei werden die Daten als digitales Signal codiert, welches einen Lastwiderstand schaltet. Die Veränderung des Widerstands variiert den Rückstrahlquerschnitt der reflektierten elektromagnetischen Welle. Um die ankommende Welle von der ausgesendeten unterscheiden zu können, wird ein Richtkoppler vor den Empfänger geschaltet.

Unterscheidungsmerkmale

Entscheidend für die Funktionsweise und Anwendbarkeit eines RFID-Systems ist dessen Arbeitsfrequenz. Abhängig davon ergeben sich verschiedene Merkmale wie Datenübertragungsraten, Mehrfacherfassung von Transpondern (Pulkfähigkeit) oder mögliche Reichweite. Prinzipiell ist eine Unterteilung in die Bereiche Low Frequency (LF), High Frequency (HF), Ultra High Frequency (UHF) und Mikrowelle (SHF) möglich, die sich weltweit unterscheiden.

Arbeitsfrequenz Europa	125 kHz (LF)	13,56 MHz (HF)	868 MHz (UHF)	2,45 GHz (SHF)
Frequenzbereich	100 - 135 kHz	3 - 30 MHz	433 - 960 MHz	2,4 - 5,8 GHz
Lese-/Schreibabstand	Ca. 0,15 m	Ca. 1,5 m	Ca. 5 m (passiv) Ca. 100 m (aktiv)	Ca. 5 m (passiv) Ca. 300 m (passiv)
Datenübertragungsraten	Niedrig	Mittel	Hoch	Hoch
Speicherkapazität	Mehrere 100 Byte	Mehrere 100 Byte	Bis 100 Byte	Wenige Byte
Betriebsart	Passiv	Passiv	Passiv / aktiv	Aktiv
Standardisierung	Hoch	Hoch	Mittel bis hoch	Niedrig
Pulkfähigkeit	Nein	Ja	Ja	Ja
Materialdurchdringung	Hoch	Hoch	Mittel	Mittel

Tabelle 4-2: Eigenschaften von RFID-Systemen

Eine direkte Verknüpfung besteht zwischen Arbeitsfrequenz und möglichem Lese-/Schreibabstand zwischen SLG und Transponder, der sich in Short- (einige cm), Mid- (bis 40 cm) und Long-Range (bis 9 m) einteilen lässt [RFI-09c]. Als Faustregel gilt, je höher die Frequenz, desto größer ist der mögliche Abstand, wobei für das Beschreiben eines Transponders mehr Energie benötigt wird und daher der Schreibabstand kleiner ist, als der Abstand für das reine Auslesen des Datenträgers. Des Weiteren hängt die mögliche Reichweite von vielen Faktoren wie der Leistungsaufnahme des

Mikro-Chips, der Ausrichtung des Transponders im abgestrahlten Feld, dem gewählten Applikationsmaterial oder der Umgebung ab (siehe Tabelle 4-2).

Direkt zusammen zu betrachten sind die Datenübertragungsrate und die Speicherkapazität eines Transponders. Die Datenübertragungsrate wird üblicherweise in Bit pro Sekunde angegeben und bezeichnet die zu übertragende Datenmenge pro Zeiteinheit, wobei zwischen Lese- und Schreibvorgängen zu unterscheiden ist. Für Anwendungen mit einer großen Anzahl gleichzeitig zu erfassender Transponder bzw. hohen Speichermengen sind für die Prozesssicherheit Arbeitsfrequenzen und Transponder mit ausreichenden Übertragungsraten sowie Erfassungszeiten vorzusehen.

Ein weiteres Merkmal ist der Zugriff des SLG auf den Speicher des Transponders. Read-Only-Transponder (RO) werden einmalig programmiert und können folglich nur ausgelesen werden, bspw. zur Sicherstellung der Originalität. Write-Once-Read-Many-Transponder (WORM) können dagegen einmal beschrieben und beliebig oft gelesen werden. Die größte Flexibilität weisen Read-Write-Transponder (RW) auf, die beliebig oft beschrieben und ausgelesen werden können.

Hinsichtlich der Betriebsart können Transponder in aktive und passive Systeme eingeteilt werden. Aktive Transponder besitzen eine eigene Energiequelle, um größere Reichweiten und Speicherkapazitäten zu erlangen. Oft werden sie in Verbindung mit einer Sensorik, bspw. zur Temperaturmessung in geschlossenen Kühlketten, verwendet. In der Baubranche ermöglichen aktive Transponder eine Überwachung der Betonaushärtung [GER-09a]. Im Gegensatz dazu sind passive Systeme zur Datenübertragung auf die Energie des magnetischen oder elektromagnetischen Feldes angewiesen. Semi-aktive Systeme verfügen ebenfalls über eine Energiequelle, die sie jedoch nur zur Versorgung des Chips verwenden, um größere Speicherkapazitäten zu ermöglichen. Für die Datenübertragung verwenden sie wie die passiven Transponder das vom SLG ausgesendete Feld.

Die Pulkfähigkeit eines RFID-Systems bezeichnet dessen Eigenschaft, mehrere Transponder während eines Zeitintervalls parallel auslesen und beschreiben zu können. Dabei kommen sogenannte Antikollisions- oder Vielfachzugriffsverfahren zum Einsatz, die das selektive Auslesen einzelner Transponder ermöglichen. Zumeist werden in der Praxis probabilistische oder deterministische Zeitmultiplexverfahren verwendet.

Standards

Im Laufe der Anwendung von RFID wurden verschiedene Standards definiert, die die Schnittstelle zwischen Transponder und SLG beschreiben, um eine Kommunikation von Geräten unterschiedlicher Hersteller zu gewährleisten. Neben Trägerfrequenz, Codierung der Information, Modulation und Datenübertragungsraten beschreiben sie Vielfachzugriffsverfahren und Befehlsumfänge zur Steuerung der SLG. Die wichtigsten Institutionen sind das Joint Technical Committee (JTC1), die International Standards Organisation (ISO) und EPCglobal.

Zu den wichtigsten Standards zählen für HF-Systeme ISO 15693 und ISO 14443, welche das Frequenzband, die zulässige Feldstärke und die erforderliche Datenübertragungsrate beschreiben. ISO 18000 definiert in verschiedenen Teilen die Kommunikationsprotokolle für verschiedene RFID-Frequenzen. Darüber hinaus gibt es mehrere Normen zur Überprüfung der Datenübertragung.

Speziell auf die Spezifikation des Transponder-Protokolls im UHF-Bereich geht die Standardisierung nach EPCglobal ein. Weitere Standards regeln die Interpretierbarkeit des Dateninhalts entlang der Wertschöpfungskette sowie die unternehmensinterne Infrastruktur durch Standardisierung der Schnittstellen der Hard- und Softwarekomponenten.

Kernstück des EPC-Standards ist der bereits erwähnte EPC mit einer Länge von 96 Bit, der ursprünglich am Massachusetts Institute of Technology (MIT) entwickelt wurde und von EPCglobal fortgeführt wird. Er basiert auf dem EAN-Code des Lebensmittelhandels und ermöglicht eine weltweit eindeutige Identifikation einzelner Objekte anhand einer Ziffernfolge [Gil-07].

Header	Filter	Partition	EPC-Manager	Objekt-Klasse	Seriennummer
8 bits	3 bits	3 bits	20-40 bits	24-4 bits	38 bits
30	F	5	05D7DC	04004	00000001

Abbildung 4-8: Aufbau des Elektronischen Productcodes (EPC)

Dargestellt ist ein EPC des Lehrstuhls fml nach dem Standard EPCglobal Class1 Generation2 mit 96 Bit. Der Header klassifiziert EPC-Version und Informationsverschlüsselung. Der Filter dient der schnellen Bestimmung von Einheiten wie Paletten oder Produkten. Die Partition gibt Anfang und Ende von EPC-Manger und Objekt-Klasse an, die eine verschiedene Länge haben können. Der EPC-Manager enthält

die eindeutige Kennzeichnungsnummer des Nummerngebers. Objekt-Klasse und Seriennummer kennzeichnen eindeutig ein Produkt [GSG-09].

Für die Dokumentation von Warenbewegungen in der Handelslogistikkette wurde von EPCglobal ein Netzwerk in Anlehnung an das Internet umgesetzt.

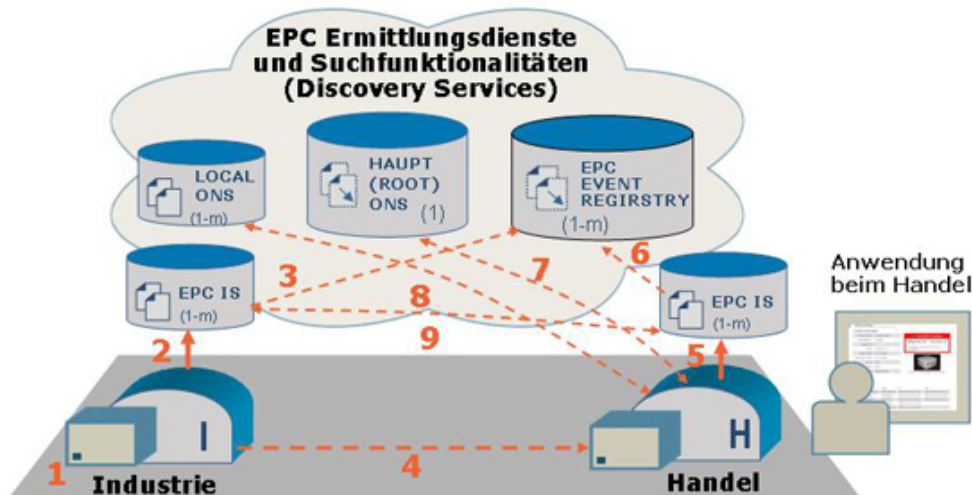


Abbildung 4-9: EPCglobal Netzwerk [EPC-09]

Im jeweiligen EPC-Informationsservice (EPC IS) werden Produktdaten zu einem EPC gespeichert. Der EPC IS meldet dem Netzwerk den aktuellen Status eines EPC, bspw. beim Verlassen der Fabrik oder Eintreffen im Handel. Der Ort des EPC IS wird in der Event Registry hinterlegt. Wo sich Informationen zu einem Objekt befinden, ist im Object Name Server (ONS) hinterlegt. Bei einer Anfrage zu Produktinformationen anhand des EPC liefert der ONS somit dem Anfragenden die Adresse des betreffenden EPC IS zurück, der die Produktinformationen gespeichert hat. Anhand der dargestellten Netzwerkstruktur können Zugriffsrechte und zulässige Informationstiefen einfach geregelt werden.

Einflussfaktoren

Bei der Kennzeichnung von metallischen Körpern mittels RFID-Technologie treten durch Absorption und Reflexion zwei Probleme auf, die die Kommunikation zwischen SLG und Transponder empfindlich stören können.

Absorption spielt hauptsächlich bei der induktiven Kopplung eine Rolle. Der magnetische Fluss durch die Metalloberfläche induziert darin Wirbelströme, die das magnetische Feld stark dämpfen. Dieses Phänomen kann durch die Lenz'sche Regel erklärt werden, welche besagt, dass induzierte Ströme der Ursache, d. h. dem ausgesand-

ten Feld des SLG, entgegenwirken. Die dadurch hervorgerufene Dämpfung macht eine Kommunikation von Transponder und Schreib-/Lesegerät unmöglich.

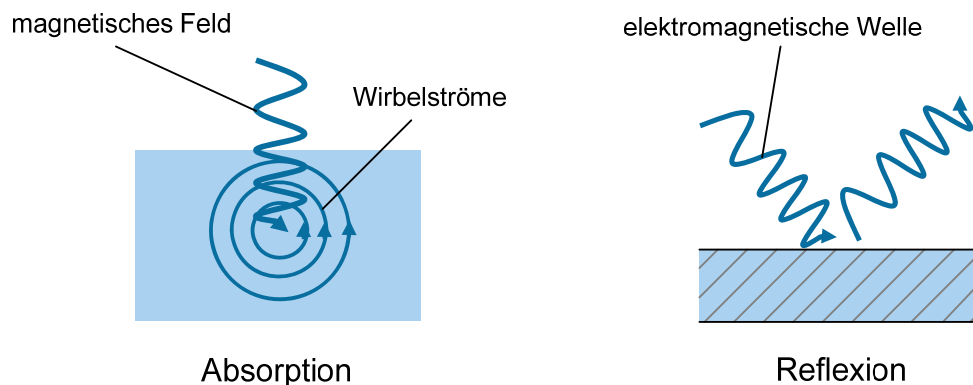


Abbildung 4-10: Absorption und Reflexion in metallischer Umgebung

Im UHF- und Mikrowellenbereich wird die auftreffende elektromagnetische Welle durch die hohe Dielektrizitätskonstante des Metalls an der Metalloberfläche reflektiert. Das Feld wird direkt auf dem Metall ausgelöscht, wodurch die Auslesung eines direkt auf der Oberfläche angebrachten Transponders nicht möglich ist.

Weitere Effekte in Folge der Reflexion bestehen in der Verstärkung oder Auslöschung elektromagnetischer Felder. Die elektromagnetischen Wellen werden an Decke, Boden, Wänden und Objekten im Raum reflektiert.

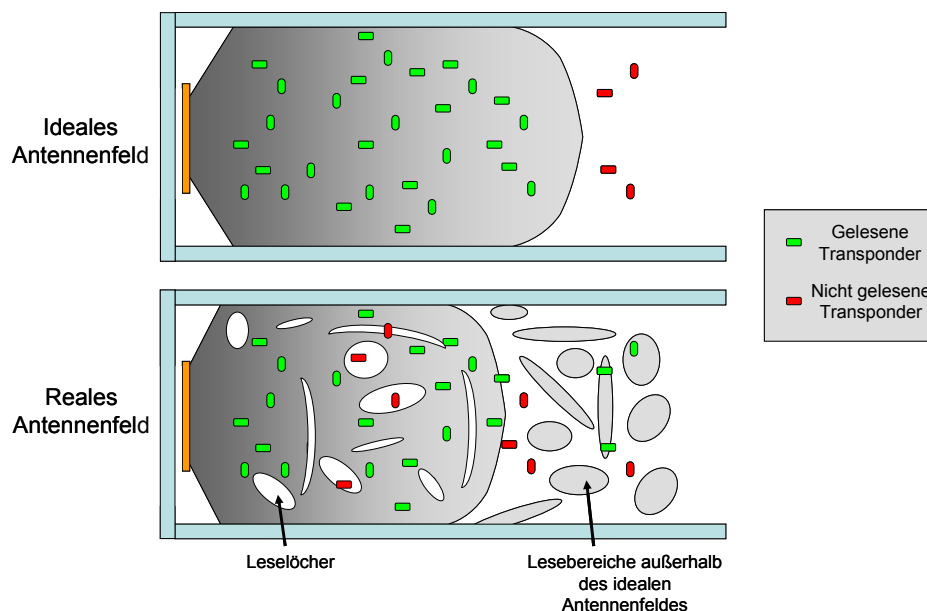


Abbildung 4-11: Leselöcher und Überreichweiten durch Interferenzen [Gün-08c]

Durch lokale Interferenzen kann es zu Überreichweiten oder Leselöchern kommen. Während Transponder in einem Leseloch, obwohl sie sich innerhalb des elektromag-

netischen Feldes befinden, nicht auslesbar sind, ist ein Transponder bei lokalen Verstärkungen des Feldes außerhalb der Reichweite der Antenne identifizierbar.

Ein großer Vorteil von RFID gegenüber anderen Auto-ID-Technologien ist die Möglichkeit der Erfassung ohne Sichtkontakt durch die Durchdringung verschiedenster Materialien. Diese ist jedoch von der spezifischen Absorptionsrate des Objekts abhängig. Flüssigkeiten absorbieren auf Grund ihrer hohen elektrischen Leitfähigkeit elektromagnetische Felder, je höher deren Arbeitsfrequenz ist. So werden UHF- und insbesondere SHF-Felder wegen der Nähe zur Resonanzfrequenz von Wasser in diesem sehr stark gedämpft. Eine Kommunikation ist dadurch nur eingeschränkt möglich.

Zusammenfassung

Durch den Einsatz von RFID bieten sich gegenüber anderen Auto-ID-Technologien insbesondere im Umfeld der Bauindustrie große Vorteile. Die mitunter starke Verschmutzung der Betriebsmittel und der angebrachten Kennzeichnungsmedien bspw. durch Beton, Mörtel oder Schlamm bringt Barcode- und Klarschrift-Lösungen schnell an ihre Grenzen. RFID hingegen benötigt für die Erfassung der mit den Betriebsmitteln verknüpften Transponder keinen direkten Sichtkontakt. Zudem erfordern optische Erkennungssysteme aufwändige, komplexe Kamerasysteme. Des Weiteren ist RFID im Gegensatz zum Barcode den Anforderungen des Bauumfelds und möglichen resultierenden Beschädigungen, die eine Identifizierung des Objekts unmöglich machen, deutlich besser gewachsen.

	Pulk	Reichweite	Datenrate	Speicher	Flüssigkeit	Metall	Robustheit	Kosten	Summe	Gewichtete Bewertung	Rang
Gewichtung	6	6	6	3	9	9	9	3			
LF	0	18	18	27	81	27	81	27	279	0,22	3
HF	36	36	36	18	81	27	54	18	306	0,25	2
UHF (passiv)	54	54	54	9	54	54	81	18	378	0,30	1
SHF (aktiv)	36	54	54	18	27	54	27	9	279	0,22	3
Summe									1242	1,00	

Tabelle 4-3: Gewichtete Punktbewertung der Arbeitsfrequenzen

Mögliche robuste Transponder-Konzepte sind bereits am Markt vorhanden. Weitere sinnvolle Anbringungs- und Integrationskonzepte wurden im Rahmen des For-

schungsprojekts entwickelt (siehe Kapitel 5.2). Darüber hinaus lassen sich mit RFID in Abhängigkeit von der Arbeitsfrequenz Betriebsmittel auch in einiger Entfernung im Pulk erfassen und dokumentieren.

Als am besten für die Umsetzung eines automatisierten Identifikationspunkt-Konzepts ist als Arbeitsfrequenz UHF geeignet (siehe Tabelle 4-3). Zwar sind LF und HF unempfindlich gegenüber dem Einfluss von Flüssigkeiten, jedoch erfordern sie für die direkte Anbringung auf oder in Metall relativ aufwändige Lösungen, bspw. durch Ferritschichten oder andere Absorbermaterialien. Auch unterliegen sie im direkten Vergleich hinsichtlich Pulkerfassung und der damit verbundenen Datenrate.

SHF-Systeme sind am Markt kaum verbreitet. Zumeist werden sie für die Lokalisierung von Objekten als sogenannte RTLS-Systeme (Real Time Location System) eingesetzt. Die hierfür erforderliche eigene Energieversorgung der aktiven Transponder wirkt sich negativ auf die Robustheit und die Kosten aus. Zudem haben hohe Arbeitsfrequenzen im Gigahertz-Bereich Nachteile bei Flüssigkeiten.

4.2.3 Auswahl geeigneter Datenübertragungstechnologien

Um den Materialfluss der Betriebsmittel durchgängig in einem zentralen Server-System dokumentieren zu können, ist eine geeignete Datenübertragungstechnologie erforderlich. Auf Grund der größeren Entfernungen für die Kommunikation von Event-Daten bei der Erfassung eines Betriebsmittels auf der Baustelle müssen kabellose, robuste Technologien mit ausreichender Reichweite verwendet werden. Ein wichtiges Kriterium ist auch das Zeitintervall, innerhalb dessen die Daten nach Eintritt des Events gesendet werden. Zwar ist für die Statusdokumentation eines Betriebsmittels keine wirkliche Echtzeitfähigkeit erforderlich. Jedoch muss gewährleistet sein, dass die Daten innerhalb eines definierten Zeitfensters sicher und vollständig übermittelt werden.

Drahtlose lokale Netzwerke (WLAN) sind heute in vielen Unternehmen selbstverständlich. Auch auf größeren innerstädtischen Baustellen finden sich zunehmend geeignete Netzwerke. Einzelne Knoten (Clients) können über im Umfeld befindliche Basisstationen, sogenannte Access-Points, Datenpakete mit dem Internet austauschen. Zur Verfügung stehen zwei Blöcke des ISM-Bandes zwischen 2,4 GHz bis 2,4835 GHz und 5,15 GHz bis 5,725 GHz. Im praktischen Betrieb ergeben sich hieraus nach IEEE-802.11n realistische Datenübertragungsraten mit bis zu 120 Mbit/s

[Ahl-09]. Während mit handelsüblichen WLAN-Stationen lediglich Reichweiten zwischen 30 und 100 Metern möglich sind, können mit externen Rundstrahlantennen 100 bis 300 Meter und mit Richtfunkantennen sogar mehrere Kilometer bei quasioptischer Sicht realisiert werden. Auch kann der Sende-/Empfangsbereich durch Signalverstärker oder Routing erweitert werden. Probleme entstehen bei WLAN jedoch durch die Felddämpfung bei elektrisch leitfähigen Materialien wie Flüssigkeiten oder die Änderung der Richtcharakteristik der Antennen in der Nähe von Metall.

Zwischen 2,402 GHz und 2,48 GHz und damit auf demselben lizenzfreien ISM-Frequenzband wie WLAN arbeitet auch Bluetooth. Konzipiert wurde die Technologie für den Datenaustausch zwischen Mobiltelefonen, PDAs oder zwischen Computer und Peripherie über kurze Distanz. Seit der Version 2.0 werden Übertragungsraten von 2,1 Mbit/s erreicht, mit Version 3.0 ist eine Highspeed-Übertragung in Arbeit. Mit einer maximalen Sendeleistung von 20 dBm werden Reichweiten bis 100 Meter erzielt. Problematisch ist die Kommunikationssicherheit zu beurteilen, da der Verbindungsschlüssel einfach abgehört werden kann [Sha-09]. Darüber hinaus ergeben sich durch die Nähe zu WLAN ähnliche Einschränkungen für die Kommunikation.

Lediglich für die Kommunikation über kurze Entfernungen eignet sich Infrarot. Nach Spezifikationen der Infrared Data Association (IrDA) arbeiten Infrarot-Schnittstellen bei einer Wellenlänge zwischen 850 und 900 Nanometer, was einer Frequenz zwischen 333,1 THz und 352,7 THz entspricht. Nach IrDA 1.3 sind Übertragungsraten von bis zu 16 Mbit/s möglich.

Mit Short Message Services (SMS) können von jedem Handy aus Textnachrichten verschickt werden. Dabei hat eine SMS eine Länge von 160 Zeichen oder 140 Byte. Nach aktuellen Rundfunkgebühren ergeben sich somit bei SMS-Preisen zwischen 5 und 10 Cent Kosten pro Megabyte zwischen 350,- und 700,- €.

Eine weitere Möglichkeit der kabellosen Datenübertragung bieten die Mobilfunkstandards GSM (Global System for Mobile Communications), GPRS (General Packet Radio Service) und UMTS (Universal Mobile Telecommunications System). Neben der Telefonie können Daten paketweise übertragen werden. Ein Vorteil sind die verschiedenen Sicherheitsfunktionen, die in den Standards implementiert sind. Bei den verwendeten Frequenzen wird zwischen Up- und Downlink unterschieden. Für GSM stehen in Deutschland zwei Frequenzbänder zwischen 870 MHz und 960 MHz sowie 1,71 GHz und 1,88 GHz bei Übertragungsraten von knapp 10 kbit/s zur Verfügung. GPRS bringt als Weiterentwicklung Übertragungsraten von maximal 171,2 kbit/s.

UMTS als dritte Generation realisiert hingegen Datenraten von bis zu 7,2 Mbit/s bei HSDPA (High Speed Downlink Packet Access). Für den Uplink wird der Frequenzbereich zwischen 1,92 GHz und 1,98 GHz genutzt, für den Downlink 2,11 GHz bis 2,17 GHz. Dadurch ist die Reichweite entscheidend vom Gelände und der Bebauung abhängig und beträgt im Freien mehrere Kilometer, während sie in der Stadt auf wenige 100 Meter reduziert ist. Die Kommunikation ist damit abhängig von der Dichte bzw. Erreichbarkeit umliegender Funkstationen.

	Prozesssicherheit	Reichweite	Datenrate	Kosten	Summe	Gewichtete Punktebewertung	Rang
Gewichtung	9	6	6	6			
WLAN	6	6	9	9	198	0,20	2
Bluetooth	6	3	6	9	162	0,16	4
Infrarot	3	3	6	6	117	0,12	6
SMS	6	9	3	3	144	0,14	5
GSM/GPRS	9	9	3	6	189	0,19	3
UMTS	9	9	6	6	207	0,20	1
Summe					1017	1,01	

Tabelle 4-4: Gewichtete Punktebewertung der Datenübertragungstechnologien

Die geeignetsten Technologien für die Übertragung der Daten zwischen den Identifikationspunkten und der zentralen Datenverwaltung sind Mobilfunk sowie WLAN. Der hauptsächliche Vorteil von Mobilfunk ist die Dichte der Basisstationen und damit die Kommunikations- bzw. Prozesssicherheit. Dahingegen ist WLAN in vielen Unternehmen eine bereits etablierte Technologie mit vorhandenen Schnittstellen und geringen zusätzlichen Aufwendungen. Auf Grund der einfacheren Handhabung wird im Rahmen des Forschungsprojekts die Kommunikation mittels WLAN umgesetzt.

4.3 Analyse und Definition bauleistungslogistischer Prozesse

Um eine Identifikation der Betriebsmittel im Baubetrieb sicherstellen zu können, müssen der Bauleistungsprozess und die maßgeblichen Prozessgrößen beschrieben werden. Diese sind für die Prozesssicherheit verantwortlich. Des Weiteren wird auf die Integration der Erfassungspunkte in den logistischen Prozess eingegangen, um

den Materialfluss der einzelnen Betriebsmittel möglichst detailliert darstellen zu können.

4.3.1 Definition eines exemplarischen Baulogistikprozesses

Ein großes Problem in der Bauindustrie stellt die unverbindliche Definition von Logistikprozessen dar. Standardprozesse sind nicht definiert. Zwar sind Arbeitsabläufe und Materialflüsse in ihrer zeitlichen und räumlichen Abfolge grob beschrieben. Jedoch kommt es im Detail häufig zu Abweichungen. Ist bspw. der Polier, der im jeweiligen Bauabschnitt für die Materialannahme, -verteilung und Lagerung zuständig ist, nicht zugegen oder beschäftigt, wird kurzfristig ein anderer Arbeiter mit der Aufgabe beauftragt. In der Folge kann es dabei durch Unwissen und die fehlende Zuständigkeit zu Fehlern kommen. Des Weiteren sind die Prozesse sehr stark von der durchführenden Person abhängig. So werden bspw. Lagerorte von Betriebsmitteln auf der Baustelle nicht zentral dokumentiert, sondern obliegen der Einteilung des Poliers. Fehlt dieser auf der Baustelle, kann Material mitunter nicht mehr gefunden werden.

Dem gegenüber steht die RFID-Technologie, die für eine ausreichende Prozesssicherheit genau festgelegte Randbedingungen benötigt. Beispiele für derartige Randbedingungen sind Entfernung und Ausrichtung zwischen SLG und Transponder, sich ändernde Luftschnittstellen, Witterung oder Packschemata von Betriebsmitteln auf dem Transportmittel und damit eine mögliche Verdeckung von Transpondern.

Da RFID keine Out-of-the-Box-Lösung ist, ist die Voraussetzung für eine erfolgreiche Integration von RFID in den Materialfluss die Analyse eben dieser Randbedingungen. Damit die Prozesse fehlerfrei dokumentiert werden können, muss für das identifizierte Umfeld die erfolgreiche Erfassung der Betriebsmittel nachgewiesen werden. Auf Grund der hohen Vielfalt der Betriebsmittel und der daraus resultierenden Individualität der Prozesse ist es jedoch nicht möglich, einen allgemein gültigen Prozess zu definieren. Der in nachfolgender Grafik dargestellte Prozess ist daher sehr allgemein gehalten. Ziel ist es, die von den Betriebsmitteln durchlaufenen Prozessstationen sowie die dort anfallenden Tätigkeiten zu beschreiben und hinsichtlich des Einsatzes von RFID zu bewerten.

Die Betriebsmittel werden auf dem Bauhof gelagert, entsprechend der Aufträge bzw. Baustellen kommissioniert, verladen und ausgeliefert. Nach der Nutzung werden sie

direkt zwischen verschiedenen Baustellen ausgetauscht oder zum Bauhof zurück geschickt.

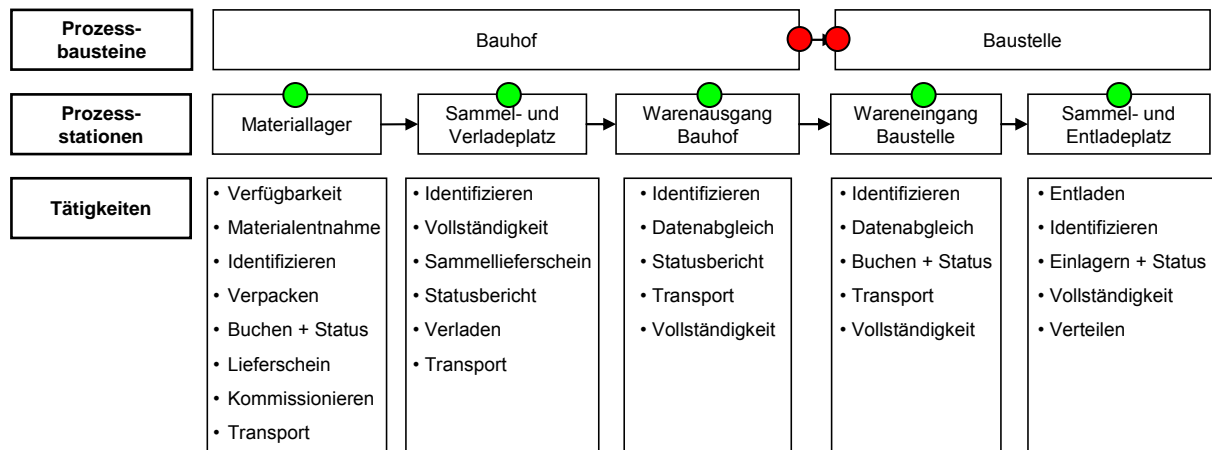


Abbildung 4-12: Beispielhafter Baulogistikprozess

Innerhalb der Prozessbausteine sind verschiedene Prozessstationen anzutreffen, die von den verschiedenen Betriebsmitteln durchlaufen werden. Für die verschiedenen Betriebsmittel gibt es auf dem Bauhof grob zugewiesene Lagerflächen. Diese sind nur in Ausnahmefällen räumlich voneinander abgegrenzt oder nummeriert. Während die meisten Betriebsmittel wie Großgeräte, Fertig- oder Anbauteile im Freien gelagert werden, sind Kleingeräte, Hubwagen oder Gerüste in eigenen Magazinen in Lagerhallen untergebracht. Auf der Baustelle hingegen sind überdachte Lagerkomplexe nicht anzutreffen. Dort werden die Betriebsmittel nach Zugehörigkeit zum Bauunternehmen oder nach dem geplanten Baufortschritt bevorratet, wobei insbesondere auf Großbaustellen mehrere Bauunternehmen eine gemeinsame Lagerfläche nutzen.

Bei vielen Bauunternehmen sind Sammel-, Verladeplatz und Warenein- bzw. -ausgang räumlich nicht voneinander zu trennen. Die Betriebsmittel werden auftragsweise aus den verschiedenen Lagerzonen zentral gesammelt und direkt verladen. Dabei wird zugleich die Vollständigkeit der Lieferung anhand des Lieferscheins überprüft. Der Warenausgang besteht lediglich in der Ausfahrt aus dem Bauhof.

Etwas anders ist der Wareneingang auf der Baustelle. Bei der Ankunft einer Lieferung wird diese vom Polier oder einem anderen angewiesenen Mitarbeiter angenommen. Dabei wird der Lieferschein gezeichnet und bei der Bauleitung zentral abgeheftet. Eine umfassende Kontrolle der Vollständigkeit der Lieferung unterbleibt jedoch zumeist. Der Fahrer erhält nach der Gegenzeichnung eine Anweisung für das Abladen der Betriebsmittel, das er oft eigenverantwortlich durchführt. Statusänderungen von Betriebsmitteln im System werden bei dieser Vorgehensweise ebenso wenig

dokumentiert, wie konkrete Lagerplätze auf der Baustelle oder die Vollständigkeit der Lieferung.

4.3.2 Integrationsmöglichkeiten von Erfassungspunkten

Die zentrale Fragestellung für die Integration der Erfassungspunkte in den Materialfluss bezieht sich auf die optimale oder zumindest ausreichende Dokumentation der Betriebsmittel. Eine ausreichende Dokumentation kann bspw. darin bestehen, zu wissen, ob sich das Betriebsmittel auf der Baustelle oder dem Bauhof befindet. Hierfür müssen für jeden Zu- oder Abgang auf dem Bauhof und der Baustelle Erfassungspunkte eingerichtet werden (siehe Abbildung 4-12, rot). Dies setzt voraus, dass die Betriebsmittel nur über eben diese Ein- und Ausgänge auf das Gelände gelangen können. Dabei herrscht eine direkte Abhängigkeit vom Baustellentyp (siehe Kapitel 3.1). Im Falle eines Gates werden die Betriebsmittel unter der Voraussetzung entsprechender Packschemata, die eine Verdeckung der einzelnen Transponder verhindern, automatisch erfasst und dokumentiert. Bei der manuellen Identifikation mit einem RFID-Handheld müssen verbindliche Zuständigkeiten definiert und die zeitnahe Weitergabe der Daten geregelt werden, um Medienbrüche zu vermeiden.

Sind Betriebsmittel von hoher Wertigkeit oder Bedeutung für den Baufortschritt bzw. kommt es an bestimmten Stellen im Materialfluss häufiger zu Problemen, können zusätzliche Erfassungspunkte integriert werden (siehe Abbildung 4-12, grün), um den Status der Betriebsmittel durchgängig darzustellen. Auch hier ist die Voraussetzung die räumliche Abgrenzung bzw. die Differenzierbarkeit der einzelnen Prozessstationen, bspw. der verschiedenen Lager für unterschiedliche Geräteklassen oder Anbauteile.

Voraussetzung für die durchgängige Dokumentation ist die physische aber auch informationstechnische Verknüpfung zwischen Erfassungspunkt und Prozessstation. Der Identifikationspunkt muss direkt mit den verschiedenen verbindlichen Zugängen des Bereichs verbunden sein, so dass der zu- und abgehende Materialfluss zwangsläufig erfasst wird. Bspw. ist der Bereich so abgegrenzt, dass er nur beim Passieren eines Gates betreten und verlassen werden kann. Auf der Seite der Datenverwaltung muss diese Verknüpfung hinterlegt sein. Eine Möglichkeit bieten Datenbanken, welche über eindeutige IDs den Erfassungspunkt und die Prozessstation in Beziehung setzten.

Ein anderer Ansatz ist die Ortung des Identifikationspunkts durch GPS. Die Koordinaten können mit denen der Prozessstation in einer Datenbank abgeglichen bzw. mit einer Prozessstation verknüpft werden. Durch die auftretenden Abweichungen der GPS-Signale müssen hierfür ausreichende Toleranzen definiert werden.

4.3.3 Anforderungen des Transportprozesses an ein RFID-System

Der eigentliche Transportprozess stellt durch verschiedene spezifische Variablen und Größen wie Geschwindigkeit, Transportmittel und Transporteinheit Anforderungen an die Konzeption eines Identifikationspunkts.

Zwar ist mit UHF-Gates dank der Pulklesefähigkeit unter bestimmten Voraussetzungen eine automatische Ladungskontrolle möglich. Maßgeblich hierfür ist jedoch die Geschwindigkeit, mit der das Gate durchfahren wird. Durch die Beschränkung der Datenübertragungsrate ist in Abhängigkeit von der Anzahl der Transponder und deren Dateninhalt eine bestimmte Erfassungszeit zur vollständigen Identifikation aller Transponder erforderlich.

Neben den bereits erläuterten Randbedingungen sind hauptsächlich die Art des Transportmittels und der Transporteinheit sowie deren Ladung entscheidend.

Als Transportmittel wird zumeist ein LKW verwendet. Bei Sattelzügen oder Kleintransportern mit metallischer Bordwand ist eine automatische Erfassung der Ladung von außen durch ein Gate wegen des geschlossenen Faradayschen Käfigs nicht möglich. Geeignete Konzepte sind manuelle Handlesegeräte, mit denen die Lieferung kontrolliert wird.

Kunststoffplanen können von elektromagnetischen Feldern hingegen gut durchdrungen werden. Die Ladung von LKW oder Aufliegern mit einer Plane und Holzbohlen zur Ladungssicherung lassen sich auch mit einem Gate automatisch erfassen. Transportmittel mit offener Ladefläche wie Pritschenwagen oder Auflieger, die oft zum Transport großer, schwerer Betriebsmittel verwendet werden, bieten ebenfalls Potenzial für den Einsatz automatischer Gates, da die Ladung durch keine dämpfende Luftschnittstelle verdeckt wird.

Die Transporteinheit entscheidet ebenfalls darüber, ob Ladungen automatisch erfasst werden können. Beim Einsatz von Gitterboxen oder geschlossenen metallischen Behältern ist eine sichere Identifikation der transportierten Betriebsmittel nicht möglich, da das elektromagnetische Feld Metall nicht durchdringen kann. Dasselbe Problem

ergibt sich für Container, wie sie in der Bauindustrie insbesondere beim Räumen der Baustelle zum Transport des eingesetzten Materials verwendet werden. Ladungen von Paletten, Holzboxen oder Kunststoffbehältern können hingegen prinzipiell bei der Gate-Durchfahrt erfasst werden.

Ob jedoch Ladungen auf Pritschenwagen oder Paletten identifiziert und kontrolliert werden können, hängt letztlich von deren Zusammenstellung auf der Transporteinheit ab. Durch ungünstige Packschemata können sich Transponder gegenseitig verdecken oder von anderen, insbesondere metallischen Betriebsmitteln, verdeckt werden. Um also die Prozesssicherheit bei einer automatischen Identifikationslösung zu gewährleisten, müssen die Ladungen so zusammengestellt werden, dass die Transponder theoretisch bei einer Gate-Durchfahrt vollständig erfasst werden können.

5 Auswahl und Untersuchung von Datenträgern

Ein umfangreiches Arbeitspaket stellt die Auswahl und Untersuchung von für den Einsatz in der Bauindustrie geeigneten RFID-Datenträgern dar. Zuerst werden den zuvor bereits festgelegten spezifischen Beanspruchungen (siehe Kapitel 3.1), sofern möglich, quantifizierbare Grenzwerte der Transponder gegenübergestellt und die für die Anbringung bzw. Integration maßgeblichen Einflussgrößen definiert. Daraufhin werden für ausgewählte Betriebsmittel der einzelnen Betriebsmittel-Gruppen RFID-Datenträger und sinnvolle Kennzeichnungskonzepte erarbeitet. Die Ergebnisse werden abschließend zusammengefasst.

5.1 Anforderungen an Kennzeichnungskonzepte

Für die Durchführung der in Kapitel 5.3 beschriebenen Testreihen müssen zunächst die funktionsrelevanten Anforderungen für die Identifikation der Betriebsmittel ermittelt werden. Abhängig vom Kennzeichnungskonzept müssen die Transponder auf bzw. im Metall lesbar sein, da die meisten Betriebsmittel zu großen Teilen aus Metall bestehen. Eine ebenfalls wichtige Anforderung ist die sichere Identifizierbarkeit trotz einwirkender mechanischer Belastungen beim Transport, der Handhabung oder im Betrieb. Auch hier ist die Entwicklung geeigneter Kennzeichnungskonzepte zur Anbringung oder Integration der Transponder entscheidend für deren Überleben und sichere Erfassung. Da die Betriebsmittel in der Bauindustrie in der Regel Witterungseinflüssen unterliegen, müssen praxistaugliche Kennzeichnungskonzepte diesem Umstand Rechnung tragen. So ist die Anbringung von Transpondern auf Flächen, die verstärkt der Witterung ausgesetzt sind, zu vermeiden. Beispiele hierfür sind horizontale Oberflächen oder Mulden, in denen sich Niederschlag oder Schmutz sammeln kann, sowie Anbringungsstellen, an denen der Transponder verstärkter Sonneneinstrahlung oder heißen Maschinenabgasen ausgesetzt ist.

Um obigen Anforderungen gerecht zu werden, sind so genannte funktionsneutrale Flächen für die verschiedenen Betriebsmittel zu definieren. Diese stellen keine Funktionsflächen dar und sind somit nicht für die Durchführung der Arbeitsaufgabe notwendig. Der Transponder kann dort zuverlässig angebracht werden. Entscheidend

hierfür sind die Geometrie und Abmessungen der Betriebsmittel. Während große, ebene Oberflächen eine Kennzeichnung von Betriebsmitteln relativ einfach ermöglichen, bieten kleine Oberflächen oder un stetige Geometrien kaum Möglichkeiten, Objekte mit Transpondern auszurüsten.

5.2 Anforderungen und Grenzwerte der Transponder

Im nächsten Schritt werden den in Kapitel 3.1 aufgeführten, bauspezifischen Anforderungen gängige Grenzwerte von Transpondern gegenübergestellt, um deren Widerstandsfähigkeit und Eignung zu testen. Um Grenzwerte von Transpondern gegenüber verschiedenen Beanspruchungen zu ermitteln, wurden zahlreiche Datenblätter, Richtlinien, Standards und Normen recherchiert. Die Ergebnisse sind in Tabelle 5-1 dargestellt.

Anwendung und mögl. Standards	Auftretende Grenzwerte	Grenzwerte Transponder
Prüfung von Stoßfestigkeit und Schock (EN 60068-2-27)	n.d.	40 g bis 100 g
Prüfung Schwingung und Vibration (z.B. EN 60068-2-6, DIN 30786, VDI 3839)	< 3 g nach DIN 30786 < 1,5 g nach VDI 3839	2 g bis 20 g
EMV – Anforderungen: Prüfverfahren und Bewertung der Störfestigkeit z.B. von Baumaschinen (z.B. EN 301489, EN 50082, EN 13309)	n.d.	1 - 30 A/m
Gehäuseschutzklassen (EN 60529)		IP 64 bis IP 69 (Hardtags)
Druck – Grenzwerte und Prüfverfahren	n.d.	10 bar
Temperaturspektren	-30°C bis +60°C	-40°C bis +85°C (Industriell) -55°C bis (130-210)°C (HT)
Chemische Beständigkeit	n.d.	n.d., abh. vom Gehäusematerial

Tabelle 5-1: Eigenschaften und Grenzwerte von Transpondern

Bei praxisnaher Anbringung bzw. Integration der Transponder treten Schwingungen und Stöße während des Einsatzes auf und können über das Bauteil auf den Transponder übertragen werden. Dabei ist es schwierig, typische Grenzwerte für Transponder zu finden, da diese nicht in Normen und Richtlinien aufgeführt werden. Stellt man auftretende und tolerierte Schwingungsgrenzwerte gegenüber, stellen diese kaum Probleme für den Transponder dar. Eine Ausnahme können hochfrequente Schwingungen bilden, wie sie bei Beton- oder Bodenverdichtern vorkommen.

Schwierig und nicht pauschal zu quantifizieren sind Stoßbeanspruchungen, da diese sehr stark einsatzabhängig auftreten. Jedoch sind mit bis zu 100 g hohe Grenzbeschleunigungen seitens der Transponder gegeben.

Zwar gibt es viele Standards, die die Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) zum Thema haben. Jedoch sind dort keine Werte für das bauindustrielle Umfeld definiert. Experten der Industriepartner haben als zulässige magnetische Feldstärke bis zu 30 A/m angegeben. Dem gegenüber dürften sich die zu erwartenden elektromagnetischen Felder in der Bauindustrie deutlich geringer darstellen, da auch in den Standards lediglich von leitungsgebundenen Störungen die Rede ist.

Um gegen Schmutz, Fremdkörper und Feuchtigkeitseintritt geschützt zu sein, müssen Transponder für den Einsatz im Freien über ein geschlossenes Gehäuse bzw. eine äquivalente Integration in das Betriebsmittel verfügen. EN 60529 definiert hierzu verschiedene Schutzklassen. Dabei gibt die erste Ziffer den Widerstand des Gehäuses gegen das Eindringen von Gegenständen und die zweite Ziffer die Dichtheit gegenüber Feuchtigkeit in Abhängigkeit von Zeit und Druck an. Transponder mit IP 64 oder höher sind demnach für den Outdoor-Einsatz geeignet.

Auch die übrigen Beanspruchungen stellen für den Einsatz von RFID in der Bauindustrie keine unüberwindbaren Probleme dar. Mit 10 bar halten die Transponder relativ hohe Drücke aus, wie sie in der Anwendung nicht auftreten. Die üblichen Betriebstemperaturen liegen direkt in dem zu erwartenden Einsatztemperaturbereich. Lediglich über die chemische Langzeit-Beständigkeit lassen sich keine verlässlichen Aussagen treffen, da hierzu keine Erfahrungen der Anbieter vorliegen. Doch ist auch hier von keiner Einschränkung auszugehen, da die Datenträger nur zeitweise mit chemischen Stoffen in Berührung kommen und geeignete Gehäusematerialien diesen standhalten.

5.3 Verwendete RFID-Hardware

Für die Versuchsreihen wird ein Schreib-/Lesegerät der Firma Feig vom Typ ID ISC.LRU2000 mit einer abgesetzten, zirkular polarisierten Antenne vom Typ *ID ISC.ANT.U250/250 UHF* verwendet. Das SLG wird über eine Software mit der automatischen Testbahn synchronisiert. Alternativ kommen in einigen Versuchen auch ein SLG der Firma Deister des Typs UDL 500 sowie ein SLG RF660R von Siemens zum Einsatz.

Die automatische Testbahn besteht aus einem Verschiebewagen, der über einen Zahnriemen bewegt wird. Angetrieben wird der Zahnriemen durch einen Drehstrom-Asynchronmotor mit einer Leistung vom 1,5 kW.

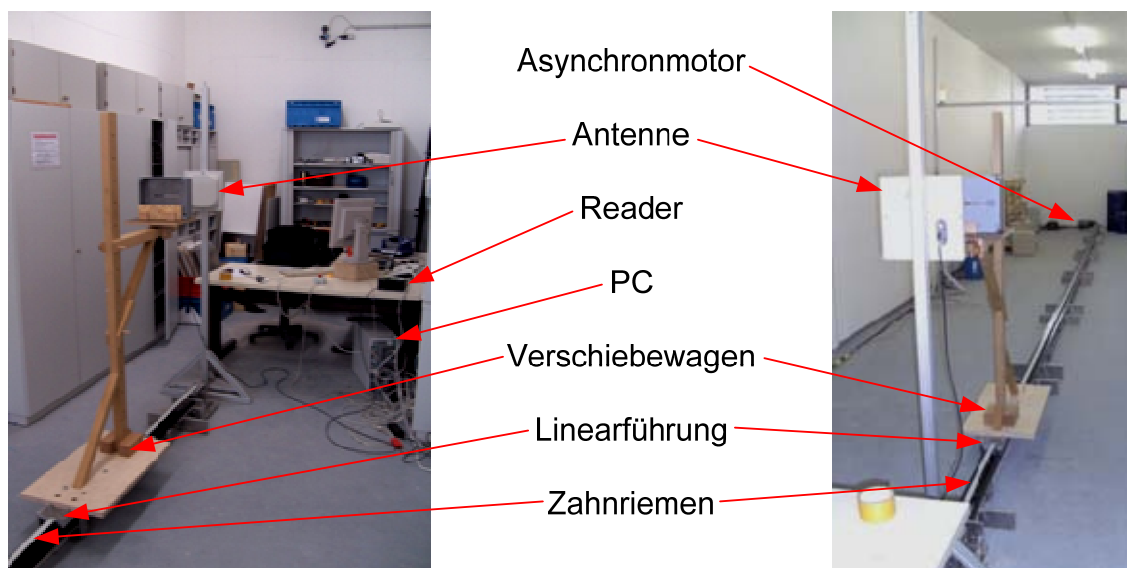


Abbildung 5-1: Automatische RFID-Testbahn

Mit der Bahn lassen sich sowohl Durchfahrtsversuche bis zu einer Geschwindigkeit von 8 m/s als auch Reichweitenmessungen durchführen. Bei der Messung der Reichweite fährt die Bahn in variablen Schrittweiten nacheinander mit steigendem Abstand zur RFID-Antenne einzelne Positionen an, wo versucht wird, den Transponder zu lesen. Das SLG ist dabei nur nach Anfahren der Position für ein einstellbares Leseintervall aktiv. Über die Software können verschiedene SLG angeschlossen und die richtige Standard-Konfiguration bzw. eine spezielle Konfiguration zur Steuerung des Readers eingelesen werden. Darüber hinaus können verschiedene Ausgangsleistungen der Antenne und Parameter zur Pulk-Erfassung festgelegt werden. Die Leseraten lassen sich in Form einer Excel-Datei exportieren und auswerten. Dabei werden auch Informationen zum Applikations-, Abstands- und Luftschnittstellenmaterial und weiteren Versuchseinstellungen dokumentiert.

Für die Durchführung der Testreihen wurden verschiedene, am Markt verfügbare UHF-Transponder ausgewählt, um eine Vergleichbarkeit und bessere Aussagekraft des technisch Möglichen zu erzielen. Neben so genannten Hardtags, die über ein stabiles Kunststoffgehäuse verfügen, wurden ebenfalls einige Labels, die ähnlich einem Barcode direkt auf das Objekt aufgeklebt werden können, getestet. Abbildung 5-2 zeigt die verwendeten Transponder.



Abbildung 5-2: Auszug ausgewählter Transponder

Um die Reproduzierbarkeit der Versuchsergebnisse zu gewährleisten, müssen alle wichtigen Daten zum Versuchsaufbau und zur Durchführung dokumentiert werden. Angaben zum Applikations-, Abstands- und Luftschnittstellenmaterial, zum Offset zwischen Antenne und Transponder, zur Schrittweite, zur RFID-Hardware und zu den getesteten abgestrahlten Leistungen können bereits in der Teststand-Software eingetragen werden. Ein vollständiges Versuchsprotokoll enthält darüber hinaus Angaben zur Motivation und den technischen sowie prozessbedingten Anforderungen, die die industrielle Praxis an das Betriebsmittel stellt und die daher im Rahmen der Testläufe berücksichtigt werden müssen. Des Weiteren sind Informationen zum physischen Versuchsaufbau, bspw. hinsichtlich Höhe und Winkel der Antennen oder Versatz zwischen Antenne und Transponder dokumentiert. Ein Versuchsplan listet detailliert die einzelnen Testreihen mit den jeweiligen Variationsparametern und deren Werten auf. Den Abschluss der Dokumentation bilden eine Zusammenfassung und Bewertung der Ergebnisse.

Um die Leistungsfähigkeit verschiedener Transponder in einer Versuchsreihe vergleichen zu können, müssen die verwendeten SLG dieselbe Konfiguration aufweisen und sowohl die Versuchsumgebung als auch Position und Orientierung der Transponder auf dem Versuchsobjekt identisch sein. Um die Homogenität der Randbedingungen zu prüfen, empfiehlt sich vor jedem Testlauf die Kontrolle mit einem Referenztransponder.

Bei der Messung der Auslesung von Transpondern kommt es oft zu Überreichweiten oder Leselöchern, die die Definition der tatsächlichen Lesereichweite erschweren. Um lokale Auslöschungen des elektromagnetischen Feldes von der physikalisch möglichen Lesereichweite unterscheiden zu können, werden Soll- und Ist-Erfassungen innerhalb einer Messstrecke zueinander ins Verhältnis gestellt. Die Anzahl der durchgeführten Messungen an einer Position definiert die Soll-Erfassungen. Die tatsächlich erfolgten Lesungen stehen für die Ist-Erfassungen. Aneinandergereiht ergeben diese Häufigkeiten eine Grafik (siehe Abbildung 5-3).

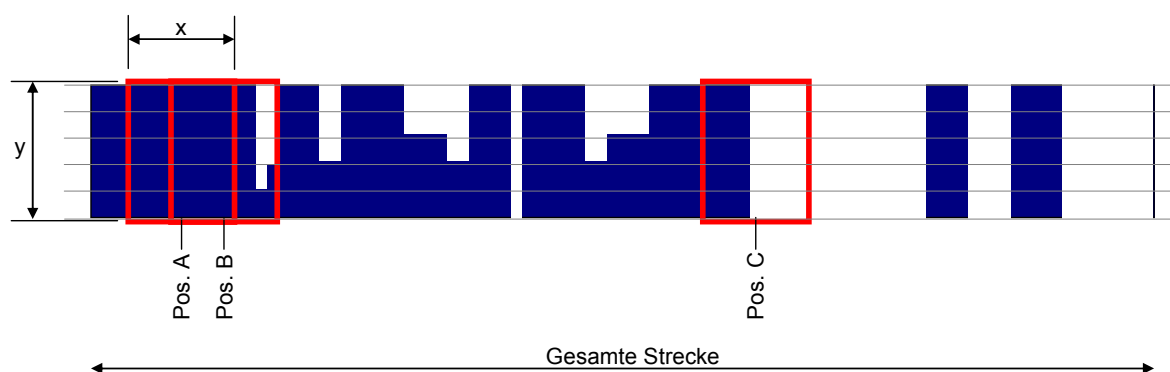


Abbildung 5-3: Ermittlung der Lesereichweite [Gün-08c]

Die Reichweite eines Transponders ist dann erreicht, wenn innerhalb eines Meters der Prozentsatz an erfolgreichen Lesungen (schwarze Fläche) unter 50% fällt. D.h. über die Grafik wird ein Fenster (rote Fläche) der Höhe y (entspricht der Anzahl an Versuchsdurchläufen) und der Breite x (entspricht hier einem Meter) gelegt und über dessen Inhalt integriert. In Abbildung 5-3 beträgt der Anteil erfolgreicher Lesungen für Pos. A 100%, für Pos. B ca. 90% und für Pos. C $< 50\%$.

5.4 Kennzeichnungskonzepte für die Prozessmittel

Um geeignete Kennzeichnungskonzepte für die einzelnen Betriebsmittel-Gruppen entwickeln zu können, werden jeweils repräsentative Betriebsmittel für die nachfolgend ausgeführten Testreihen ausgewählt (siehe folgende Abbildung). Wegen der Strukturierung der Betriebsmittel in Kapitel 3.2.2 können die erzielten Ergebnisse dieses Kapitels auch auf andere Betriebsmittel der Bauindustrie übertragen werden.



Abbildung 5-4: Ausgewählte Betriebsmittel

Für die Gruppe der Maschinen und Geräte wurden Hubwagen und Elektroschalt-schränke (I), für die Anbauteile Bohrerbohrrohre (II) sowie Betonteile mit Bewehrung (III), Koffergeräte (IV), Schalungsteile (V), Absperrungen und Bauzäune (VI) ausgewählt.

5.4.1 Bohrerbohrrohre

Bei Bohrerbohrrohren kann prinzipiell zwischen mehreren Typen unterschieden werden, für die sich auf Grund der unterschiedlichen Einsatzbedingungen verschiedene RFID-Kennzeichnungslösungen anbieten.

Kennzeichnungskonzept „Bohrerbohrrohr-Manschette“

Für Bohrerbrunnen werden zumeist Bohrerbohrrohre mit kleineren Durchmessern eingesetzt. Der Bohrerbohrmeißel hat einen größeren Durchmesser als das antreibende Bohrerbohrrohr, wodurch sich zwischen Lochwand und Rohr ein Hohlraum, auch Ringraum genannt, bildet (siehe Abbildung 5-5). Dieser Ringraum ist nötig, da die Bohrerbohrrohre am Rohrende, an dem sie miteinander verschraubt werden, einen größeren Durchmesser besitzen, als das Kernrohr. Die Bohrerbohrrohre sind in der Regel einwandig mit Wandstärken von ca. 8 Millimeter ausgeführt.

Durch den Ringraum und die Verjüngung des Bohrerbohrrohrs an der Rohrverbindung besitzen derartige Bohrerbohrrohre funktionsneutrale Flächen für die äußere Anbringung von Kennzeichnungslösungen. Eine derartige Lösung ist die zusammen mit der Firma Bauer Maschinen GmbH entwickelte Bohrerbohrrohrmanschette (siehe Abbildung 5-5).

Nach der Analyse der betrieblichen Praxis stellen sich die Anforderungen wie folgt dar. Die Identifikation des Bohrerbohrrohres soll ebenfalls über ein am Bohrerbohrgerät fest verbauter SLG erfolgen. Für eine sichere Erfassung sind hierbei Reichweiten von etwa 1,5 Metern während einer Rotation mit ca. 20 U/min erforderlich. Damit der eingegossene Transponder genügend Abstand zur Metalloberfläche hat und trotzdem aus-

reichend in die Schale integriert ist, muss die Manschette eine entsprechende Materialstärke von ca. 20 Millimeter aufweisen.

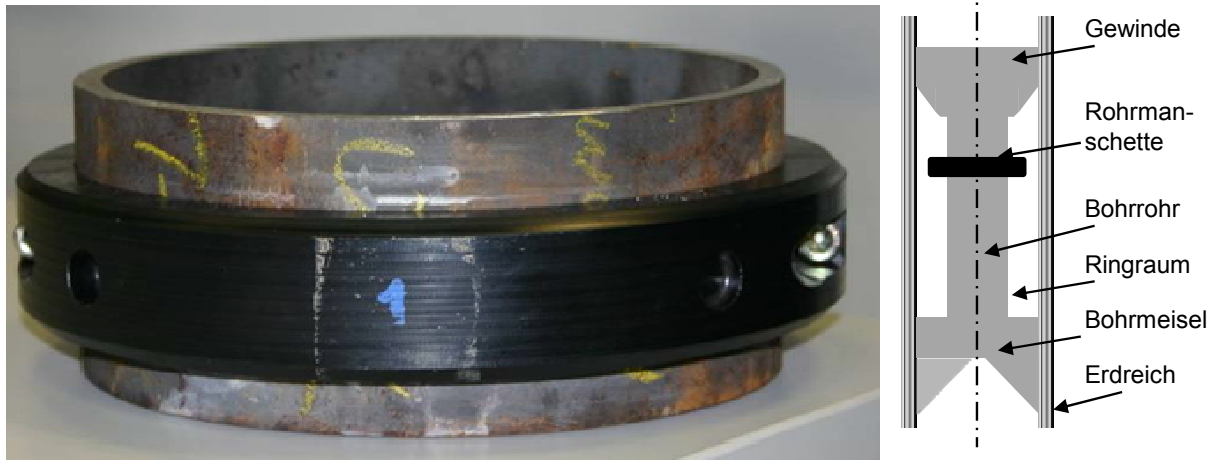


Abbildung 5-5: Bohrohrmanschette und Bohrohr während des Bohrens

Die Manschette setzt sich aus zwei Polyamid-Hälften zusammen, die miteinander bündig zum Rohr verschraubt werden. Polyamid zeichnet sich neben einer hohen Festigkeit, Steifigkeit und Zähigkeit auch durch eine gute Beständigkeit gegenüber Chemikalien aus. Während Zug- und Druckbelastungen durch Verspannungen mit dem Erdreich in der Praxis auf Grund des Ringraums kaum von Bedeutung sind, spielen Belastungen, die bei der Lagerung oder der Verladung der Rohre durch das hohe Gewicht auftreten können, eine große Rolle.

Um die Identifikation verschiedener Transponder testen zu können, besitzt die Rohrmanschette eine mittige Nut mit 135 mm Länge, 19 mm Breite und 7 mm Tiefe, die mit einem Deckel aus Kunstharz verschlossen werden kann. Dieses wies hinsichtlich der Messungen der Lesereichweite verglichen mit Polyamid keine nennenswerten Unterschiede auf. In die Nut werden im Rahmen der Versuchsreihen verschiedene UHF-Label eingebracht, die einen definierten Abstand von 14 mm zur Metalloberfläche besitzen. Für die Testreihen wird die Manschette in der beschriebenen Testbahn mit einem eigens konstruierten Träger auf dem Schlitten fixiert. Die horizontalen Achsen von Transponder und Antenne liegen dabei auf einer Ebene.

Im ersten Durchlauf wurde die mögliche Reichweite statisch bei freier Manschette und danach mit am Rohr angebrachter Manschette und Bentonit³-Einfluss bewertet. Verwendung fand das erwähnte SLG der Firma Siemens mit einer Antenne RF660A.

³ Bohrflüssigkeit zum Aufschwemmen des Bohrkleins, Kühl- und Gleitmittel

Verglichen wurden Transponder vom Typ Alien Squiggle, UPM Rafsec Short Dipole und RSI 635. Letzterer lieferte die besten Ergebnisse.

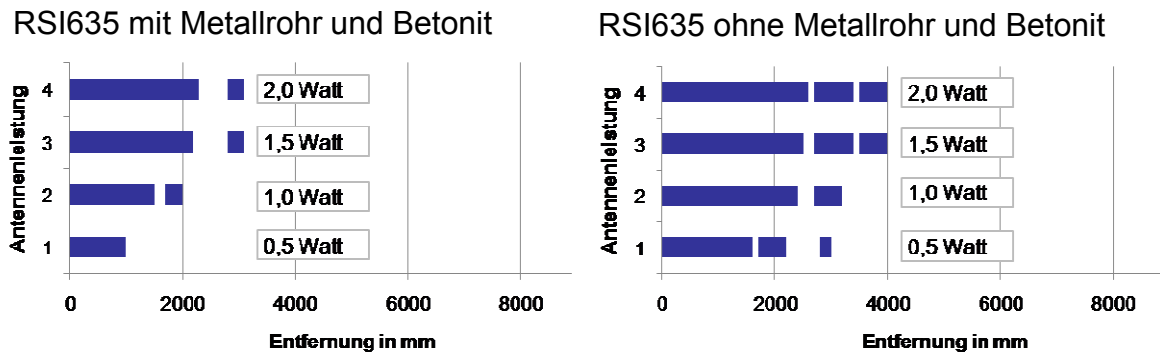


Abbildung 5-6: Vergleich Reichweiten der Rohrmanschette

Abbildung 5-6 zeigt den Einfluss des metallischen Bohrröhres auf die Lesereichweite. Wider Erwarten traten durch das Auftragen von Bentonit auf die Manschette keine weiteren Einschränkungen der Lesereichweite auf. Mit über zwei Metern stellt sich diese absolut ausreichend für das Einsatzfeld dar.

Da die Bohrröhre in der praktischen Anwendung auch während der Rotation erfasst werden müssen, wurden im zweiten Teil dynamische Versuchsreihen durchgeführt.

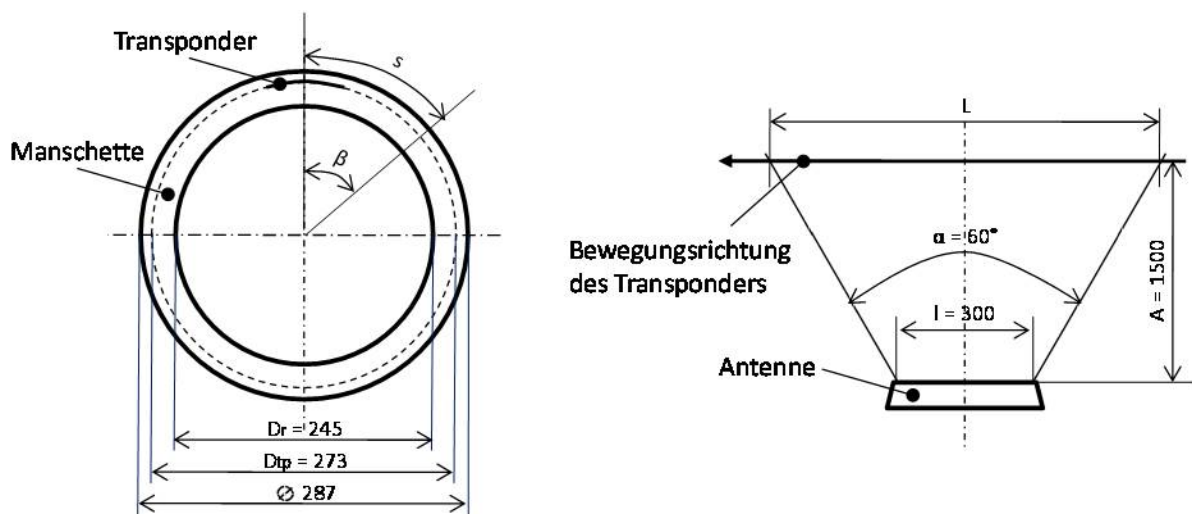


Abbildung 5-7: Konfiguration der statischen Versuchsdurchführung

Dafür wurde die Möglichkeit der Durchfahrtmessung an der automatischen Testbahn genutzt. Da diese jedoch nur für translatorische Bewegungen gilt, müssen rotatorische Versuche in translatorische überführt werden. Dafür sind einige Eingangsgrößen erforderlich: Erfassungsbereich des Transponders (s , β), Rohrdurchmesser (D_r), gedachter Durchmesser des Transponders in der Manschette (D_{tp}),

Länge des Erfassungsbereich (L), Öffnungswinkel der Antenne (α), Länge der Antenne (l), Leseabstand (A). Die Zusammenhänge sind in Abbildung 5-7 dargestellt.

Der Erfassungsbereich des Transponders 2β wurde empirisch zu 60° im Abstand von 1,5 Meter zur Antenne bestimmt. Der Umrechnung liegt eine Rotationsgeschwindigkeit von 20 U/min zu Grunde. Damit lässt sich die verfügbare Erfassungszeit und mit der Länge des Erfassungsbereichs L die translatorische Durchfahrtsgeschwindigkeit berechnen. Nach Durchführung der Testreihen konnte nachgewiesen werden, dass der Transponder auch während der Rotation sicher identifiziert werden kann. Unter den gegebenen Umständen muss der Transponder bei einer Durchfahrtsgeschwindigkeit von ca. 4 m/s identifiziert werden können. De facto wurde er auch noch bei der Maximalgeschwindigkeit der Testbahn von 8 m/s erfasst, was hinsichtlich der Erfassung mit einer Rotationsgeschwindigkeit von 40 U/min gleichzusetzen ist.

Kennzeichnungskonzept „Bohrrohr-Schraube“

Ein Verfahren zur Erstellung von Bohrpfählen sind verrohrte Bohrungen, die beim Bohren die Lochwand stützen. Sind mehrere nebeneinander in das Erdreich getrieben, entsteht eine Pfahlwand zur Sicherung von Arbeitsräumen gegen nachrutschendes Erdreich und Wassereinbruch. Diese Wände sind steif, verformungsarm und je nach Ausführung wasserdicht und damit besonders für den Bau unter dem Wasserspiegel geeignet.

Die Rohre verfügen lediglich über eine geschweißte Inventarnummer, mit der sie erfasst, jedoch nicht im überbetrieblichen Materialfluss dokumentiert werden. Bei der Auslieferung werden die Rohre zahlenmäßig einer Kostenstelle zugeordnet. Auf der Baustelle werden sie gelagert und bei Bedarf mit einem Radlader zum Einsatzort gebracht. Dort werden sie mit dem Bohrgerät aufgestellt, am Drehteller verriegelt und ausgerichtet. Es wird nicht dokumentiert, welches Bohrrohr sich aktuell im Einsatz befindet. Auch kommt es vor, dass angelieferte Rohre gar nicht zum Einsatz kommen, da die Rohre üblicherweise direkt nach dem Ziehen wieder verwendet werden. Informationen oder Auswertung von Einsatzzeiten und Auslastungen sind somit nicht realisierbar.

Bei der Erstellung der Bohrpfähle treibt der Drehteller, der auf einem am Mast vertikal verfahrbaren Schlitten angebracht ist, das Bohrrohr an. Das Bohrwerkzeug selbst wird ebenfalls vom Drehgetriebe über eine so genannte Kellystange in Teleskop-

bauweise mit Drehmoment beaufschlagt. Beim Bohren wird zunächst das Rohrsegment in mehreren Etappen in das Erdreich getrieben, Bodenmaterial mit dem Bohrwerkzeug gelöst und aus dem Bohrloch transportiert. Der Ablauf wird iterativ fortgesetzt, bis das gesamte Erdreich aus dem Rohr gehoben wurde. Sobald ein Bohrrohrsegment nahezu vollständig im Boden versenkt ist, wird ein weiteres Segment aufgesetzt, indem Mutter- und Vaterstück der beiden Rohre ineinander greifen. Die Verbindung wird abgedichtet und verschraubt (siehe Abbildung 5-8).

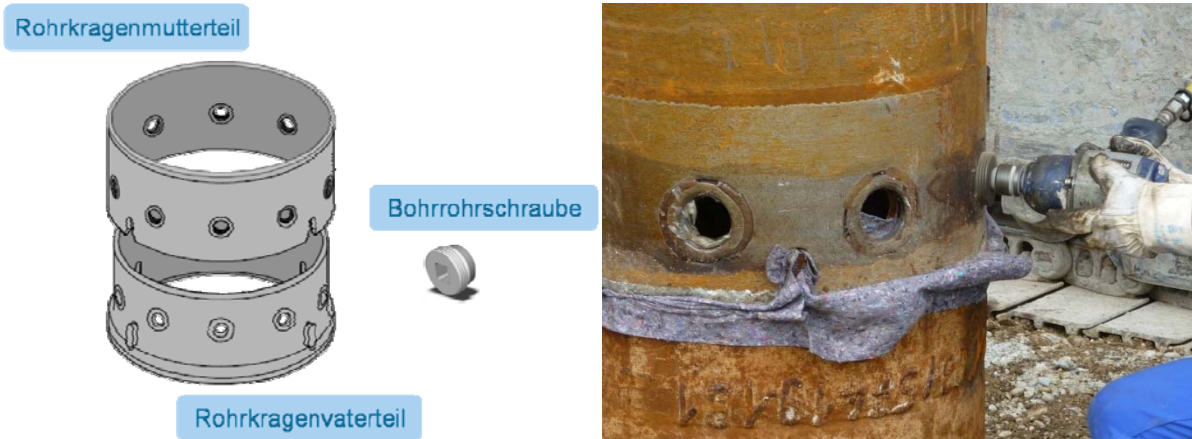


Abbildung 5-8: Bohrrohrverbindung

Anschließend wird zur Stabilisierung des Bohrpfahls ein Bewehrungskorb in das Bohrloch eingebracht, und die Bohrung mit Beton ausgegossen. Danach werden abwechselnd die Rohre sequentiell aus dem Erdreich gezogen und das Bohrloch mit Flüssigbeton aufgefüllt.

Durch den direkten Kontakt der Rohraußenwand mit dem Erdreich fehlen am Bohrrohr funktionsneutrale Flächen zur äußeren Anbringung von Transpondern. Auch bei Transport und Lagerung können außen angebrachte Kennzeichnungslösungen auf Grund des hohen Eigengewichts der Rohre einfach beschädigt oder zerstört werden. Eine Lösung versprechen daher nur integrative Konzepte.

Die Lösung muss eine sichere Erfassung auch im Betrieb gewährleisten. Durch ein am Bohrergerät montiertes SLG soll der Transponder vor dem Einbringen in das Erdreich erkannt werden, indem er im rotierenden Rohr am SLG vorbei läuft. Die geforderte Lesereichweite darf daher auch unter ungünstigen Umständen, wie bspw. der Verschmutzung der Transponder während der Rotation, nicht unter einem Meter betragen. Durch die zylindrische Oberfläche ist dabei eine deutliche Abhängigkeit der Leserate vom Drehwinkel zu erwarten. Des Weiteren muss sich das Transponder-

konzept vom Anwender nachträglich integrieren lassen, da die Bohrröhre eine hohe Lebensdauer besitzen, in der ein Datenträger ausfallen oder verloren gehen kann.

Untersucht wurden verschiedene Konzepte für die Integration von RFID in das Bohrröhr sowie maßgebliche Einflussfaktoren. Die Versuchsreihen wurden auf der automatischen Versuchsbahn mit einem SLG Deister UDL 500 bei maximal zulässiger Leistung von zwei Watt durchgeführt. Getestete Labels sind der Alien Squiggle, der in verschiedenen Anwendungen bereits gute Ergebnisse erzielt hat, und der UPM Rafsec Web, der eine deutlich andere Geometrie und damit Integrationsmöglichkeit bietet. Darüber hinaus wurde der kompakte Confidex Ironside als Hardtag getestet.

Erster Versuchsgegenstand ist der Einfluss verschiedener Kunststoffe als Applikationsmaterial. Dazu wurde der Alien Squiggle auf Polycarbonat, Polyethylen und Polypropylen appliziert. Die Lesereichweiten sind mit jeweils etwa sechs Metern nahezu identisch. Im nächsten Schritt wird der Alien Squiggle auf Metall mit 10 mm dickem Abstandsmaterial aus Kunststoff aufgebracht. Um den Einfluss des rotierenden Rohres und damit die Veränderung der Ausrichtung zwischen Transponder und Antenne zu simulieren, ist der Halter, auf dem die Metallplatte angebracht ist, vertikal drehbar. Durch die Rotation des Rohres bei einer zeitgleichen vorschubbedingten Translation befindet sich der Transponder nur zu bestimmten Zeitpunkten im Lesefeld. Die Ergebnisse sind in Abbildung 5-9 dargestellt.

Alien Squiggle mit Kunststoff auf Metall

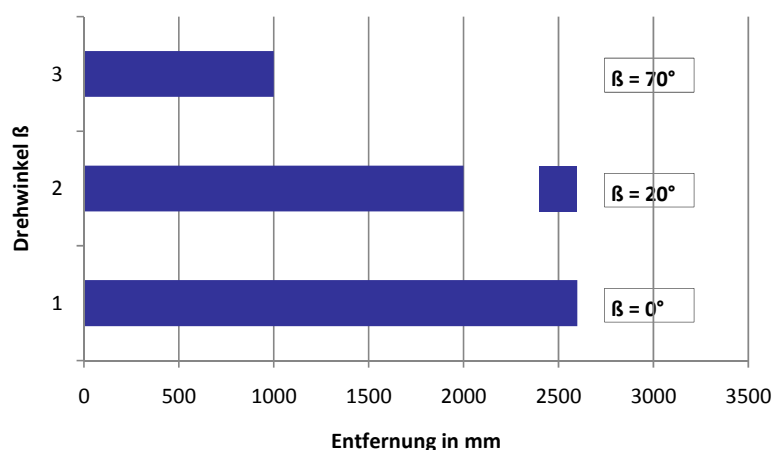


Abbildung 5-9: Alien Squiggle auf Polycarbonat auf Metall

Zu erkennen ist ein deutlicher Verlust der Lesereichweite durch Metall als Applikationsuntergrund. Außerdem sinkt die Lesereichweite mit Zunahme des Winkels β zwi-

schen Antenne und Transponder progressiv. An dieser Stelle kann daher bereits die Aussage getroffen werden, dass mehrere Transponder über den Umfang verteilt in ein Rohr eingebracht, ein sicheres Auslesen des Bohrrohrs gewährleisten.

Die nächste Versuchsreihe hat die Analyse der Identifikation im Metall eingebrachter Transponder zum Gegenstand. Dabei wird das Label auf Schaumstoff als Abstandsmaterial in ein U-Profil aus Stahl integriert und mit der offenen Seite des Profils zum Lesegerät gerichtet (siehe Abbildung 5-10). Durch Reflektionen im Inneren des Profils und die Abschirmung des elektromagnetischen Feldes an den Profilschenkeln wird die Lesereichweite bei zunehmender Einbringtiefe drastisch reduziert.

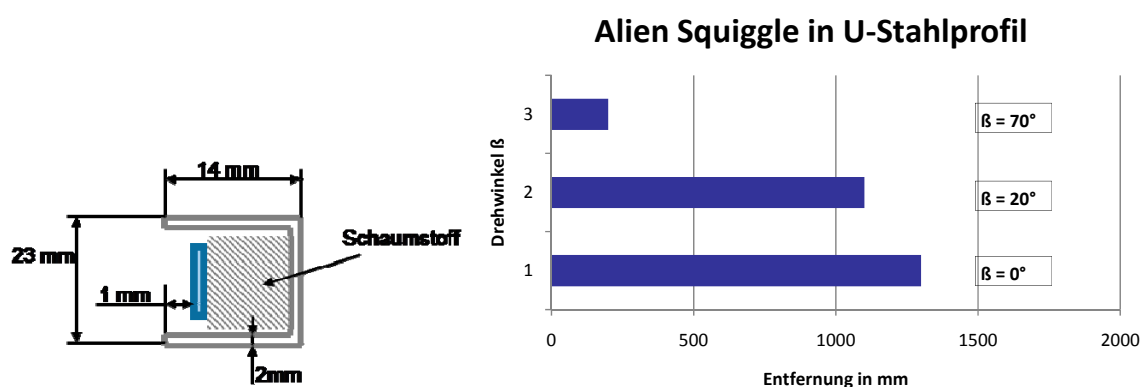


Abbildung 5-10: Alien Squiggle in U-Träger

Die Lesereichweite sinkt überproportional zur Größe mit zunehmendem Winkel zwischen Antenne und Transponder. Der Confidex Ironside schneidet bei gleichem Versuchsaufbau zwar schlechter ab als der Alien Squiggle, weist jedoch keine so große Winkelabhängigkeit auf.

Bei der Entwicklung eines geeigneten Kennzeichnungskonzepts ist folglich ein möglichst großer Abstand zwischen Transponder und Metalloberfläche zu gewährleisten. Des Weiteren ist die Erfassung des Transponders in Abhängigkeit vom Rotationswinkel des Rohres zu berücksichtigen. Bei eingehender Analyse eines Bohrrohres wird klar, dass für die Integration eines Transponders nur die Verschraubung oder die Nut für den O-Ring, die sich zur Abdichtung im Vaterstück befindet, in Frage kommen. Letztere ist jedoch nach der Verbindung zweier Rohre verdeckt. Eine Identifikation des Transponders ist damit nicht möglich.

Die Lösung liegt daher in der Integration des Transponders in das Gewinde des Mutterstücks. Je nach Rohrdurchmesser sind bis zu 16 Schraubverbindungen über den Umfang verteilt, die Drehmoment und Zugkräfte aufnehmen. Jedoch treten in der Praxis keine Belastungen auf, die die Nutzung aller Verschraubungen erfordern.

Durch diese Überbestimmtheit können nach Expertenmeinung und Festigkeitsrechnung im normalen Betrieb ein bis zwei Gewinde für das Kennzeichnungskonzept genutzt werden. Wegen der positiven Eigenschaften von Kunststoff für die Ausbreitung des elektromagnetischen Felds wird der Transponder in eine robuste Kunststoffschraube aus Polyethylen integriert. Wegen deren beschränkter Abmessungen wird für die folgenden Versuche der UPM Rafsec Web verwendet. Die Wandstärke des Mutterstücks beträgt ca. 20 mm, weshalb für die Bohrrohrschraube eine Dicke von 17 mm festgesetzt wird.

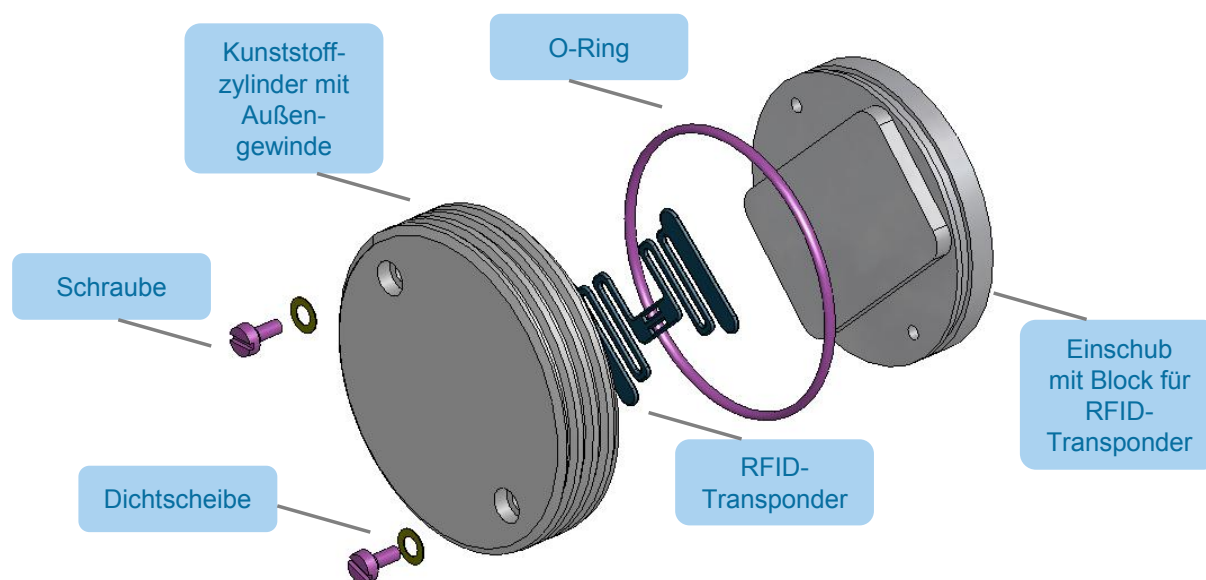


Abbildung 5-11: Konzept der Bohrrohrschraube

Die Kunststoffschraube besteht aus einem Außengewinde, das dem der herkömmlichen Rohrschraube entspricht. In den äußeren Kunststoffzylinder wird das Innenteil passgenau eingesetzt, mit einem O-Ring abgedichtet und verschraubt. Der Transponder wird auf den Stempel des Innenteils geklebt, wodurch er eindeutig fixiert ist und bei einer Wandstärke von 2 mm nahezu bündig zur Mantelfläche des Rohres eingebracht werden kann. Die Bohrrohrschraube wird von der Innenseite mittels eines Vierkants in das Mutterstück geschraubt und ggf. verklebt, um sicher im Rohr verbleiben zu können.

In einer ersten Versuchsreihe wird die Schraube in einen metallischen Gewinding, wie er im Bohrrohr verwendet wird, geschraubt und die Lesereichweite in Abhängigkeit vom Rotationswinkel bewertet. Für den Aufbau wird die Bohrrohrschraube auf einer Kreisbahn bewegt, die dem Radius häufig genutzter Bohrröhre entspricht. Abbildung 5-12 zeigt, dass geringe Rotationswinkel kaum Auswirkungen auf die Lese-

reichweite haben. Bis zu einem Winkel von 28° kann der Transponder in einer Entfernung von gut einem Meter erfasst werden.

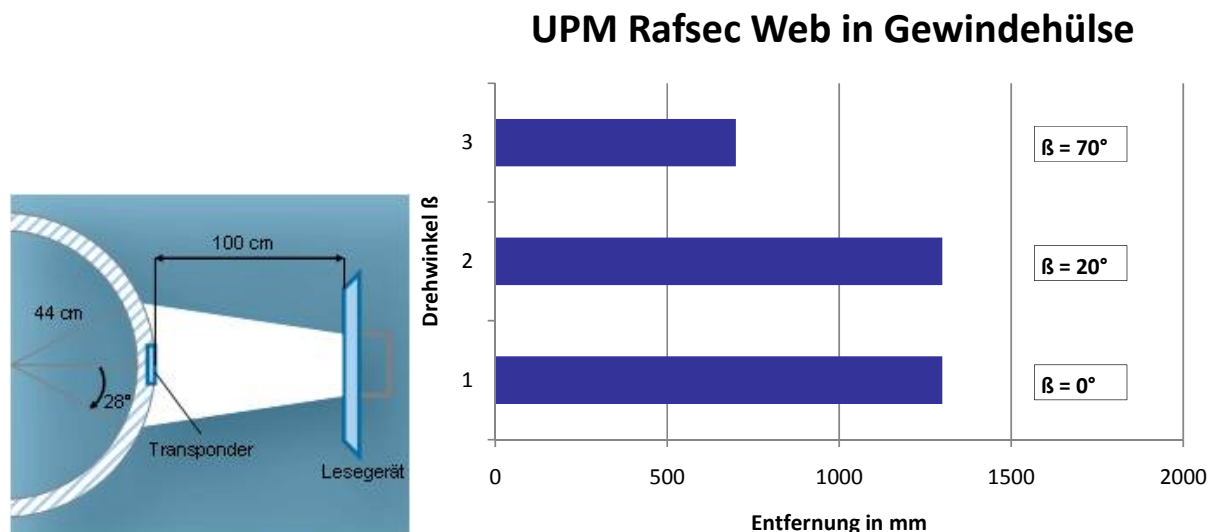


Abbildung 5-12: Lesereichweite Bohrrohrschraube im Gewinding

Die Integration der Bohrrohrschraube in einen Gewinding entspricht jedoch nicht dem Einsatz in der Praxis, da bei dieser Versuchsreihe keine geschlossene Metallfläche um den Transponder auftritt. Deshalb wurde eine abschließende Versuchsreihe durchgeführt, in der die Verschraubung bündig in ein durchgehendes Metallrohr integriert ist.

Die Lesereichweite für diesen Fall unterscheidet sich deutlich von den bisherigen Ergebnissen. Der UPM Rafsec Web konnte nur noch bis zu einer Entfernung von 0,25 Meter erfasst werden. Auch der Confidex Ironside kam über einen Abstand von 0,4 Metern nicht hinaus. Aus diesem Grund wurde mit dem SkyRFID Mini Metal Special Tag H3, der sich dank seiner geringen Abmessungen sehr gut in die Bohrrohrschraube integrieren lässt, ein weiterer Hardtag getestet. Dieser lieferte mit über 0,6 Meter die beste Lesereichweite.

Zusammenfassung der Versuchsergebnisse

Mit der Rohrmanschette konnten hohe Lesereichweiten erzielt werden. Durch die Verwendung von am Markt verfügbaren Standard-Labels ist eine kostengünstige Herstellung möglich, die sich vom Anwender in Eigenregie einfach nachrüsten lässt. Nicht beantwortet werden konnte die Frage nach der Haltbarkeit der Manschette bei Belastungen während des Einsatzes und der Lagerung, da aus organisatorischen Gründen seitens der Anwender kein Praxistest während der Projektlaufzeit möglich war.

Bei der Bohrrohrschraube konnten die anfänglich positiven Ergebnisse bei den praxisnahen Versuchsreihen nur eingeschränkt wiederholt werden. Bei einer maximalen Lesereichweite von 0,6 Metern ist die mögliche Anbringung eines SLG am Bohrgerät entscheidend für die Erfassung der Bohrröhre. In Kapitel 9.1 wird das Konzept im praxisnahen Einsatz bewertet.

Bei beiden Konzepten ist für die zuverlässige Erfassung in der Praxis die Art der Anbringung des SLG am Bohrgerät entscheidend. Ist das SLG statisch am Bohrgerät fixiert, müssen auf Grund der Einschränkung der Lesereichweite mit zunehmenden Rotationswinkeln mehrere Transponder im Rohr verbaut werden. Hinzu kommt eine translatorische Bewegung während des Bohrvorgangs, weshalb sich im ungünstigsten Fall kein Transponder im Lesefeld befindet. Bei der Anbringung des SLG am Bohrschlitten bewegt sich das SLG mit dem Bohrrohr, wodurch die Sicherheit einer Erfassung deutlich erhöht wird.

5.4.2 Metallische Rohrkörper

Zu den metallischen Rohrkörpern zählen in der Bauindustrie bspw. Bauzäune, Absperrungen und Gerüstteile. Sie zählen zur Standardausrüstung eines Bauunternehmens und werden auf nahezu jeder Baustelle benötigt. Durch die Ähnlichkeit der Betriebsmittel kommt es insbesondere auf Großbaustellen mit gemeinsam genutzten Lagerflächen häufig zu Verwechslungen, dem Austausch zum Nachteil nachfolgender Bauunternehmen oder gar zum Schwund. Die aktuelle Kennzeichnung mit Firmenaufklebern oder Farbmarkierungen stößt in der Praxis an ihre Grenzen und ist daher kaum geeignet. Zielstellung ist daher die eindeutige, an die rauen Umgebungsbedingungen der Bauindustrie angepasste Kennzeichnung der Betriebsmittel zur Dokumentation der Eigentumsverhältnisse. Des Weiteren soll bspw. bei der Aus- und Rücklieferung oder der Auflösung der Baustelle eine schnelle Kontrolle der Menge der jeweiligen Betriebsmittel möglich sein.

Für die Kennzeichnung von Rohrkörpern kommen prinzipiell mehrere Lösungen in Frage. Bspw. können auf Bauzäunen oder Absperrungen statt der Firmenaufkleber Transponder angebracht und fixiert werden. Bei Gerüstteilen ist eine Lösung in Form einer Manschette denkbar. In der Praxis kann es mit äußerlich angebrachten Lösungen auf Grund der beanspruchungsintensiven Handhabung jedoch zu Problemen kommen.

Im Rahmen dieses Forschungsprojekts wurde deshalb eine integrative Kennzeichnungslösung in Form einer Schlitzantenne entwickelt. Zu Grunde liegt das Babinet'sche Prinzip, nach dem das Beugungsbild zweier geometrisch komplementärer Blenden auf dem Schirm identisch ist. Somit unterscheidet sich das Beugungsbild eines Spalts kaum von dem eines Drahts. Ein Schlitz in einer metallischen Fläche ist daher komplementär zu einer Dipolantenne und kann als solche verwendet werden. Hierbei sind die Polarisations Ebenen um 90° zueinander gekippt, weshalb die Schlitzantenne auch invertierter Dipol genannt wird.

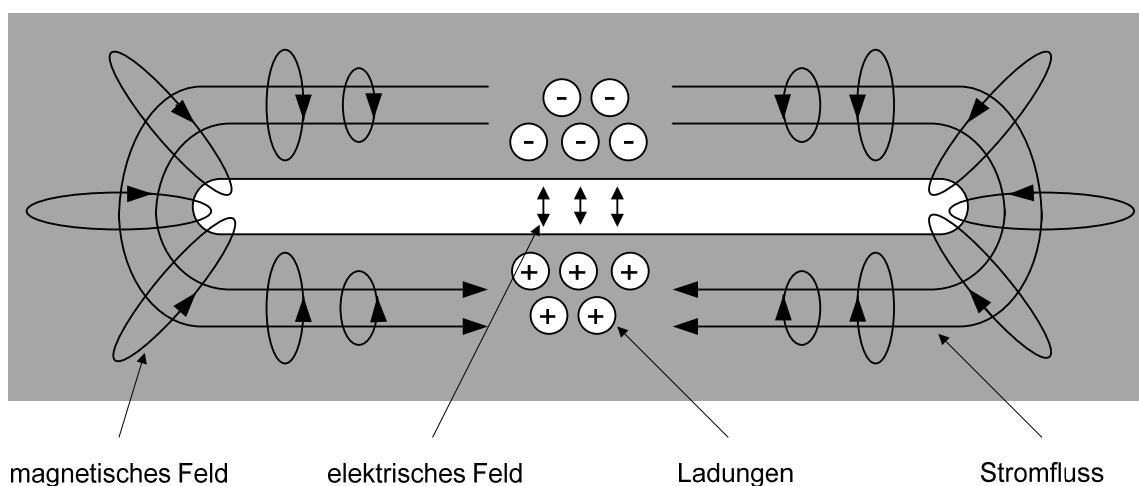


Abbildung 5-13: Funktionsweise einer Schlitzantenne

Beim Auftreffen einer elektromagnetischen Welle auf den Schlitz bilden sich in der Schlitzmitte Ladungen aus, die dort ein elektrisches Feld erzeugen und wegen der Leitfähigkeit des Metalls um den Schlitz herum fließen. Dieser Stromfluss bewirkt ein magnetisches Feld, welches zu den Schlitzenden hin verstärkt wird, da hier der Widerstand für die Ladungen am geringsten ist und somit der Stromfluss am wenigsten behindert wird.

Die theoretisch ideale Länge des Schlitzes kann nach $\lambda/2$ für den UHF-Bereich zu 172,5 mm bestimmt werden. Zur Schlitzbreite gibt es kaum Angaben, jedoch hat sie einen Einfluss auf den Eingangswiderstand bzw. die Eingangsimpedanz. Der Eingangswiderstand wird in der Schlitzmitte mit durchschnittlich 485Ω angegeben (bei geschlitzten Rohren mit $600-1000 \Omega$). Schlitz-Transponder sind in der Regel auf diesen Wert angepasst bzw. müssen bei unterschiedlichen Breiten entsprechend auf dem Schlitz verschoben werden. Mit dieser Kenntnis lässt sich der Schlitz für bestimmte Anwendungsfälle gut anpassen.

Durch die Verdrehung der Polarisierung ergibt sich die maximale Spannung bei der Dipolantenne an den Enden, wohingegen sie bei der Schlitzantenne in der Mitte am größten ist. Zudem stehen beim Dipol das E-Feld parallel und das H-Feld senkrecht zur Antenne, beim Schlitz ist dies genau um 90° versetzt. Das E-Feld der Schlitzantenne wird zur Mitte des Schlitzes hin immer größer, wobei Messungen zeigen, dass es genau in der Mitte etwas einknickt und das Feld schwächer ist [Bie-93], [Wei-02]. Zielstellung ist die Entwicklung einer möglichst kompakten Schlitzantenne, die in das Rohr eingebracht wird, da große Schlitz leichter beschädigt und dadurch verstimmt werden können. Aus diesem Grund müssen kompakte Transponder verwendet werden.

Der stirnseitig in das Rohr gefräste Schlitz wird im weiteren Verlauf als halboffene Schlitzantenne bezeichnet, während ein im Rohr durchgängiger Schlitz eine geschlossene Schlitzantenne darstellt.

Im Versuch wurden Transponder der Firma RSI verwendet. Der erste Schritt bestand in der Analyse des Verhaltens der Transponder in Kombination mit der Schlitzantenne in einem Schlitzkasten. Entscheidend für die Funktionalität sind neben den Abmessungen des Schlitzes die Qualität der Kopplung und die genaue Orientierung und Position des Transponders. Bei verschiedenen Schlitzlängen wurden daher verschiedene Transponder mit unterschiedlichen Orientierungen und Positionen auf dem Schlitz hinsichtlich der erzielten Lesereichweite auf der Testbahn bewertet. Als SLG wurde der LRU1000 der Firma Feig verwendet.

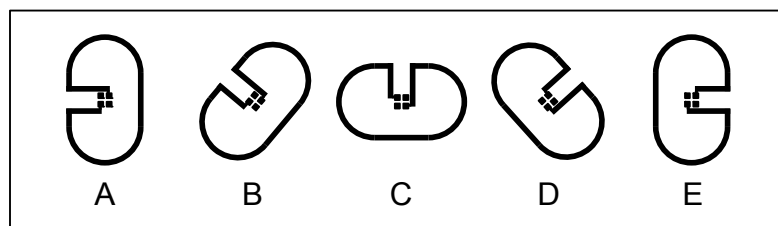


Abbildung 5-14: Verschiedene Orientierungen des RSI 625

Die Schlitzlänge kann durch eine auf dem Rohr verschiebbare Muffe verändert werden. Dadurch kann für den jeweiligen Transponder die beste Position mit der optimalen Orientierung in Abhängigkeit von der Schlitzlänge bestimmt werden. Orientierung D (siehe Abbildung 5-14) stellt für Transponder RSI 625 das Optimum dar. Die maximalen Reichweiten werden am Punkt mit der besten Impedanz erzielt. Für die Umsetzung der Kennzeichnungslösung ist der Transponder folglich so zu integrieren, dass er an diesem Punkt mit der Schlitzantenne koppeln kann.



Abbildung 5-15: Lesereichweiten in Abhängigkeit von der Schlitzlänge

Auf Basis der Versuchsergebnisse wird der Transponder eindeutig auf einem PVC-Stopfen angebracht und mit einer Nase, die zugleich als Dielektrikum dient, fixiert. Durch die formschlüssige Verbindung ist eine definierte Kopplung zwischen Transponder und Schlitzantenne möglich.

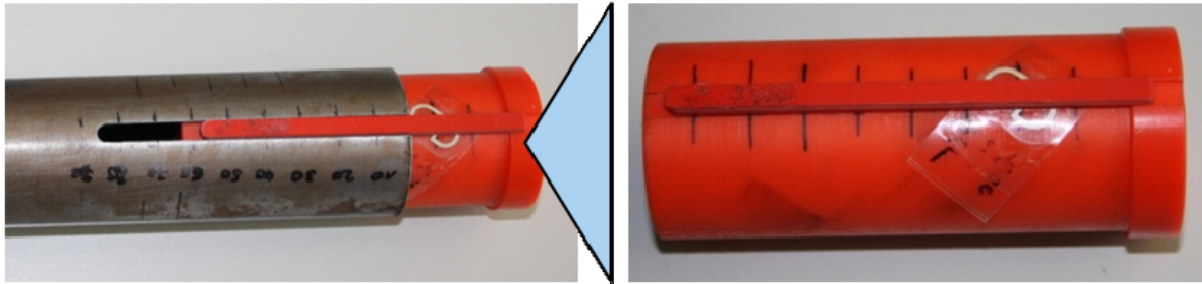


Abbildung 5-16: Kennzeichnungskonzept für metallische Rohrkörper

Abbildung 5-17 zeigt die erzielten Reichweiten mit (dunkelblau, grün) und ohne Stopfen (hellblau, orange). Ab einer Schlitzlänge von 56,25 mm wird mit Stopfen eine deutlich größere Reichweite erzielt. Dies liegt an der höheren relativen elektrischen Permittivität von PVC im Vgl. zu Luft bzw. Vakuum. Die Einbringung eines Stoffes in ein elektrisches Feld verändert dieses, was durch die relative elektrische Permittivität ausgedrückt wird [Fro-83].

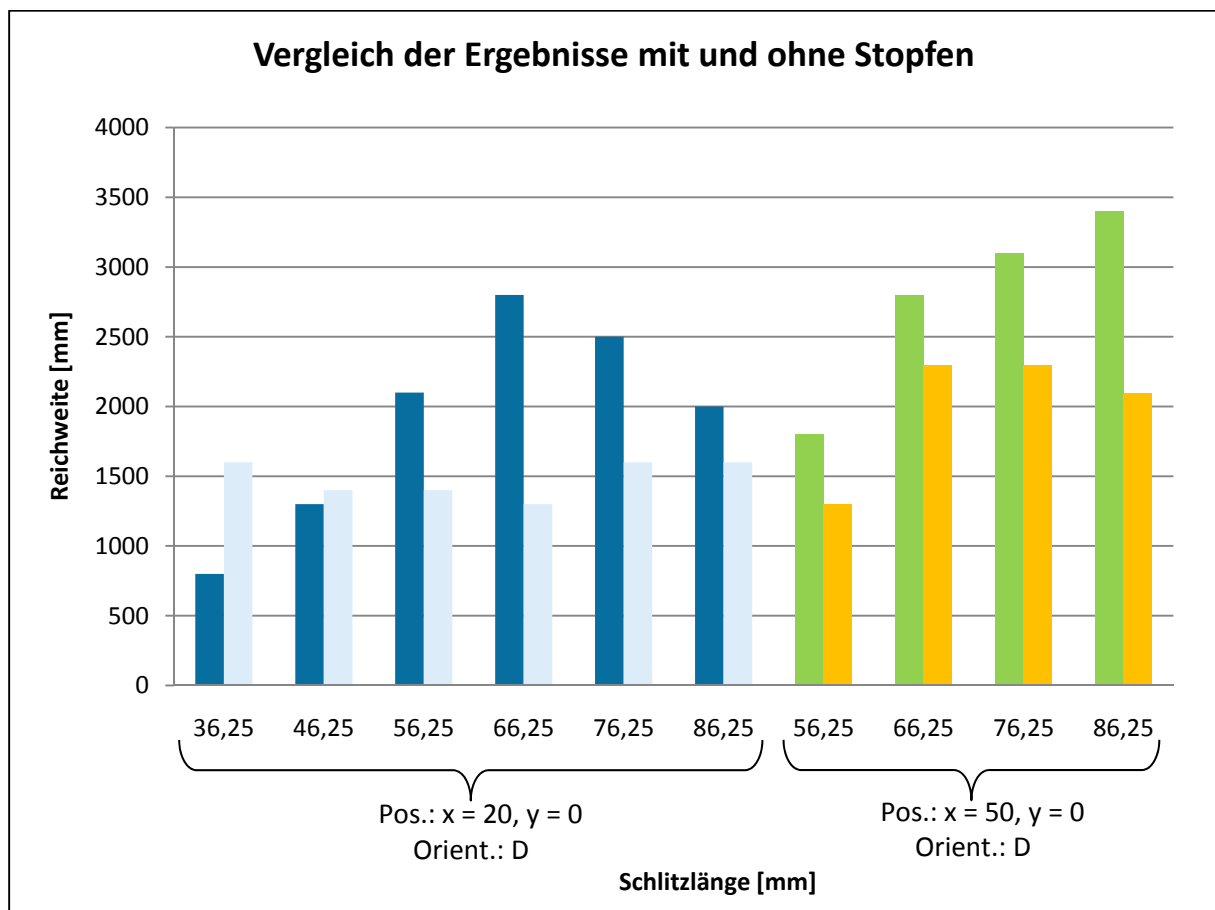


Abbildung 5-17: Reichweiten mit und ohne Stopfen

Dieser Effekt kann mit einer Verlängerung der Schlitzlänge verglichen werden. Besonders deutlich wird dieser Effekt bei Position $x = 20$ mm und bei einer Schlitzlänge von 66,25 mm. Mit Stopfen wird eine mehr als doppelt so große Reichweite erzielt

als ohne Stopfen. Bei den Schlitzlängen $l = 76,25$ mm und $l = 86,25$ mm werden die maximalen Reichenweiten kürzer, da der Schlitz hier durch das PVC theoretisch zu lange wird. Bei Position $x = 50$ mm fällt der beschriebene Effekt nicht mehr ins Gewicht. Hier steigt die maximale Reichweite mit der Vergrößerung der Schlitzlänge und bei maximaler Schlitzlänge wird ein Leseabstand von 3400 mm erreicht.

Zusammenfassung der Versuchsergebnisse

Die erzielten Ergebnisse zeigen eine sehr gute Integration von halboffenen Schlitzantennen in Rohrkörper. Sofern das Modul vorgefertigt wird, ist eine nachträgliche Einbringung jederzeit möglich. Zu beachten ist jedoch der hohe Versuchsaufwand. Für jeden Transponder gibt es eigene optimale Positionen und Orientierungen, die die Funktionsfähigkeit entscheidend beeinflussen. Kleine Abweichungen können das Ergebnis direkt verändern. Auch die Wahl des Dielektrikums trägt zur Funktionsfähigkeit des Systems bei. Den größten Einfluss hat jedoch die Qualität der Kopplung zwischen Transponder und Schlitzantenne. Bei den Tests mit dem Stopfen wurde besonders deutlich, dass ein geringer Abstand zwischen Schlitz und Transponder bereits erhebliche Einbußen in der Reichweite bzw. Lesbarkeit zur Folge hat. Sowohl der Stopfen als auch das Rohr müssen daher eine ausreichende Fertigungsgenauigkeit aufweisen. In Kapitel 9.1 wird das Konzept in praxisnahen Feldversuchen bewertet.

5.4.3 Schalungen

Schalungen werden als Gussform bei der Herstellung von Betonteilen aus Frischbeton genutzt. Aus den einzelnen Schalelementen wird die Form des späteren Bauteils als Negativ nach dem Schalplan erstellt. In diese Form wird anschließend Flüssigbeton gegossen. Die Schalungen müssen während der Aushärtung die Betonlasten sicher abstützen und eine genaue Formgebung gewährleisten. Nach der Aushärtung bzw. nach Ablauf der sogenannten Ausschallfrist, abhängig von Betonsorte, Temperatur oder Belastung, werden die Elemente in der Regel wieder entfernt.

Unterschieden werden können Schalungen zum Einen nach deren verschiedenen Anwendungen z.B. in Wand-, Rahmen- und Sichtbetonschalungen. Sie werden entweder als einzelne Schalelemente gelagert und auf die Baustelle geliefert oder als Systemschalungen aus einzelnen Elementen auf dem Bauhof vormontiert, auf die

Baustelle transportiert und gemäß dem Schalungsplan, der die genaue Konstruktion vorgibt, verbaut. Der Nutzen der Kennzeichnung einzelner Schalelemente liegt hauptsächlich in der reinen Identifikation, um Verwechslungen auszuschließen oder aufwandsarm die Vollständigkeit und Richtigkeit von Lieferungen zu kontrollieren. Systemschalungen hingegen weisen auf Grund ihres zumeist hohen Individualcharakters und der aufwändigen Erstellung eine hohe Wertigkeit auf und bieten damit weiterführende Einsatzpotenziale. Hinzu kommt die Möglichkeit, den richtigen Einbau gemäß den Vorgaben des Schalungsplans zu überwachen und zu dokumentieren.

Die einzelnen Schalelemente werden in der Regel im Freien in einem eigenen Bereich des Bauhofs nach Typen sortiert gelagert. Bei Bedarf werden sie als abgezähltes Stückgut auf die Baustelle geliefert und dort bevorratet. Systemschalungen werden auftragsbezogen mit einem gewissen Vorlauf vormontiert und auf dem Versandplatz oder einer Zwischenlagerzone bis zum Transport gelagert. Dabei sind sie jeweils der Witterung ausgesetzt. Ähnlich der Witterung kann feuchter Beton die Kommunikation zwischen SLG und Transponder beeinflussen. Den größten Anspruch stellen jedoch mechanische Belastungen an eine Kennzeichnungslösung. Im Einsatz werden die Schalelemente formschlüssig miteinander verbunden und gegen die Last des Flüssigbetons abgestützt. Oftmals kommen dabei starke Beanspruchungen in Form von Hammerschlägen oder Biegebelastungen mit dem Stemmeisen vor. Bei der Reinigung von Betonresten werden Hochdruckreiniger verwendet, die außen angebrachte Transponder beschädigen oder ablösen können.

Schalelement aus Metall mit Schlitzantenne

Schalelemente aus Metall bestehen aus einer Holzplatte, die in einem Rahmen aus Profilen aus massivem Stahlblech fixiert ist. Bei Schalelementen gibt es keine äußeren funktionsneutralen Flächen, die sich für die Anbringung von Transpondern eignen. Die äußere Holzplatte dient für das Betonteil als Sichtwand, während über die seitlichen Profile einzelne Schalelemente miteinander verschraubt werden. Eine Anbringung des Transponders auf der Unterseite der Holzplatte ist ebenfalls nicht sinnvoll, da diese im Laufe eines Lebenszyklus mehrmals ausgetauscht wird und gestapelte Schalelemente von der Seite nicht identifiziert werden können. Eine Erfolg versprechende Kennzeichnungslösung bietet daher nur die Integration von Transpondern. In einer ersten Versuchsreihe wurde hierzu das bereits in Kapitel 5.4.2 beschriebene Konzept der Schlitzantenne angewandt.



Abbildung 5-18: Schlitzkasten mit verstellbarer Schlitzlänge

Anhand eines Schlitzkastens, an dem mit einer verschiebbaren Metallplatte die Schlitzlänge stufenlos verstellt werden kann, wurde das Konzept getestet (siehe Abbildung 5-18). Zum Einsatz kamen verschiedene Labels unterschiedlicher Abmessungen und Eigenschaften (RSI 626, RSI 625, Alien Squiggle, Alien Omni Squiggle, UPM Raflatec Short Dipole, UPM Raflatec Frog, UPM Raflatec DogBone) und Hardtags sowie das SLG der Firma Feig. Zunächst wurden auf der automatischen Testbahn verschiedene Orientierungen und Positionen bei optimaler Schlitzlänge von ca. 170 mm mit dem Schlitzkasten getestet.

Die beiden horizontalen Achsen der Schlitzantenne und der Antenne des SLG liegen auf einer Ebene. Transponder größerer Abmessungen haben für die Anbringung auf dem Schlitz den Nachteil, dass sie bei gewinkelter oder senkrechter Positionierung zum Schlitz eine zu große ebene Fläche um den Schlitz für die Anbringung benötigen, die der Rahmen der Schalung nicht bietet. Im Sinne einer praxisnahen Anwendung müssen längliche Transponder daher parallel zum Schlitz angebracht werden. Unter diesen Voraussetzungen lieferten die Labels RSI 626 und RSI 625 trotz ihrer geringen Abmessungen von wenigen Zentimetern die besten Ergebnisse. Im weiteren Versuchsablauf wurden daher diese beiden Transponder auch mit kleineren Schlitzlängen getestet. Abbildung 5-19 stellt die erzielten Lesereichweiten für RSI 626 in Abhängigkeit der Schlitzlänge, Orientierung und Position auf dem Schlitz anschaulich dar. Bspw. stellt der untere Teil der Grafik die für die jeweilige Position optimale Orientierung auf der jeweiligen Schlitzlänge dar. Folgt man den eingezeichneten gestrichelten Linien erhält man für den auf der Schlitzantenne angebrachten Transponder die Lesereichweite im oberen Teil der Grafik.

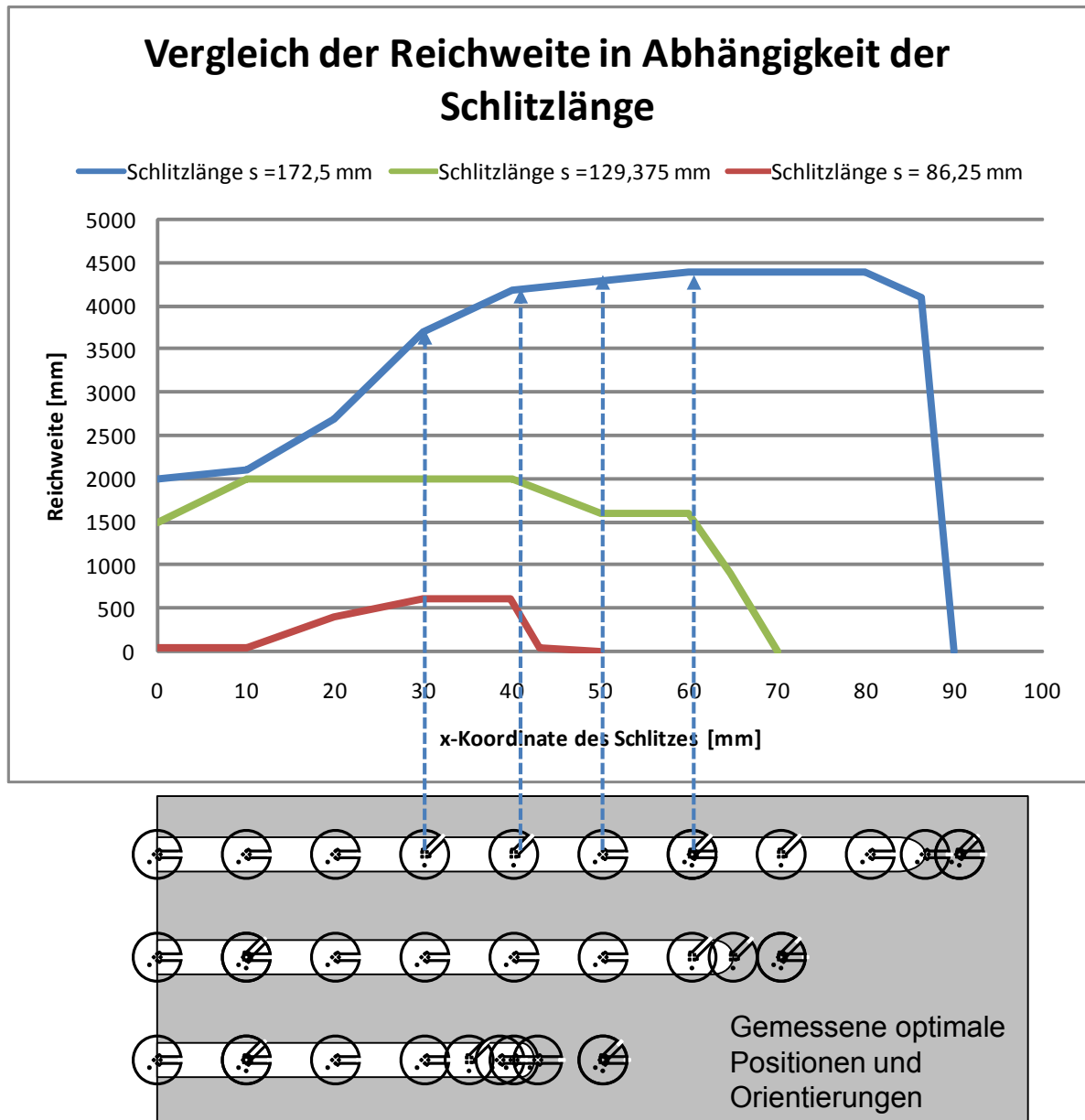


Abbildung 5-19: Einflussfaktoren auf die Lesereichweite

Im Rahmen der Versuchsreihen wurden des Weiteren Transponder mit stabilem Kunststoffgehäuse, sogenannte Hardtags, mit unterschiedlichen Abmessungen und Formen hinsichtlich der erzielbaren Lesereichweite getestet. Verglichen mit Labels haben sie den Vorteil, dass das Kunststoffgehäuse bei der Anbringung auf den Schlitz zugleich für dessen Versiegelung gegen den Eintritt von Schmutz oder Wasser sorgen kann. Jedoch weisen Hardtags bedingt durch ihre Bauweise einen durch die Gehäusestärke definierten Abstand zum Applikationsmaterial auf und können damit nicht direkt mit der Schlitzantenne koppeln. Die besten Versuchsergebnisse lieferten daher vergleichsweise lange Transponder wie Confidex Survivor oder CAEN

A918, deren Antennen sich über einen möglichst großen Abschnitt des Schlitzes erstrecken. Mit diesen konnten bei einer Schlitzlänge von ca. 170 mm Lesereichweiten von über fünf Metern erzielt werden.

Für die Integration einer Schlitzantenne in das Schalelement wurde eine modulare Lösung entwickelt. Die Schlitzantenne wird mit der entsprechenden Länge in eine Platte aus Stahlblech gefräst, der Transponder definiert und dauerhaft auf dem Schlitz befestigt.

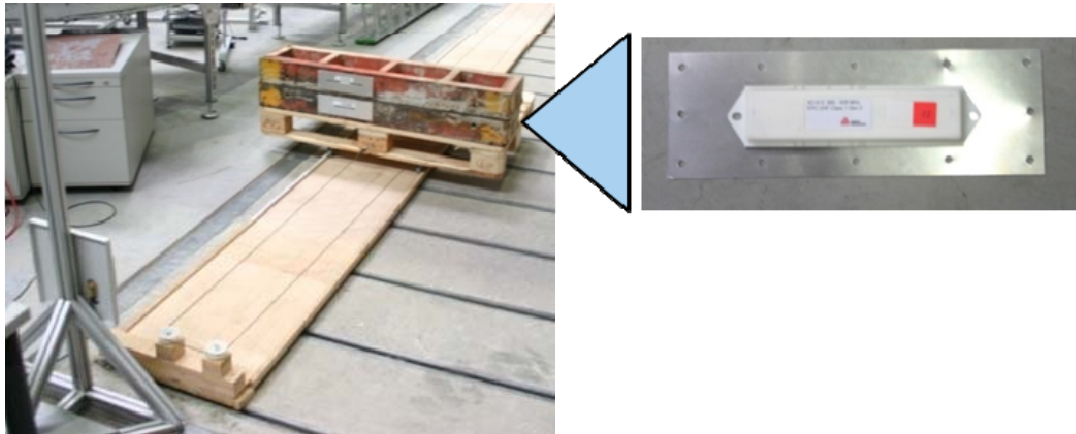


Abbildung 5-20: Kennzeichnungskonzept Schlitzantenne für Schalelemente

Wichtig ist die Abdichtung des Schlitzes gegen den Eintritt von Schmutz und Feuchtigkeit in das Schalelement in Form eines Kunststoffelements. Bei Hardtags mit entsprechender Abmessung kann das Gehäuse selbst diese Aufgabe erfüllen. Labels müssen in einen Träger aus Kunststoff, der den Transponder formschlüssig mit dem Schlitz verbindet, eingegossen werden. Darüber hinaus kann auf dem Kunststoffgehäuse eine Nase angebracht werden, die den Schlitz ausfüllt und neben der Schutzfunktion auch als Dielektrikum dient. Das fertige Modul kann mit dem Schalelement, in das zuvor eine entsprechende Aussparung eingebracht werden muss, verschweißt oder vernietet werden.

Schalelemente aus Metall mit Kunststoff-Stopfen

Als weitere integrative Kennzeichnungslösung bieten sich Kunststoff-Stopfen an, in die ein Transponder integriert werden kann. Diese können in eine Bohrung im Rahmen eines Schalelements bündig eingebracht werden (siehe Abbildung 5-21).

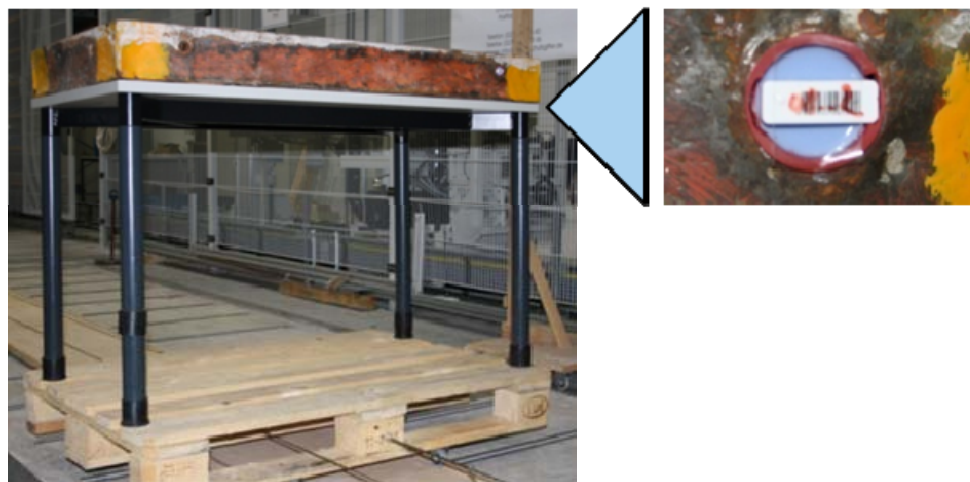


Abbildung 5-21: Kennzeichnungskonzept Stopfen für Schalelemente

Herstellerseitig werden jeweils zwei Bohrungen mit ca. 25 mm Durchmesser auf jeder Seite des Schalelements zur Verbindung von Schalelementen eingebracht. Diese Bohrungen gehen durch das Vierkant-Hohlprofil. Um eine sichere Verbindung zu gewährleisten und eine Verformung der Bohrung zu verhindern sind sie durch eine Hülse zwischen den gegenüberliegenden Profilwänden verstärkt. Eine zusätzlich eingebrachte Bohrung gleichen Typs kann für die Kennzeichnung genutzt werden.

Für die Versuche werden kleine UHF-Hardttags der Firma SkyRFID verwendet, die für den Einsatz in metallischem Umfeld geeignet sind. Diese werden in einen Silikonstopfen eingegossen und mit der Metalloberfläche bündig in das Schalelement gepresst. Die Testreihen werden an der Testbahn durchgeführt. Um etwaige Reflektionen des elektromagnetischen Felds am Boden, die das Versuchsergebnis beeinflussen können, zu vermeiden, wird das Schalelement in ausreichender Höhe angebracht. Untersucht wurde insbesondere die Abhängigkeit der Lesereichweite von der Ausrichtung der Antenne bzgl. des Transponders.

Bei den Versuchen treten große Unterschiede zwischen den verwendeten Transpondern auf. Die besten Ergebnisse liefert der Keramiktransponder Mini Metal Special Tag H3, während die anderen Transponder in dem beschriebenen Umfeld eingeschränkt funktionieren. Durch die bündige Einbringung in Metall ist eine direkte Abhängigkeit zwischen der Lesereichweite und dem horizontalen und vertikalen Versatz der Koordinatenursprünge von Antenne und Transponder, gemessen jeweils im Mittelpunkt, zu beobachten (siehe Abbildung 5-22).

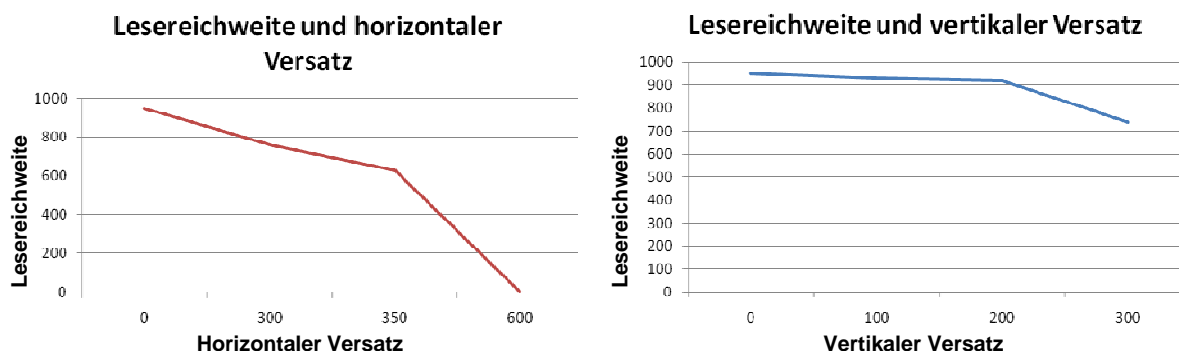


Abbildung 5-22: Lesereichweite bei Versatz zwischen Antenne und Transponder

Der Grund liegt in der eingeschränkten Einwirkung des von der Schreib-/Leseantenne primär abgestrahlten Feldes auf den Transponder. Von entscheidendem Einfluss ist hierbei die Bauweise bzw. der Öffnungswinkel der verwendeten Antenne. Mit dem SLG Deister UDL 500 ist bei einem horizontalen Versatz zwischen Transponder und Antenne von 350 mm die Lesereichweite bereits um ca. 40% reduziert (siehe Abbildung 5-22). Auch beim vertikalen Versatz von ca. 300 mm tritt eine Verminderung der Lesereichweite um ca. 25% auf.

Systemschalungen aus Holz

Systemschalungen werden aus Schalhäuten, die auf Holzträger montiert sind, zusammengebaut. Für den späteren Verbau auf der Baustelle gemäß dem Schalungsplan werden sie mit Typenschildern in Form kleiner Holzplatten gekennzeichnet, unter denen Labels sicher angebracht werden können. Alternativ ist es möglich, Hardtags direkt auf dem Holzträger zu verschrauben, da dieser eine funktionsneutrale Fläche darstellt (siehe Abbildung 5-23).



Abbildung 5-23: Kennzeichnungskonzepte für Systemschalungen aus Holz

In den Versuchsreihen werden verschiedene Labels unter einer Holzplatte angebracht, auf dem Holzträger befestigt und hinsichtlich ihrer Lesereichweite bewertet.

Ebenso wird die Kennzeichnung mit Hardtags getestet. Entscheidenden Einfluss auf die Kommunikation zwischen SLG und Transponder hat zum Einen die Verwendung von Holz als Applikationsuntergrund. Die meisten Transponder werden hinsichtlich ihrer Resonanzfrequenz auf Kunststoff oder Metall abgestimmt, weshalb Holz die Resonanzfrequenz und damit die Lesereichweite beeinflussen kann. Zum Anderen kann das elektromagnetische Feld durch Feuchtigkeit, die das Holz beim Aufenthalt im Freien aufnimmt, gedämpft werden.

Die Versuche werden wieder an der automatischen Testbahn mit SLG und Antenne der Firma Feig durchgeführt. Als Applikationsmaterial werden Schalungsträger der Firma Doka im trockenen und nassen Zustand verwendet. Als Transponder werden Labels (Alien Squiggle, UPM Rafsec Short Dipole, UPM Rafsec Frog, UPM Rafsec Web) und Hardtags (Confidex Ironside, Harting Ha-VIS RFID LT 86 (NT)) verwendet. Schon früher haben im Rahmen des Forschungsprojekts „RFID in der Logistik“ [FML-09b] des Lehrstuhls fml durchgeführte Versuchsreihen gezeigt, dass die verwendeten Labels in erster Linie für die Applikation auf Kunststoff vorgesehen sind. Dort werden Lesereichweiten von mehreren Metern problemlos erreicht.

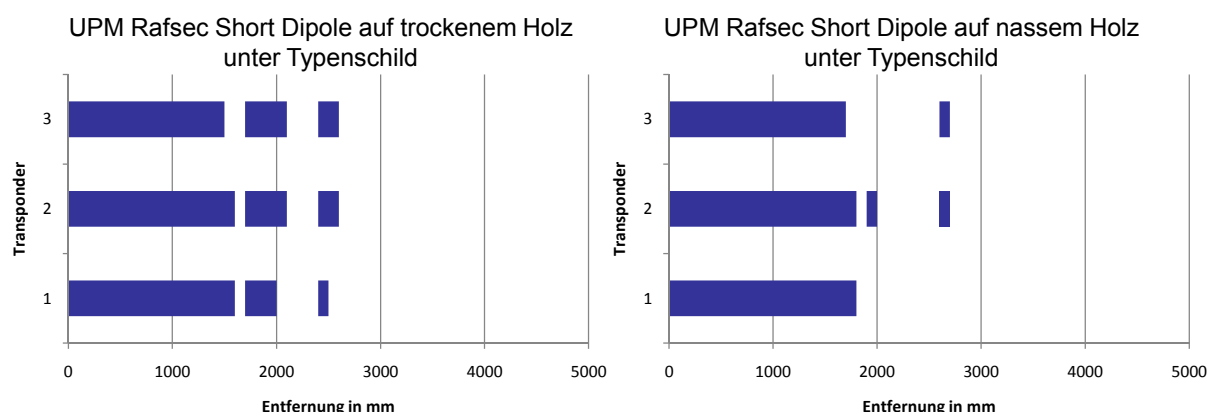


Abbildung 5-24: Lesereichweiten Short Dipole unter dem Typenschild

Die Applikation auf dem Holzschalungsträger führt zu einer Verstimmung der Resonanzfrequenz, die sich in einer deutlichen Reduzierung der Lesereichweite niederschlägt. Der Effekt wird durch feuchtes Holz noch verstärkt, da das vom SLG abgestrahlte elektromagnetische Feld direkt auf der feuchten Oberfläche, auf die das Label angebracht ist, gedämpft wird. Abbildung 5-24 zeigt die Lesereichweiten für das Label UPM Rafsec Short Dipole. Trotz der Beeinträchtigung durch Verstimmung und Dämpfung des elektromagnetischen Feldes können Lesereichweiten von knapp 2 Metern erzielt werden.

In einer zweiten Versuchsreihe wurden verschiedene Hardtags ebenfalls auf trockenen und feuchten Holzschalungsträgern angebracht. Die Ergebnisse sind in Abbildung 5-25 dargestellt.



Abbildung 5-25: Lesereichweiten WTUG-132 auf Holz

Vergleicht man in Abbildung 5-25 die Lesereichweiten bei der Applikation auf trockenem und feuchtem Holz, fällt die höhere Lesereichweite für letzteren Fall auf. Der Grund liegt in der Abstimmung des Hardtags auf metallische Oberflächen. Durch die erhöhte Oberflächenleitfähigkeit des feuchten Holzes verschiebt sich die Resonanzfrequenz wieder in Richtung der bei der Aufbringung auf Metall. Die Folge sind bessere Lesereichweiten.

Zusammenfassung der Versuchsergebnisse

Alle in den Versuchsreihen getesteten Kennzeichnungslösungen konnten ihre Funktionsfähigkeit unter Beweis stellen. Um Aussagen zur Anwendbarkeit in der Praxis treffen zu können, wurden einzelne Lösungen von Experten beurteilt. So können Schalelemente mit der Schlitzantenne zwar erfasst werden, jedoch bietet nach Aussage eines Schalungsherstellers ein außen angeschweißtes Transponder-Modul keine ebene Fläche, wie sie für eine saubere Verbindung nötig ist. Zudem weisen Schalelemente nach längerer Nutzung starke Beschädigungen und Verformungen in der Rahmenstruktur auf, die auch die Schlitzantenne verformen und damit verstimmen oder den Transponder zerstören können. Auch ist eine nachträgliche Einbringung eines derartigen RFID-Moduls für den Anwender nur schwer möglich. Hinzu kommt eine Schwächung der Rahmenstruktur durch die Integration.

Der Kunststoff-Stopfen, der sich in einer mit einer Hülse verstärkten Bohrung in einem nahezu verformungsfreien Bereich befindetet, lässt sich bündig in das Schalelement integrieren. Durch elastische Kunststoffe lassen sich zudem Schockbeanspruchungen abfangen. Für die Erfassung in der Praxis ist es jedoch

erforderlich, die ungefähre Position des Transponders zu kennen und das SLG darauf auszurichten, da es bereits bei relativ geringem Versatz zwischen Antenne und Transponder zu Einschränkungen der Identifikation kommt. Auch ist die Lösung nur in Zusammenarbeit mit einem Hersteller umzusetzen, da dieser Bohrung und Hülse bereits während der Fertigung einzubringen hat.

Für die Kennzeichnung von Systemschalungen aus Holz konnten sich wegen der hohen Reichweiten von über 3 Metern verschiedene Hardtags empfehlen. Mit Labels unter dem Typenschild der Schalung verringern sich die Lesereichweiten deutlich. Beide Lösungen sind für einen Praxistest geeignet (siehe Kapitel 9.1).

5.4.4 Maschinen und Geräte

Die Gruppe der Maschinen und Geräte ist gekennzeichnet durch eine hohe Vielfalt. Allen gemeinsam sind jedoch ausreichend große, zumeist metallische, funktionsneutrale Oberflächen für die äußere Anbringung von Transpondern. Hardtags mit entsprechend robustem Gehäuse lassen sich auf die Oberfläche nieten, schrauben oder kleben und damit sicher mit der Maschine verbinden. Geeignete Anbringungsmöglichkeiten sind bspw. etwas zurückgesetzte und damit geschützte Flächen oder senkrechte Mulden, in denen sich keine Feuchtigkeit sammeln kann.

Im Rahmen der Versuchsreihen wurden 16 Hardtags unterschiedlicher Größe und Bauform betrachtet, die auf eine Metallplatte aufgebracht und auf der automatischen Testbahn mit der Feig-Hardware getestet wurden. Alle Transponder sind für den Einsatz direkt auf Metall geeignet und erfüllen die Schutzklassen IP 64 und höher. Sie bestehen aus einem Inlay im Inneren, das aus dem Chip und der Antenne besteht.



Abbildung 5-26: Aufbau verschiedener Hardtags

Das Hartkunststoff-Gehäuse dient sowohl als Schutz des Inlay, als auch zur Gewährleistung eines definierten Abstands zwischen Inlay und Metalloberfläche. Die Resonanzfrequenz ist dabei auf den Einsatz im metallischen Umfeld abgestimmt.

Die besten Ergebnisse erzielen CAEN A918 mit über neun Metern sowie Confidex Survivor, Deister UDC 160 und Wisteq WTUG-132 mit über fünf bzw. über vier Metern Lesereichweite. Die Lesereichweite des CAEN ist dabei direkt proportional zu dessen Länge von 242 mm. Selbiges gilt für den Confidex mit 224 mm Länge. Für die äußere Anbringung im rauen Umfeld der Bauindustrie sind jedoch Transponder mit kompakten Abmessungen, nicht nur in Länge und Breite sondern auch in der Höhe, zu bevorzugen, da diese ein geringeres Risiko haben, zerstört, beschädigt oder entfernt zu werden. Die kleinsten Transponder im Test, verschiedene Modelle von SkyRFID, die schon für die Integration in die Schalung verwendet wurden, ermöglichen jedoch nur Lesereichweiten von bis zu einem Meter. Den besten Kompromiss bietet der Ironside von Confidex, der trotz kompakter Abmessungen von ca. 50 mm im Quadrat und einer Höhe von 10 mm Lesereichweiten von ca. vier Metern ermöglicht. Zudem besitzt er ein relativ elastisches Gehäusematerial und eine Schutzklasse von IP 68.

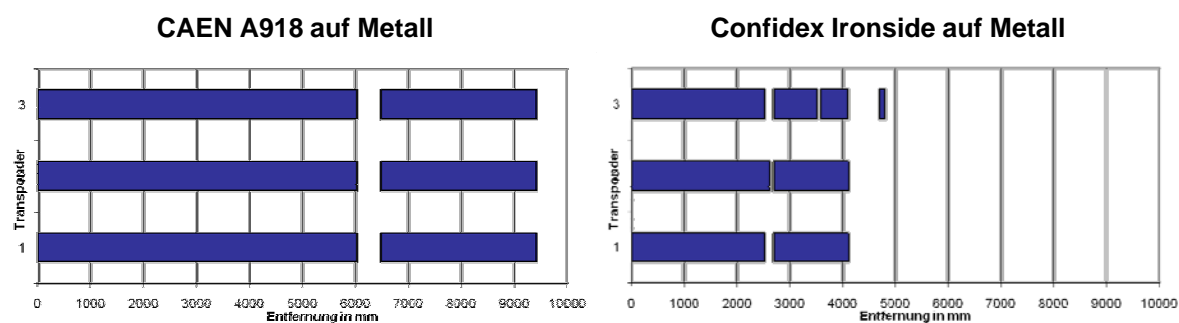


Abbildung 5-27: Lesereichweite verschiedener Hardtags auf Metall

Obige Abbildung stellt die Ergebnisse zweier Hardtags bei maximal zulässiger Feldstärke von 2,0 Watt ERP dar. Die Versuche werden in mehreren Iterationen durchgeführt. Ein durchgehender Balken entspricht einer erfolgreichen Erfassung, eine Unterbrechung steht für ein Leseloch. Um die mögliche Lesereichweite von temporären, lokal begrenzten Leselöchern unterscheiden zu können, wird nach der in Kapitel 5.3 beschriebenen Methode vorgegangen.

5.4.5 Kleingeräte

Kleingeräte sind Elektrogeräte für den Handbetrieb. Sie werden in der Regel im eigenen Gerätekofter, meist aus Kunststoff, geschützt gelagert und transportiert. Zumeist verfügen Kleingeräte über ein Kunststoffgehäuse, in einigen Fällen auch über ein Metallgehäuse und bieten funktionsneutrale Flächen sowohl für die äußere An-

bringung von Transpondern als auch deren Integration. Die größte Herausforderung ist die Anbringung der Transponder. Wie in Abbildung 5-28 ersichtlich, besteht das Innenleben eines Elektrogeräts zum großen Teil aus Metall. Zwar stellt das Gehäuse einen Abstand zu den leitenden Materialien im Inneren dar, bei direkter Anbringung auf dem Motorgehäuse kann es jedoch zur Beeinträchtigung der Erfassung kommen. Auch müssen die Transponder so angebracht werden, dass sie den ergonomischen Betrieb des Geräts nicht nachteilig beeinflussen, da sie sonst im Zweifelsfall vom Anwender entfernt werden. In den nachfolgend beschriebenen Versuchsreihen werden daher verschiedene Transponder im Hinblick auf deren Lesereichweite und praxisnahe Anbringung auf der Testbahn mit einem SLG LRU1000 der Firma Feig getestet.



Abbildung 5-28: Kennzeichnungskonzepte für Kleingeräte

Die Auswahl der Transponder erfolgt nach deren Leistungsfähigkeit, die im Rahmen von Grundagentests für jeden Transponder standardisiert auf unterschiedlichen Applikationsmaterialien ermittelt wird, sowie verschiedenen Abmessungen für eine flexible Anbringung bzw. Integration. Sie werden jeweils an verschiedenen Positionen am Gerät befestigt. Im Hinblick auf das für die Kleingeräte verwendete Identifikationspunkt-konzept „RFID-Theke“ (siehe Kapitel 6.3) sind vergleichsweise geringe Reichweiten von ca. einem halben Meter erforderlich. Die Geräte müssen in ihrem Kunststoffkoffer erfasst werden können.

Als exemplarische Kleingeräte wurden eine Handmetallsäge, ein Laser-Entfernungsmesser, eine Kartuschenpistole, ein Rutscher und eine Bohrmaschine ausgewählt. Im Gegensatz zu den anderen Geräten besitzen Säge, Kartuschenpistole und Fugenfräse einige metallische Gehäuseelemente, die bei der Kennzeichnung berücksichtigt werden müssen.



Abbildung 5-29: Ausgewählte Kleingeräte

Die Metallsäge hat im Bereich der Aufnahme des Sägeblatts ein durchgehendes metallisches Gehäuse, das in der Formschale des Koffers bündig liegt. Dort aufgebrauchte Hardtags erfordern demnach unter Umständen eine Anpassung der Formschale.

Elektrometall-Handsäge & Alien Squiggle - Tag im Griff integriert

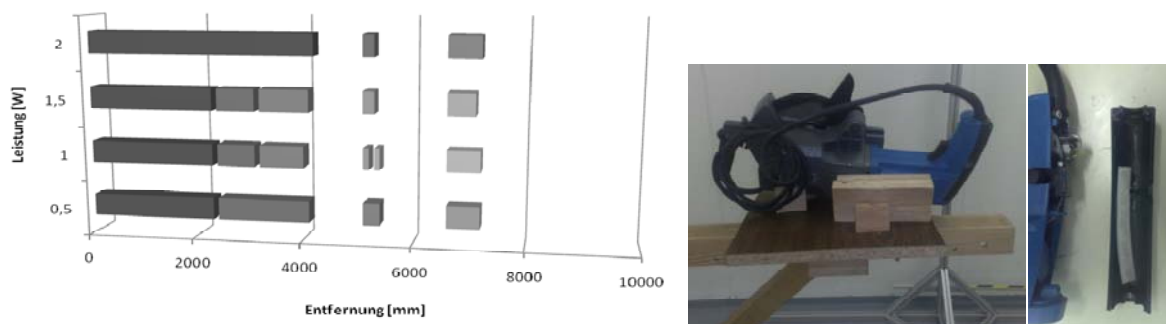


Abbildung 5-30: Lesereichweiten und Integration eines Alien Squiggle im Griff

Der mittlere Teil des Kunststoff-Gehäuses beherbergt den Antrieb, weshalb dort aufgebrauchte Labels nicht zuverlässig ausgelesen werden konnten. Daher wurden verschiedene Labels in den Griff integriert, dessen Schale sich leicht demontieren lässt. Zudem ist das Label geschützt und besitzt eine lange Lebensdauer. In Abbildung 5-30 sind die Versuchsergebnisse eines Squiggle Transponders bei verschiedenen Leistungsstufen und dessen Integration in den Gerätegriff dargestellt.

Die Lesereichweiten bei optimaler Ausrichtung des Gerätegriffs zur Antenne stellen sich mit ca. vier Metern mehr als ausreichend dar. Durch die etwas seitliche Anbringung des Transponders im Griffstück sind ähnliche Ergebnisse auch bei seitlichem Auslesen möglich.

Zwar weist der Laser-Entfernungsmesser auf der Rückseite seines Kunststoff-Gehäuses eine große funktionsneutrale Fläche auf, an der ein Label problemlos angebracht werden kann, trotzdem kann auf Grund des metallischen Innenlebens direkt unter dem Gehäuse keine Auslesung erfolgen. Die Stärke des Gehäuses ist demnach als Abstandsmaterial zur Entkopplung von Label und Metall nicht ausreichend bemessen. Hardtags oder Labels, die auf ein wenige Millimeter starkes Kunststoff-

plättchen aufgebracht werden, können jedoch zuverlässig auch durch die Geräteta-sche erfasst werden.

Eine Kartuschenpistole besteht teilweise oder vollständig aus Metall. Zumeist ist der Träger für die Kartusche aus Metall, oftmals auch der Pistolengriff. In diesem Fall sind kleine Hardtags wie der SkyRFID Mini Metal Special Tag H3 sehr gut für eine Kennzeichnung geeignet. Zum Einen kann dieser wegen seiner geringen Abmes-sungen einfach außen angebracht werden, ohne die Ergonomie für den Benutzer zu beeinträchtigen. Zum Anderen kann der Transponder direkt auf die Metalloberfläche geklebt werden. Ist der Transponder der Antenne des SLG zugewandt, werden auf Metall Lesereichweiten von ca. einem Meter erreicht.

Der untersuchte Rutscher und die Bohrmaschine weisen ähnliche relevante Merkma-le für die Kennzeichnung auf, weshalb deren Versuchsergebnisse an dieser Stelle zusammen beschrieben werden. Sie sind vollständig in einem Gehäuse aus Hart-plastik gekapselt. Im mittleren Teil befinden sich die Komponenten des Elektroan-triebs (siehe Abbildung 5-28, links). Bei einer Anbringung von Labels an diesem Gehäuseteil konnten daher keine zuverlässigen Leseraten erzielt werden. Mitunter konnten die Transponder gar nicht erfasst werden. Zur Kennzeichnung bietet sich deshalb der Gerätegriff an. Dieser bietet eine funktionsneutrale Anbringungsfläche und ist bis auf den Geräteschalter und die Verbindungskabel zum Motor frei von me-tallischen Einflüssen. Auch schränken Labels bei formschlüssiger Anbringung am Griff die Produktergonomie nicht ein. Ein wichtiges Kriterium hierbei ist das Verhält-nis der Abmessungen eines Labels. In den meisten Fällen können längliche schmale Labels besser angebracht werden, als Transponder mit einem Verhältnis nahe eins, da der Griff ebenfalls eher lang und schmal ist.

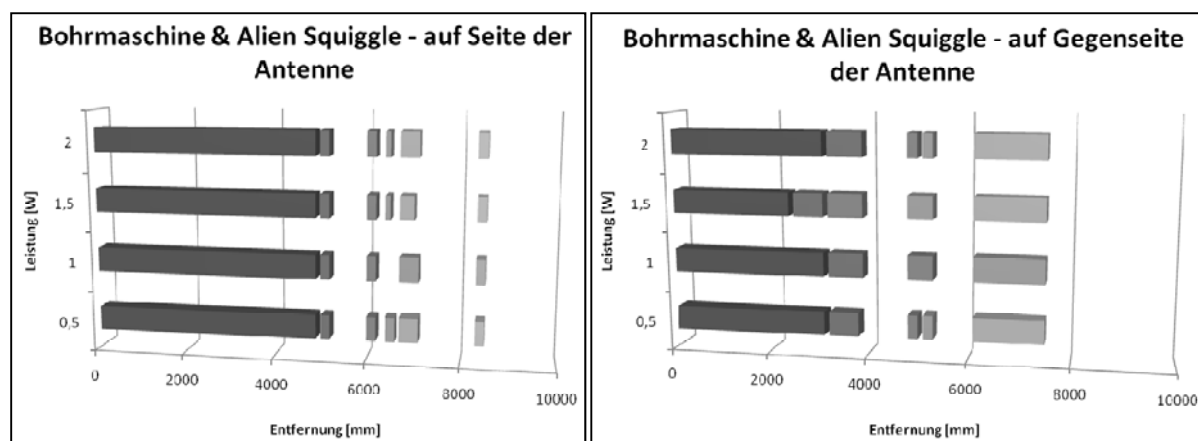


Abbildung 5-31: Lesereichweiten für Alien Squiggle am Griff

Derartige Labels bieten sehr gute Lesereichweiten, wie Abbildung 5-31 verdeutlicht. Das Label vom Typ Alien Squiggle wurde an der Seite, die zur Unterseite des Kofferbodens zeigt, am Gerätegriff angebracht. Durch den geringen Einfluss von Metall im Griff kann der Transponder auch von der Antennen-abgewandten Seite noch sehr gut ausgelesen werden.

Zusammenfassung der Versuchsergebnisse

Die Versuchsreihen zur Kennzeichnung von Kleingeräten lassen sich wie folgt zusammenfassen. Generell lassen sich Kleingeräte mit Transponder relativ einfach kennzeichnen. Bei der Erfassung des Geräts im Kunststoffkoffer werden kaum schlechtere Lesereichweiten erzielt, als ohne Koffer. Sofern jedoch Metallkoffer verwendet werden, können Geräte im Inneren nicht identifiziert werden (Effekt des Faradayschen Käfigs). Voraussetzung für die Erfassung eines Geräts ist die genaue Position des Labels, da die Nähe metallischer Antriebskomponenten im Gehäuse eine Erfassung eines nahe angebrachten Labels verhindert. Die beste Position bietet der Gerätegriff durch das Fehlen metallischer Komponenten im Inneren. Dort lassen sich insbesondere schmale Labels sicher und ergonomisch befestigen, die zudem wegen ihrer guten Antennengeometrie gute Lesereichweiten ermöglichen. Für die Anbringung auf Metallgehäusen eignen sich kompakte OnMetal-Transponder.

Trotz augenscheinlich vorhandener funktionsneutraler Flächen kann bei nicht ausreichendem Abstand zu metallischen Komponenten im Inneren ein Label mitunter schlecht ausgelesen werden. Abstandsmaterialien in Form dünner Kunststoff-Platten entkoppeln das Label und gewährleisten eine Erfassung. Die erzielten Reichweiten von mehreren Metern sind darüber hinaus bei Weitem ausreichend für eine Nutzung im Rahmen der RFID-Theke (siehe Kapitel 6.3). Hierfür müssen die Transponder auf der dem Kofferboden zugewandten Gehäuseseite angebracht werden, um auf der Theke im Koffer identifiziert werden zu können.

5.4.6 Betonteile

Die Kennzeichnung von Betonteilen bringt entscheidende Vorteile für die zeitnahe Dokumentation von Fertigung, Materialfluss und positionsgenauem Verbau sowie die Rückverfolgbarkeit der einzelnen Betonteile im Falle von Haftungsfragen bei Bau-

schäden. Sie werden zumeist auf dem Bauhof auftragsweise gefertigt und auf die Baustelle geliefert, wo sie zwischengelagert oder just in time verbaut werden.

Die Fertigung beginnt mit dem individuellen Bewehrungskorb, der in verschiedenen Stationen erstellt wird. Die Bewehrung wird aus einzelnen Stangen aus Baustahl mit Durchmessern zwischen 4 und 12 mm gefertigt, die zu einem Gerüst mit variabler Maschenweite zusammen geschweißt werden. Aktuell dient zur Dokumentation dieser Arbeitsschritte eine Materialbegleitkarte, die das Betonteil bis zur Auslieferung begleitet. Der Korb bildet das Skelett des Betonteils und nimmt vertikale Zug- und Druckspannungen auf. Im letzten Schritt wird der Korb in einen Rahmen aus Schalenelementen, die die Geometrie des Betonteils vorgeben, eingebracht. Danach wird die Form mit Flüssigbeton einer festgelegten Mischung ausgegossen. Rüttelmaschinen an der Schalung verdichten den Beton durch Schwingungen. Nach der ersten Aushärtung wird die Schalhaut entfernt und das Betonteil gelagert. Die vollständige Aushärtung kann je nach Temperatur und Luftfeuchtigkeit ca. einen Monat dauern [DIN-08].

Für die Kennzeichnung von Betonteilen muss der Transponder im ersten Arbeitsschritt mit dem Bewehrungskorb verbunden und in den Beton eingegossen werden. Die erste Anforderung an die Kennzeichnungslösung liegt also zunächst in der Fixierung des Transponders in der Bewehrung. Zum Einen darf sich die durch die Anbringung definierte Lage des Transponders im Betonteil während der folgenden Arbeitsschritte und insbesondere beim Eingießen in den Beton nicht verändern. Eine Veränderung der Ausrichtung des Transponders kann die Lesereichweite stark beeinträchtigen. Zum Anderen sind Vorgaben bzgl. der erforderlichen durchgehenden Wandstärke von Betonteilen zu beachten. Diese sollte zwischen 30 und 50 mm betragen, da bei dieser Wandstärke ein alkalisches Milieu mit einem pH-Wert zwischen 12 und 14 den Stahl vor Korrosion schützt [Rus-93]. Auch darf die Festigkeit des Bauteils nicht negativ beeinflusst werden. Die Einbringtiefe wirkt sich direkt auf die Dämpfung des elektromagnetischen Feldes und damit die mögliche Lesereichweite aus.

Ebenfalls Teil der Versuchsreihen muss der mögliche Einfluss des sich verändernden Feuchtigkeitsgehalts nach dem Eingießen bis hin zur vollständigen Trocknung der Betonmischung sein. Geklärt werden muss die Frage, wann sich der Transponder zuverlässig auslesen lässt. Für die Anwendung in der Praxis ist letztlich die erforderliche Lesereichweite entscheidend. Sollen der planmäßige Verbau oder die

Fertigungsschritte kontrolliert und dokumentiert werden, muss sich der Transponder auch auf der Baustelle bequem erfassen lassen, ohne dessen exakte Position im Bauteil zu kennen. Lesereichweiten von etwa einem Meter oder mehr sind hierfür ausreichend. Sollen die Transponder dagegen auch für die Materialflussdokumentation genutzt werden, sind deutlich höhere Reichweiten von zwei bis drei Metern erforderlich.

Die Versuchsreihen werden auf der automatischen Testbahn mit einem SLG der Firma Feig durchgeführt. Verwendung finden die Labels Alien Squiggle, Alien Omni Squiggle, UPM Rafsec Short Dipole, UPM Rafsec Dogbone, UPM Rafsec Frog sowie die Hardtags Avery Dennison AD-908, Harting LT86 (NT), Intermec Small Rigid, Intermec Large Rigid, Wisteq WTUG-132 und Confidex Ironside.

Zu Anfang werden maßgebliche Einflüsse für die Versuchsdurchführung bewertet. Im ersten Schritt werden die genannten Transponder auf einer trockenen Vollholzplatte mit einer Stärke von 12 mm angebracht, um deren Lesbarkeit auf Holz, auf welchem sie später im Betonteil angebracht werden, testen zu können. Bei den Hardtags unterscheiden sich die Lesereichweiten auf Grund des durch den Aufbau bedingten Abstands zur Applikationsoberfläche bei Sperrholz und Kunststoff kaum voneinander. Bei der Anbringung auf Hartholz ist jedoch eine deutliche Verringerung der Lesereichweite zu beobachten. Bei den Labels, die in der Regel auf Kunststoffoberflächen appliziert werden, bewirkt bereits Sperrholz als Untergrund eine Reduzierung der Lesedistanz. Der Effekt wird auf Hartholz weiter verstärkt.

Die Orientierung der Transponder zur Antenne des SLG spielt eine große Rolle für deren Identifizierung. Bei einer zirkular polarisierten Antenne, wie sie im vorliegenden Fall verwendet wurde, ist der Transponder zur optimalen Erfassung stirnseitig parallel zur Antenne anzubringen, da die Vektoren des elektromagnetischen Feldes eine möglichst große Fläche der Transponder-Antenne abdecken müssen, um eine möglichst hohe Spannung im Speicherchip zu induzieren. Unsymmetrische Ausführungen der Transponder-Antenne hinsichtlich dessen Längs- oder Querachse wirken sich ebenfalls auf die Lesereichweite aus. Deutlich unabhängiger von dieser Orientierung sind Alien Omni Squiggle oder UPM Rafsec Frog, deren Antennen-Geometrie einen mehrdimensionalen Aufbau aufweisen. Für die spätere Anbringung der Transponder im Beton ist die Kenntnis ihrer optimalen Orientierung wichtig. Die Kennzeichnungslösung muss daher während des Fertigungsprozesses für die Fixierung des Transponders Sorge tragen.

Im Anschluss wurden Konzepte zur genauen Befestigung des Transponders auf der Bewehrung analysiert. Zur Minimierung des Einflusses von Metall durch einen größeren Abstand ist der Bewehrungsstab, der sich in Längsrichtung des Transponders befindet, unter dem Querstab angebracht. Eine direkte Befestigung in den Maschen des Bewehrungskreuzes wurde wegen Problemen mit einer zuverlässigen Haltbarkeit der Verbindung während der Fertigung verworfen. Zudem ist die Integrationsmöglichkeit geeigneter Transponder entscheidend von der Maschenweite abhängig. Insbesondere in engmaschigen Bewehrungskörben ist eine geeignete Fixierung kaum möglich. Für die zuverlässige Kennzeichnung werden die Transponder daher auf eine Hartfaserplatte mit 2 mm Stärke aufgeklebt und auf der Bewehrung mit Kabelbindern festgezurt. Um den Einfluss der Bewehrung zu testen, wurde die Platte in verschiedener Weise positioniert (siehe Abbildung 5-32).

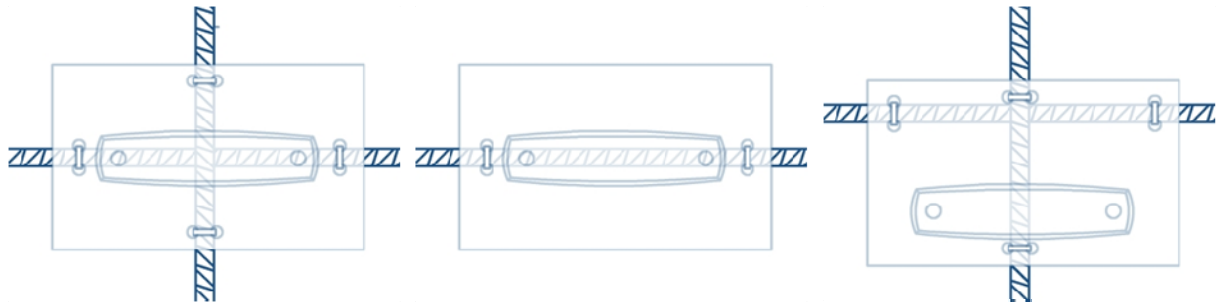


Abbildung 5-32: Anbringung der Transponder in Beton

Die linke Skizze in Abbildung 5-32 stellt die Anbringung der Platte mit Transponder direkt auf dem Bewehrungskreuz dar. Mittig ist der Transponder längs auf dem Bewehrungsstab festgezurt. Die rechte Skizze zeigt die Befestigung der Platte derart, dass der Transponder unterhalb des Bewehrungskreuzes liegt.

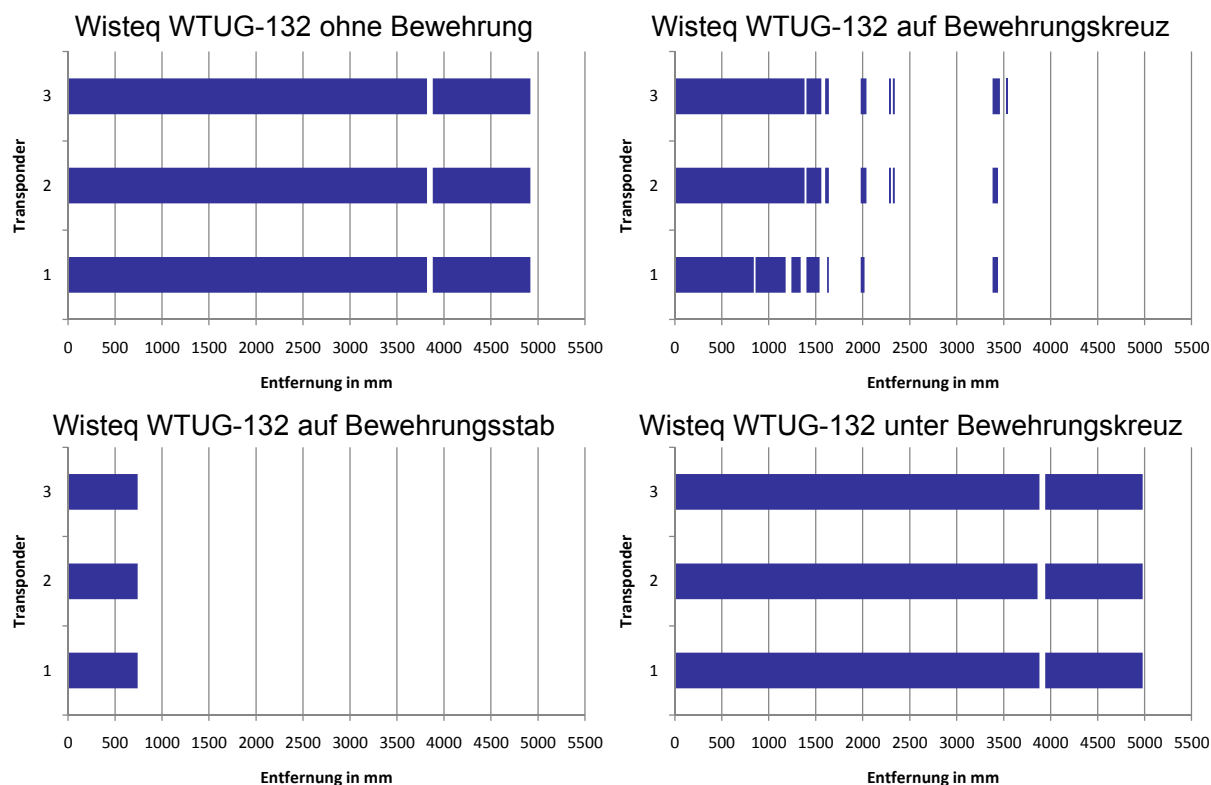


Abbildung 5-33: Einfluss der Bewehrung mit Wisteq WTUG-132

Abbildung 5-33 sind auf der Hochachse die Leseraten und auf der Längsachse die verschiedenen Lesereichweiten für einen Hardtag zu entnehmen. Das beste Ergebnis bietet die Anbringung des Transponders unterhalb des Bewehrungskreuzes, da hier der Metalleinfluss am minimalsten ist.

Das gleiche Ergebnis hinsichtlich der optimalen Position des Transponders stellt sich auch für Labels dar. Da diese bei direkter Verklebung auf der Hartfaserplatte auf der Bewehrung nicht zu erfassen waren, wurden sie auf eine ca. 5 mm starke Schaumstoffschicht geklebt. Durch das Abstandsmaterial konnten die Labels sehr gut in Entfernungen zwischen 1,5 und über 3 Metern identifiziert werden.

Mit den Erkenntnissen der Vorversuche wurden die Transponder auf der Hartfaserplatte verklebt und unterhalb des Bewehrungskreuzes fixiert in den Beton eingegossen. Die Labels wurden wie in den Vorversuchen mit Schaumstoff umhüllt. Bei einer Bewehrungstiefe von 32 mm konnten alle Transponder so in den Beton eingebracht werden, dass sie je nach Baugröße mit einer Mindestbetonschicht von etwa 17 mm umgeben waren.

Während die Labels von Alien kaum erfasst werden können, weisen ihre Pendants von UMP Rafsec stabile Lesereichweiten von 0,7 Meter (Frog), 1,2 Meter (Short Dipole) und 1,3 Meter (Dogbone) auf. Bei den Hardtags werden die besten Ergebnisse

mit dem Avery Dennison AD 908 erzielt. Im deutlichen Kontrast zu seinen bisherigen Lesereichweiten kann der Wisteq WTUG-132 in Beton nur direkt vor der Antenne erfasst werden. Mitverantwortlich hierfür dürfte der im Vergleich zum AD 908 sehr flache Aufbau sein, in Folge dessen sich der Transponder weiter unter der Betondecke befindet. Zudem ist das Label direkt unter dem Gehäuse und damit näher zum Beton angebracht. In Abbildung 5-34 sind die Ergebnisse für AD 908 und UPM Rafsec Dogbone dargestellt.

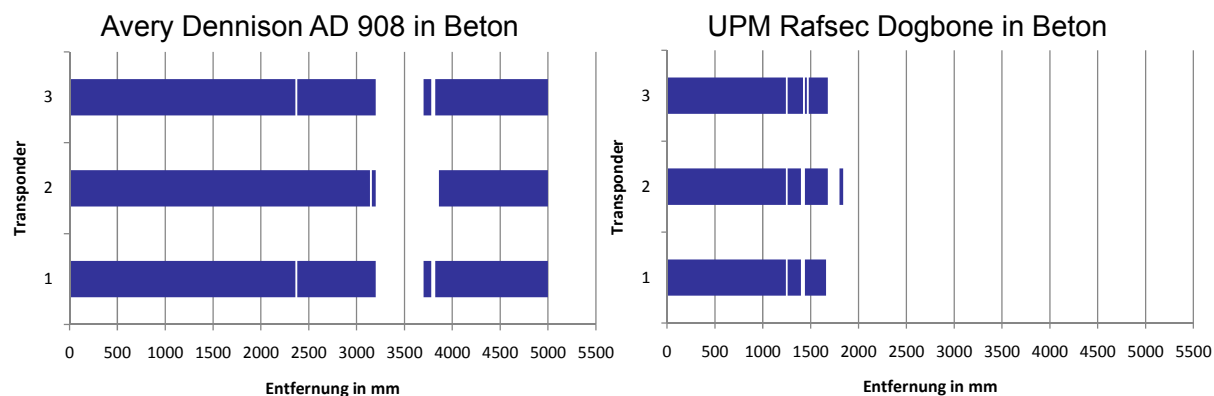


Abbildung 5-34: Lesereichweiten Dogbone und AD 908 in Beton

In den abschließenden Versuchsreihen wurden der Einfluss der Wandstärke des Betons sowie die Lesbarkeit des Transponders in Abhängigkeit vom Grad der Austrocknung bestimmt. Zunächst wurde der AD 908 in eine nun 50 mm unter der Betondecke liegende Bewehrung aufgebracht. Dabei konnte kein nennenswerter Einfluss weder auf die Lesereichweite noch auf die Leserate festgestellt werden.

Auf Grund des hohen Feuchtigkeitsgehalts war davon auszugehen, dass sich Betonteile erst mit zunehmender Aushärtung zuverlässig auslesen lassen. Hierzu wurden alle vier Stunden Messreihen mit einem in einen Betonblock eingegossenen Transponder vom Typ Intermec Large Rigid durchgeführt. Diese Annahme konnte dabei nicht bestätigt werden. Da das Verhältnis zwischen Zement und Wasser etwa 2:1 und zwischen Kies und Zement 4:1 beträgt, ist der tatsächliche Wassergehalt im Beton relativ gering. Dabei wird der größte Teil des Wassers als Kristallwasser gebunden, weshalb das Wasser im Beton bleibt, dieser also abbindet und nicht trocknet.

5.5 Zuordnung von Datenträgern und Betriebsmitteln

Im Rahmen der für die einzelnen Betriebsmittel durchgeführten Versuchsreihen wurden verschiedene SLG sowie Labels und Hardtags im Hinblick auf deren Eignung für

den Einsatz im Umfeld der Bauindustrie untersucht. Ziel ist es aufzuzeigen, dass der erfolgreiche RFID-Einsatz nicht von spezieller Hardware abhängig ist, sondern mit jeder bereits am Markt verfügbaren Hardware möglich ist. Kostenintensive Sonderlösungen für die Bauindustrie sind zu vermeiden und bedeuten lediglich eine starke Einschränkung in der Nutzung von RFID-Hardware.

Trotzdem gibt es für die verschiedenen Anwendungsfelder Kennzeichnungskonzepte, die sich besser eignen als andere. An dieser Stelle werden deshalb kurz sinnvolle Transponderlösungen für die einzelnen Betriebsmittel dargestellt.

Anbauteile wie bspw. Bohrröhre, die keine oder nur stark eingeschränkte Möglichkeiten für eine äußere Anbringung von Transpondern bieten, erfordern integrative Kennzeichnungskonzepte. Dabei wird ein Label geschützt in einen Träger eingebracht, der wiederum in das Bauteil integriert wird. Das optimale Label hängt dabei in erster Linie von den zur Verfügung stehenden Platzverhältnissen ab. Die besten Lesereichweiten konnten mit den länglichen Labels vom Typ Alien Squiggle oder UPM Rafsec Short Dipole erzielt werden. Ebenfalls gute Ergebnisse lieferte der Transponder UPM Rafsec Web, der mit einem Längen-Breiten-Verhältnis nahe eins eine deutlich andere Geometrie und damit Integrationsfähigkeit aufweist.

Für Anbauteile wie Baggerschaufeln aber auch für größere Geräte und Maschinen, die über ausreichende funktionsneutrale Flächen für eine äußere Anbringung verfügen, sind Hardtags, die sich für den Einsatz direkt auf Metall eignen, zu verwenden. Damit der Transponder nirgends hängen bleiben oder beschädigt werden kann, sind für die Anbringung keine freiliegenden Flächen zu wählen, an denen der Transponder den höchsten Punkt darstellt. Ideal sind verwinkelte Oberflächen, auf denen der Transponder geschützt und trotzdem nicht verdeckt ist. Die Transponder müssen hohe Schutzklassen von mindestens IP 64 erfüllen. Beim Werkstoff des Gehäuses sind schlagzähe Kunststoffe zu bevorzugen, die auftretende Schockbeanspruchungen oder Schläge kompensieren sowie auch bei Temperaturwechseln oder Sonneneinstrahlung nicht verspröden. Zudem sind möglichst kompakte bzw. der Geometrie folgende Produkte zu verwenden. Für die Anbringung auf einer länglichen Fläche eignen sich Hardtags wie der CAEN A918, Confidex Survivor, Deister UDC 160, Siemens RF620T und Wisteq WTUG-132. Kompakte Abmessungen und trotzdem eine gute Reichweite liefert der Confidex Ironside.

Eine gute Möglichkeit zur Kennzeichnung metallischer Rohrkörper bietet die Schlitzantenne. Auf diese werden Labels in direkter Kopplung angebracht. Für optimale Le-

sereichweiten sind die Orientierung und Position des Transponders auf dem Schlitz sowie dessen Abmessungen entscheidend. Diese Kombination muss in Versuchsreihen für jeden Transponder bestimmt werden. Insbesondere bei kleineren Rohrdurchmessern sind kompakte Labels wie RSI 625 und RSI 626 zu verwenden. Deren formschlüssige Kopplung ist durch Kunststoffstopfen möglich, die in das Rohr eingebracht werden und auf denen der Transponder lagerichtig aufgebracht ist.

Für die Ausrüstung von einzelnen metallischen Schalelementen eignen sich kleine robuste OnMetal-Transponder, die in den Rahmen der Schalung integriert werden. Mit einer Länge von 25 mm sehr klein und trotzdem mit Reichweiten von etwa einem Meter ist hierfür der Keramiktransponder SkyRFID Mini Metal Special Tag H3 gut geeignet. Transponder mit vergleichbaren Leistungsparametern sind auch von anderen Herstellern erhältlich. Bei geeigneter Einbringung in einen Stopfen kann er sicher in das Schalelement integriert werden. Der Stopfen kann dabei Belastungen wie Schläge oder Stöße, die direkt auf den Transponder einwirken würden, aufnehmen und absorbieren. Geeignete Materialien sind bspw. Silikon oder Gummi.

Bei Systemschalungen können sowohl Hardtags als auch Labels eingesetzt werden. Erstere werden direkt auf den Träger aufgebracht. Zweitere erfordern auf Grund ihrer wenig robusten Bauweise eine geschützte Anbringung bspw. durch Integration im Typenschild. Die Hardtags zeigen insbesondere auf feuchtem Holz eine deutlich höhere Lesereichweite von mehreren Metern, während mit Labels mit Reichweiten nicht über etwa 1,5 Meter zu rechnen ist.

Kleingeräte, deren Gehäuse teilweise oder vollständig aus Kunststoff besteht, können mit Labels gekennzeichnet werden, die außen am Gehäuse angebracht werden und damit leicht nachrüstbar sind. Die beste Position ist wegen der fehlenden metallischen Komponenten im Inneren, die die Lesbarkeit des Transponders beeinflussen können, der Gerätegriff. Bei der Anbringung in direkter Nähe zum Elektroantrieb kann der Transponder mitunter deutlich schlechter oder nicht erfasst werden. Insbesondere längliche Labels wie der Alien Squiggle oder der UPM Rafsec Short Dipole lassen sich gut entsprechend der Geometrie des Griffs anbringen, ohne die Ergonomie für den Anwender zu beeinträchtigen.

Verfügen Kleingeräte über ein metallisches Gehäuse, müssen OnMetal-Transponder mit möglichst kleinen Abmessungen verwendet werden, die sich anbringen lassen, ohne die Bedienung des Geräts zu erschweren. Eine gute Leistung wurde hierbei mit dem SkyRFID Mini Metal Special Tag H3 erreicht. Im Gegensatz zu Labels können

sie überall am Gehäuse direkt auf das Metall geklebt werden. Zu beachten ist, dass das Gerät auch bei appliziertem Transponder noch passgenau in die Formschale des Gerätekooffers passt.

Bei der Kennzeichnung von Betonteilen konnten Hardtags deutlich bessere Lesereichweiten erzielen als Labels. Die besten Ergebnisse für diesen Anwendungsfall lieferten der AD 908 bzw. der UPM Rafsec Dogbone. Durch die hohe Abhängigkeit zwischen Lesereichweite und Orientierung sind Kennzeichnungskonzepte erforderlich, die den Transponder bereits zu Beginn der Fertigung am Bewehrungskorb sicher fixieren. Zudem spielt die genaue Position auf der Bewehrung eine große Rolle. Gute Ergebnisse wurden mit einer Hartfaserplatte, auf die der Transponder aufgeklebt wird und die diesen eindeutig auf der Bewehrung positioniert, erreicht.

Generell ist an dieser Stelle der große Preisunterschied zwischen Hardtags mit Stückpreisen von ca. drei bis sechs Euro und Labels mit ca. zehn bis zwanzig Euro-Cent zu erwähnen. Bei geeigneter Anbringung verbleibt ein passiver Transponder jedoch langfristig am Betriebsmittel, weshalb die Kosten für die Anbringung mit Transpondern einen einmaligen Investitionsaufwand darstellen.

Auch muss beachtet werden, dass baugleiche Transponder desselben Typs bei gleicher Versuchskonfiguration unterschiedliche Leseergebnisse liefern können, was auf minimale Ungenauigkeiten bei der Fertigung zurückzuführen ist. Daher sind die angegebenen Zahlenwerte für die Lesereichweite nur als Anhaltspunkte für eine grobe Einteilung und Bewertung der Transponder zu verstehen.

6 Entwicklung geeigneter Identifikationspunkt-konzepte

Neben den Versuchsreihen zur Erarbeitung von Kennzeichnungsmöglichkeiten ist die Entwicklung und Umsetzung geeigneter Identifikationspunktkonzepte ein Schwerpunkt des Forschungsprojekts. Dazu werden als Erstes bekannte Erfassungskonzepte analysiert und hinsichtlich eines Einsatzes in der Bauindustrie bewertet. Anschließend werden das Mobile Gate und die RFID-Theke als zwei geeignete Identifikationspunkte vorgestellt.

6.1 Analyse und Bewertung gängiger Erfassungskonzepte

Aus verschiedenen Industriebereichen sind bereits Erfassungskonzepte bekannt. Diese sind in nachfolgender Tabelle anhand ihrer für einen Einsatz maßgeblichen Eigenschaften dargestellt und werden im Folgenden näher beschrieben.

I-Punkt	Mobilität	Flexibilität	Identifikation	Erfassung	Umgebung
Handheld	Ja	Hoch	Nahfeld/einzeln	Manuell	In-/Outdoor
Stapler	Ja	Hoch	Nahfeld/einzeln	Automatisch	Indoor
RFID-Theke	Nein	Niedrig	Nahfeld/einzeln	Manuell	Indoor
Gate	eingeschränkt	Mäßig	Fernfeld/Pulk	Automatisch	In-/Outdoor

Tabelle 6-1: Gängige RFID-Erfassungskonzepte

Mobile Erfassungssysteme sind schon länger in Form von Barcode-Scannern im Einsatz. Seit einiger Zeit werden Handhelds mit RFID-Funktionalität von verschiedenen Herstellern angeboten. Auch in der Bauindustrie sind mobile EDV-Systeme weit verbreitet (Tiefbau über 90%), trotzdem stellen insbesondere kmU deren Robustheit und einfache Bedienbarkeit in Frage [Gün-08]. Generell zeichnen sich Handhelds durch ihre hohe Flexibilität und Mobilität aus. Robuste Geräte mit Schutzklassen von IP 64 und höher sind von verschiedenen Herstellern erhältlich. Jedoch erfordern manuelle Erfassungslösungen eine verbindliche Zuordnung von Verantwortlichkeiten, d.h. wer das Gerät trägt und die Erfassung vornimmt. Expertengespräche zeigen, dass diese Notwendigkeit in der Bauindustrie aktuell nicht zuverlässig gegeben ist.

Im Moment können insbesondere Geräte mit RFID-Funktionalität auf Grund ihrer großen Abmessungen nicht dauerhaft auf der Baustelle am Mann getragen werden. Jedoch werden auch diese immer kompakter, mobiler und damit durchgehend einsetzbar.

Zur Ortung von Staplern im Lagermanagement sowie zur Erfassung der Ladung gibt es verschiedene RFID-Lösungen, die am Stapler angebracht oder in diesen integriert sind. Zur Erfassung der Ladung auf der Palette werden bspw. Antennen seitlich am Mast des Staplers angebracht. Im rauen Umfeld der Bauindustrie ist eine derartige Lösung jedoch nicht anwendbar, da die über die Kontur des Staplers hinaus ragenden Komponenten leicht beschädigt oder abgefahren werden können. Des Weiteren haben Versuche am Lehrstuhl fml gezeigt, dass lediglich Behälter auf der Palette ohne kritischen Inhalt wie Flüssigkeiten oder Metall zuverlässig erfasst werden, einzelne Objekte gemischter Ladungen jedoch nicht.

Auch die Ortung des Staplers durch im Boden eingelassene Transponder und Antennen am Boden des Staplers sind lediglich für den Einsatz im Bauhof, nicht jedoch auf der Baustelle geeignet. Auf der Baustelle ist die Bodenfreiheit eines Staplers nicht ausreichend.

Ein am Lehrstuhl fml entwickeltes Konzept integriert die RFID-Antenne geschützt in die Gabelzinke des Staplers und ist somit auch für Radlader anwendbar. Die Lösung ist jedoch nur für die Identifikation einzelner Ladehilfsmittel geeignet.

Bei der RFID-Theke wird die RFID-Hardware in einen tisch- oder thekenähnlichen Aufbau integriert. Derartige Anwendungen werden bspw. zur Vollständigkeitskontrolle von Lageraufträgen genutzt. Eine interessante Anwendung beschreibt [Str-04] zur Kontrolle und Dokumentation der Werkzeugausgabe in der Flugzeugwartung. Eine RFID-Theke eignet sich jedoch nur für den ortsunveränderlichen Einsatz in abgeschlossenen Räumen und unterstützt keine automatisierte Erfassung. Sie muss daher verbindlich in den Prozess eingebunden werden.

RFID-Gates bestehen aus einem torartigen Aufbau, an dem mehrere SLG mit zirkular polarisierten Antennen angeordnet sind. Diese richten ihr Feld in unterschiedliche Richtungen, wodurch auch verschieden ausgerichtete Transponder deutlich besser erfasst werden können. Anwendung finden sie bspw. zur Dokumentation von

Warenein- und -ausgängen im Handel oder der stationären Industrie. Die Objekte werden dabei bei der Durchfahrt automatisch pulkweise⁴ erfasst.

Im industriellen Umfeld werden seit kurzer Zeit bereits mobile Gate-Lösungen angeboten [OPE-09]. Die einzelnen Komponenten werden durch Akkus mit Energie versorgt und über Bewegungsmelder aktiviert. Die Daten werden über eine integrierte Datenbankschnittstelle mittels WLAN mit dem übergeordneten Verwaltungssystem ausgetauscht. Die erhältlichen Systeme sind jedoch ausschließlich für den Indoor-Betrieb konzipiert. Für den Einsatz in der Bauindustrie fehlt neben einer autarken Energieversorgung die Möglichkeit der Bestimmung des aktuellen Gate-Standorts. Zudem sind sowohl der physische Aufbau als auch die Datenschnittstelle für einen Einsatz in der Bauindustrie nicht geeignet.

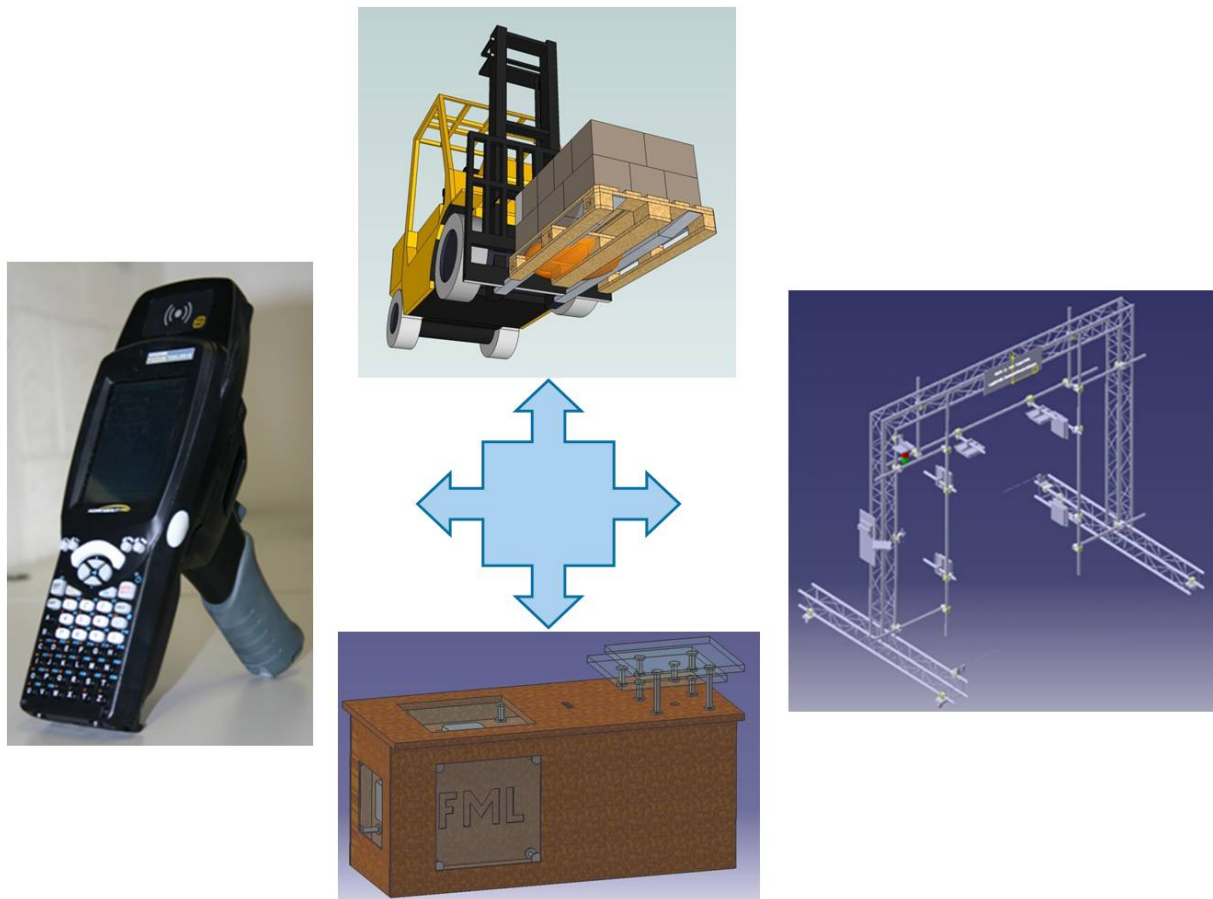


Abbildung 6-1: Übersicht verschiedener RFID-Erfassungskonzepte

Im Rahmen des Forschungsprojekts wird für den Einsatz auf der Baustelle ein mobiles Gate mit autarker Energieversorgung entwickelt. Für die Dokumentation der

⁴ Erfassung von mehreren Objekten auf einmal

Werkzeugausgabe im Lager auf dem Bauhof wird eine RFID-Theke als Demonstrator umgesetzt.

6.2 Mobiles Gate für den Baustelleneinsatz

In verschiedenen Industriezweigen verwendete Gate-Lösungen zur Pulkerfassung im Warenein- und Warenausgang sind ausschließlich für den Indoor-Einsatz konzipiert. Die Zielstellung besteht daher in der Konzeption sowie späteren Umsetzung und Inbetriebnahme (siehe Kapitel 8.1) eines portablen, autarken RFID-Gates für den Baustelleneinsatz. Das Gate soll die Möglichkeit bieten, während der gesamten Dauer von Bauprojekten die Materialflüsse von Betriebsmitteln automatisiert zu dokumentieren. Dazu müssen die vom SLG erfassten eindeutigen Betriebsmittelkennungen mit Zeit- und Ortsinformationen in einer zentralen Datenbank dokumentiert werden. Zunächst werden die konkreten Anforderungen an ein derartiges Identifikationspunkt-konzept abgeleitet und darauf aufbauend ein Konzept entwickelt.

Das Vorgehen findet in Anlehnung an das Münchner Vorgehensmodell nach Lindemann statt [Lin-06]. Zunächst wird eine Zielanalyse durchgeführt, welche die Anforderungen an das zu entwickelnde Produkt analysiert und dokumentiert (siehe Kapitel 6.2.1). Danach werden die Ziele strukturiert, um die Entwicklungsschwerpunkte zu identifizieren (siehe Kapitel 6.2.2). Anschließend werden systematisch einzelne Teilprobleme (TP) und Teillösungen (TL) gesucht und in Form eines Morphologischen Kastens abgebildet (siehe Kapitel 6.2.3). Auf dieser Grundlage kann eine Entscheidung beziehungsweise eine Konzeptauswahl getroffen werden.

6.2.1 Anforderungsdefinition

Das RFID-Gate ist durch die Verwendung in der Bauindustrie besonderen Gegebenheiten unterworfen, die den Materialfluss beeinflussen. Während Hochbaustellen in der Regel über definierte Zu- und Abfahren verfügen, können sich diese bei Tiefbaustellen mit dem Baufortschritt ändern, was die Definition eindeutiger Prozesse erschwert. Zur lückenlosen Dokumentation der Materialflüsse (Anforderung A12) muss das Gate daher mobil ausgeführt werden, um an wechselnden Standorten aufgestellt werden zu können, die dann als verbindliche Zufahrten definiert sind (Anforderung A1).

Insbesondere auf weitläufigen Baustellen fehlt es zudem an einer Infrastruktur im Baustellenbereich. Das Gate kann somit im Zweifelsfall nicht über das Stromnetz versorgt werden und Daten kabelgebunden mit dem Verwaltungssystem austauschen. Folglich muss das Gate über eine autarke Energieversorgung und eine Möglichkeit zur kabellosen Datenübertragung verfügen (Anforderungen A6, A9). Um eine Kompatibilität zu verschiedenen Systemen der Industriepartner zu gewährleisten, sind zudem neutrale Datenschnittstellen zu den zentralen Datenverwaltungssystemen zu verwenden (Anforderungen A10, A11). Zur Sicherstellung eines vom Stromnetz unabhängigen Betriebs ist auf energiesparende Komponenten zu achten.

Durch den Einsatz im Freien ist das Gate diversen Witterungseinflüssen ausgesetzt. Insbesondere Niederschlag und Schmutz, die sich auf der RFID-Hardware sammeln, können die Kommunikation zwischen Transponder und SLG beeinträchtigen oder in die einzelnen Komponenten eindringen und diese schädigen. Aus diesem Grund sind Komponenten mit ausreichenden Schutzklassen zu verwenden (Anforderung A15). Um den mechanischen Belastungen durch Stöße oder Schwingungen, die beim Transport oder der Positionierung des Gates auftreten können, gewachsen zu sein, ist eine robuste Ausführung erforderlich (Anforderung A8).

Ein weiterer Faktor ist die Qualifikation des Personals am Bau. Da viele der Arbeiter keine hinreichende technische Ausbildung zur Inbetriebnahme oder Wartung des Gates besitzen, ist auf eine einfache Handhabung zu achten, die das Risiko von Bedienfehlern bspw. bei der Installation minimiert (Anforderungen A16, A13). Kleinere Reparaturen, Justierarbeiten oder Wartungsmaßnahmen können somit von den Arbeitern vor Ort ausgeführt werden. Zudem ist eine einfache Positionierung, die ein möglichst geringes Gewicht voraussetzt, für die Akzeptanz und Anwendung des Gates entscheidend (Anforderung A5).

Das Gate darf außerdem geltende Vorschriften hinsichtlich der Zulassung und dem Betrieb von elektronischen Geräten nicht verletzen. Beispiele hierfür sind der Betrieb der RFID-Komponenten, der Datenfunk oder der sichere Aufbau (Anforderung A13).

Im Einsatz auf einem weitläufigen Baugelände treten mitunter hohe Windkräfte auf, die einzelne Komponenten nicht beschädigen und den Betrieb des Gates beeinträchtigen dürfen. Für einen zuverlässigen Betrieb ist daher für eine ausreichende Standfestigkeit zu sorgen (Anforderungen A3, A4).

Die Komponenten für die Energieversorgung, Steuerung oder Erfassung der Betriebsmittel sind mit einem gewissen Investitionsbedarf verbunden. Für einen mögli-

chen Praxiseinsatz ist auf einen kostengünstige Auswahl der einzelnen Gate-Bausteine zu achten (Anforderung A7). Da diese überdies auch an anderer Stelle Verwendung finden können, muss das Gate diebstahlsicher ausgeführt werden (Anforderung A14), um die Prozesssicherheit nicht zu gefährden.

Das mobile Gate muss sich als Demonstrator unter Verhältnismäßigkeit der Mittel umsetzen lassen. Im Mittelpunkt steht dabei auch die Vorwettbewerblichkeit (Anforderung A2)

Das mobile Gate bietet im Gegensatz zu den anderen Identifikationspunktkonzepten den Vorteil der automatischen Betriebsmitteldokumentation. Um diese Automatisierbarkeit zu gewährleisten, müssen alle Teilsysteme des Gates diese Anforderung erfüllen (Anforderung A17).

Hinsichtlich der Umsetzung (siehe Kapitel 8.1) bestehen jedoch einige Einschränkungen, da im Rahmen des Forschungsprojekts kein fertiger Prototyp entsteht, sondern ein funktionsfähiger Demonstrator. Dieser muss in erster Linie die Machbarkeit eines mobilen Gates für den Baustelleneinsatz unter Beweis stellen. Insbesondere Energiehaushalt, Kosten und Robustheit stellen sich daher anders dar, als bei einem Prototyp zu erwarten wäre. Im Anschluss sind die verschiedenen Anforderungen an das Mobile Gate zusammenfassend dargestellt (siehe Tabelle 6-2).

Anforderung	Benennung	Beschreibung
A1	Mobilität und Transport	Flexible Aufstellung des Gates
A2	Umsetzbarkeit	Umsetzung als Demonstrator
A3	Kräfte	Windlasten im Betrieb
A4	Standstabilität	Bei Wind und losem Boden
A5	Gewicht	Transport durch Personal
A6	Energiebedarf und Energieversorgung	Weitgehend autonomer Betrieb auf der Baustelle
A7	Kosten	Eingrenzung der Kosten
A8	Robustheit	Witterung und Belastungen
A9	Drahtlose Datenfernübertragung	Kommunikation der Daten
A10	Neutrale Schnittstelle	Flexibel Systemanbindung
A11	Zentrale Datenhaltung	Eine einheitliche Datenbasis
A12	Prozesssicherheit	Vollständige Erfassung
A13	Funktionsweise nach Zulassungsvorschrift	Komponenten müssen zugelassen sein für Betrieb
A14	Diebstahlsicherheit	Unterbringung d. Komponenten
A15	Umwelteinflüsse und Witterungsbeständigkeit	Sichere Funktion bei Feuchtigkeit, Staub
A16	Instandhaltung und Montage	Einfache Wartung
A17	Automatisierbarkeit	Erfassung automatisch

Tabelle 6-2: Anforderungen an das mobile Gate

6.2.2 Zielstrukturierung

Nach dem Münchner Vorgehensmodell folgt nach der Definition der Anforderungen die eigentliche Konzeptentwicklung. Durch eine Betrachtung des zu entwickelnden Produktes werden die folgenden Teilprobleme definiert (siehe Tabelle 6-3).

	Aktivierungssystem	Energieversorgung	Fernübertragung	Mastauslegung	Ortungssystem	Rechner	Standicherheit	Transport	Gate-Aufbau	Summe	Rang	Gewichtung
Aktivierungssystem	X	1	2	2	2	1	1	2	2	13	7	0,09
Energieversorgung	3	X	3	3	3	3	3	3	3	24	1	0,17
Fernübertragung	2	1	X	1	3	1	2	2	2	14	6	0,10
Mastauslegung	2	1	3	X	3	1	2	3	2	17	4	0,12
Ortungssystem	2	1	1	1	X	1	1	2	1	10	9	0,07
Rechner	3	1	3	3	3	X	2	3	3	21	2	0,15
Standicherheit	3	1	2	2	3	2	X	3	3	19	3	0,13
Transport	2	1	2	1	2	1	1	X	1	11	8	0,08
Gate-Aufbau	2	1	2	2	3	1	1	3	X	15	5	0,10
										144		1,01

Tabelle 6-3: Paarweiser Vergleich der Teilprobleme „Mobiles Gate“

Um die Kernprobleme herauszufinden wird ein paarweiser Vergleich durchgeführt. Wichtigere Probleme werden mit 3 Punkten, weniger wichtige mit 1 Punkt und gleichrangige Probleme mit 2 Punkten bewertet. Demnach platziert sich die Energieversorgung des Gerätes auf Rang 1, der Rechner auf Rang 2 und die Standicherheit auf Rang 3, da sie für den sicheren Betrieb des Gates maßgeblich ist.

Die Teilprobleme werden auf Grund dieser Bewertung gewichtet. Als Gewichtung wird dabei das Verhältnis zwischen der Summe der gegebenen Punkte und der Gesamtpunktzahl bezeichnet. Diese wird dann im Morphologischen Kasten verwendet, um die bestmögliche Lösung für das Gesamtsystem herauszufinden.

6.2.3 Lösungssuche

Die Lösungssuche ist ein zentrales Element innerhalb des Münchener Vorgehensmodells. In diesem Schritt werden Lösungen für jedes Teilproblem gesucht und deren Eigenschaften ermittelt. Die verschiedenen Lösungsalternativen werden miteinander verglichen, indem sie nach den jeweiligen gewichteten Kriterien aus der Anforderungsliste bewertet werden. Die Kriterien sind in drei Stufen gewichtet. Aus der Anzahl der Punkte der jeweiligen Teillösung bezogen auf die Gesamtpunktzahl aller Teillösungen berechnet sich die gewichtete Punktebewertung je Teillösung.

Aktivierungssystem

Das Aktivierungssystem hat die Aufgabe, verschiedene Verbraucher wie das SLG oder den Steuerrechner bedarfsweise bei Annäherung eines Betriebsmittels oder einer Lieferung zu aktivieren. Dadurch wird zum Einen der Energiebedarf des Gates und zum Anderen das Risiko von Fehlerfassungen in der Nähe befindlicher Betriebsmittel, bedingt durch die Lesereichweite der RFID-Komponenten, reduziert. Zur Umsetzung eines Aktivierungssystems bieten sich verschiedene Teillösungen an.

Lichtschranken, die in ausreichender Entfernung vor der Ein- und Ausfahrt montiert sind, reagieren auf sich nähernde Fahrzeuge durch die Unterbrechung des Lichtvorhangs. Staub und Schmutz beeinträchtigen die Funktionsweise jedoch stark. Zudem müssen sie exakt aufeinander ausgerichtet sein, was eine gewisse Kenntnis des Arbeiters voraussetzt.

Ähnlich wie ein Bewegungsmelder kann eine Radarantenne auf dem mobilen Gate montiert werden, um auf die Ankunft eines Fahrzeugs zu reagieren. Das System ist ebenfalls mehrstufig ausführbar. Ein Radarmelder verbraucht jedoch mehr Energie als ein normaler Bewegungsmelder auf Infrarotbasis.

Eine weitere Möglichkeit bietet die Fernsteuerung des Gates durch den Fahrzeugführer über eine SMS oder eine Fernbedienung. Dieser Vorgang erhöht allerdings die Wartezeiten deutlich und setzt das richtige Verhalten des Fahrzeugführers voraus. Alternativ kann die Aktivierung durch einen Mitarbeiter an der Pforte in Verbindung mit einer Schranke vorgenommen werden. Baustellenpforten sind jedoch auf den meisten Baustellen nicht anzutreffen.

Bewegungsmelder, wie sie im Außenbereich als Sicherheitssysteme bereits häufig eingesetzt werden, schicken ein Signal an den Steuerrechner, wenn eine Bewegung innerhalb des Erfassungsbereichs wahrgenommen wird. Wegen der unterschiedli-

chen Ausführung für den Nah- und Fernbereich ist ein zweistufiger Aufbau möglich. Da der Melder oben am Mast montiert werden kann, würde er nur begrenzt von Staub beeinträchtigt, was die Prozesssicherheit erhöht.

	Energiebedarf (A6)	Kosten (A7)	Prozesssicherheit (A12)	Umwelteinflüsse (A15)	Montage (A16)	Automatisierbarkeit (A17)	Summe	Rang	Gewichtete Punktebewertung
Gewichtung der Anforderungen:	9	6	9	9	3	9			
Lichtschraken	27	18	9	18	3	27	102	2	0,252
Radar	18	6	18	27	6	27	102	2	0,252
Fernsteuerung	27	12	9	18	9	9	84	4	0,207
Bewegungssensoren	27	18	18	18	9	27	117	1	0,289
							405		1,00

Tabelle 6-4: Gewichtete Punktebewertung möglicher Aktivierungssysteme

Die am besten bewertete Teillösung, weil von menschlichen Einflüssen nahezu unabhängig und gut automatisierbar, stellt der Bewegungssensor dar.

Arbeitsfrequenz

Die Arbeitsfrequenz für das RFID-System wurde bereits in Kapitel 4.2.2 festgelegt. Demnach bietet UHF für die Anwendung eines automatischen Identifikationspunkt-konzepts in der Bauindustrie die größten Vorteile.

Mastauslegung

Am Mast werden die verschiedenen Komponenten zur Erfassung, Aktivierung und Ortung angebracht. Bei geeigneter Größe und entsprechendem Energiebedarf können auch kompakte Solarmodule am Mast befestigt werden. Auch beeinflusst der Mast die Transportfähigkeit, Standsicherheit und Prozesssicherheit. Daher ist die robuste Auslegung des Masts zur Funktionserfüllung entscheidend. Drei Alternativen sind nachstehend bewertet.

	Montage (A16)	Transport (A1)	Standicherheit (A4)	Summe	Rang	Gewichtete Punktebewertung
Gewichtung der Anforderungen:	3	6	9			
Steifer Stab	9	6	27	42	3	0,30
Teleskop	6	18	27	51	1	0,36
Zusammenfaltbare Stäbe	3	18	27	48	2	0,34
				141		1,00

Tabelle 6-5: Gewichtete Punktbewertung möglicher Mastauslegungen

Auf Grund der besseren Transportierbarkeit wurde für den Mast eine Ausführung in Teleskopausführung gewählt.

Standicherheit

Für die Prozesssicherheit ist ein sicherer Stand des Gates auch bei ungünstigen Umgebungsbedingungen in der Bauindustrie wie Windlast oder unebenem, morastigen Untergrund erforderlich.

Die Standicherheit lässt sich über ein Kräfte- und Momentengleichgewicht bestimmen. Die verschiedenen Windgeschwindigkeiten können bspw. unter [FTV-09] abgerufen werden.

Eine Möglichkeit für eine hohe Standicherheit ist ein hohes Eigengewicht bei niedrigem Schwerpunkt. Jedoch stellen sich in diesem Fall die Mobilität, Handhabung und der Transport schwieriger dar. Gleiches gilt für eine große Standfläche. Durch die Integration von Stützen in das Gate können die Vorteile eines niedrigeren Gewichts und einer hohen Standicherheit durch eine große, jedoch flexible Grundfläche verknüpft werden. Die Abstützung erfolgt direkt am Mast diagonal zum Boden oder durch waagrechte Stützen, die unter den Gateboden eingeschoben werden können. In Tabelle 6-6 werden die Alternativen bewertet und verglichen, wobei sichtbar wird, dass die Stützen am besten geeignet sind.

	Diebstahlsicherheit (A14)	Kosten (A7)	Montage (A16)	Prozesssicherheit (A12)	Transport (A1)	Summe	Rang	Gewichtete Punktebewertung
Gewichtung der Anforderungen:	3	6	3	9	9			
Eigengewicht	9	18	9	18	9	63	2	0,323
Große Standfläche	6	12	9	18	18	63	2	0,323
Stützen	3	6	6	27	27	69	1	0,354
						195		1,00

Tabelle 6-6: Gewichtete Punktbewertung der Standsicherheit

Stützen bieten auf Grund des geringeren Gewichts und der kompakten Abmessungen Vorteile für den Aufbau und den Transport im LKW und auf der Baustelle durch einen Mitarbeiter, zugleich jedoch auch Nachteile für die Diebstahlsicherheit. Zudem ist auf losem Baugrund die Gefahr des Kippens ohne Stützen gegeben.

Transport

Das mobile Gate muss sich sowohl auf der Baustelle einfach bewegen als auch zwischen verschiedenen Einsatzorten mit möglichst beliebigen Transportmitteln transportieren lassen. Hierfür gibt es verschiedene Lösungen.

Das Gate kann, sofern es über einen Krananschlagpunkt verfügt, jederzeit auf der Baustelle mit Hilfe eines Krans neu positioniert werden. Krane sind zumindest im Hochbau, aber auch auf vielen Tiefbaubaustellen zu finden. Auch kann das Gate mit einem Radlader transportiert bzw. für weitere Strecken von diesem verladen werden, was eine geeignete Aufnahmevorrichtung voraussetzt. Bspw. lässt sich der Gateboden ähnlich einer Palette gestalten. Darüber hinaus ist die Konstruktion in Form eines Anhängers eine sinnvolle Alternative, sodass jedes Transportmittel mit einer Anhängervorrichtung das Gate bewegen kann.

	Robustheit (A8)	Diebstahlsicherheit (A14)	Mobilität (A1)	Summe	Rang	Gewichtete Punktebewertung
Gewichtung der Anforderungen:	6	6	9			
Krananschlagpunkt	18	18	9	45	1	0,357
Gabelzinkenaufnahme	12	12	18	42	2	0,333
Anhängevorrichtung	6	6	27	39	3	0,310
				126		1,00

Tabelle 6-7: Gewichtete Punktbewertung der Transportierbarkeit

Ein Krananschlagpunkt erfordert zwar eine robuste Konstruktion des Gates, die dessen Eigengewicht beim Hängen am Kranausleger halten kann. Dabei treten jedoch im Gegensatz zu den anderen Lösungen keine Transportschwingungen auf, die insbesondere auf unebenem Terrain hohe Belastungen für die einzelnen Komponenten und deren Befestigungen darstellen können. Auch kann das Gate mit einer Anhängervorrichtung einfacher durch Unbefugte vom Baugelände entfernt werden. Nachteilig beim Krananschlagpunkt wirkt sich die Mobilität aus, da für die Neupositionierung ein Kran erforderlich ist. Es empfiehlt sich daher in Summe eine Kombination verschiedener Transportvorrichtungen.

Gate-Aufbau

Für die Gewährleistung der Prozesssicherheit müssen RFID-Antennen auf beiden Seiten der Durchfahrt montiert werden. Die beiden Seiten des mobilen Gates müssen folglich miteinander verbunden werden.

Die beiden Masten mit den Sende- und Empfangsantennen können physisch mit Kabeln verbunden werden. Dabei müssen sie mit einem Überfahrerschutz vor Beschädigung oder Zerstörung geschützt werden. Dieser kann zugleich die Geschwindigkeit ein- und ausfahrender Transportfahrzeuge regeln, um im Falle einer Aktivierung des Systems die einzelnen Komponenten in den Betriebsmodus zu versetzen sowie eine ausreichend langsame Durchfahrtsgeschwindigkeit durch das Gate zu realisieren.

Alternativ ist im Falle mehrerer verwendeter eigenständiger SLG an den Masten eine drahtlose Verbindung über Funk möglich. Hierfür fallen jedoch höhere Kosten an und durchfahrende Fahrzeuge stören die Funkverbindung. Zudem benötigen die SLG jeweils eine eigene Energieversorgung.

Die dritte Möglichkeit bietet ein torartiger Aufbau mit einer oben quer liegenden Kabelbrücke. An dieser können zudem Antennen befestigt werden, um Transponder auch für die seitlichen Antennen ungünstig ausgerichtete Transponder zu erfassen. Damit Fahrzeuge mit verschiedenen Höhen inklusive Ladung durch das Gate fahren können, muss der Querbalken sehr hoch angebracht werden, wodurch ein großer Abstand der Antennen zur eigentlichen Ladung entstehen kann, der die Erfassung negativ beeinflusst.

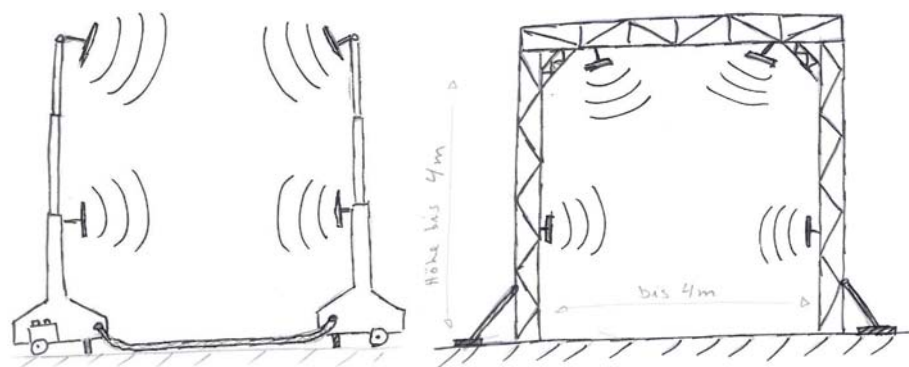


Abbildung 6-2: Konzepte für die Seitenverbindung

Nachfolgende Tabelle stellt die Bewertung der Konzepte dar.

	Kosten (A7)	Montage (A16)	Prozesssicherheit (A12)	Robustheit (A8)	Standicherheit (A4)	Umwelteinflüsse (A15)	Summe	Rang	Gewichtete Punktebewertung
Gewichtung der Anforderungen:	6	3	9	9	9	9			
Zwei Masten, Kabel	18	9	27	18	27	18	117	1	0,379
Zwei Masten, Funk	6	9	9	27	27	27	105	2	0,340
Überbrückung	12	3	27	18	9	18	87	3	0,281
							309		1,00

Tabelle 6-8: Gewichtete Punktebewertung der Seitenverbindung

Die beste Lösung stellt demnach der zweiteilige Aufbau des Gates mit einer kabelgebundenen Verbindung der einzelnen Komponenten dar.

Die Energieversorgung gliedert sich in die drei Teilbereiche primäre und sekundäre Energieversorgung sowie Steuerung der Energieversorgung

Primäre Energieversorgung

Eine elementare Voraussetzung für den Betrieb des Gates auf der Baustelle ist die netzunabhängige Energieversorgung. Hierfür gut geeignet sind regenerative Energien, die einen Akku aufladen und das System somit mit Energie versorgen. Zweigängige und für die Anwendung praktikable Lösungen stehen mit der Solar- und Windenergie zur Verfügung.

	Diebstahlsicherheit (A14)	Energieversorgung (A6)	Kosten (A7)	Montage (A16)	Mobilität (A5)	Robustheit (A8, A15)	Summe	Rang	Gewichtete Punktebewertung
Gewichtung der Anforderungen:	6	9	9	6	6	6			
Akku + Solarenergie	12	27	27	18	18	18	120	1	0,56
Akku + Windenergie	18	18	18	12	12	18	96	2	0,44
							216		1,00

Tabelle 6-9: Gewichtete Punktebewertung der primären Energieversorgung

Windkraftanlagen haben für diese Anwendung, verglichen mit Solaranlagen, Nachteile im Bezug auf Kosten oder Bauraum. Sie können ihr volles Leistungspotential ausschließlich an exponierten Stellen ausschöpfen, erreichen dann aber einen höheren mittleren Wirkungsgrad. Auf der anderen Seite benötigen Solarmodule für einen maximalen Wirkungsgrad direkte Sonneneinstrahlung in einem günstigen Winkel und sind wegen ihrer kompakten Abmessungen einfacher zu entwerfen.

Bei den Investitionskosten sind ebenfalls Nachteile für Windkraftanlagen zu erwarten. Zudem sind sie schwieriger durch fachfremdes Personal zu montieren und auf Grund der sperrigen Abmessungen weniger mobil.

Sekundäre Energieversorgung

Um auch bei einer hohen Materialflussdichte oder ungünstigen Witterungsbedingungen eine durchgehende Energieversorgung gewährleisten zu können, ist eine Backuplösung zu konzipieren. Mögliche geeignete Systeme sind Generatoren oder Brennstoffzellen.

	Kosten (A7)	Instandhaltung (A16)	Mobilität (A1)	Diebstahlsicherheit (A14)	Funktionsweise (A13)	Prozesssicherheit (A12)	Summe	Rang	Gewichtete Punktebewertung
Gewichtung der Anforderungen:	9	9	6	6	9	9			
Generator	27	27	18	12	18	18	120	1	0,52
Brennstoffzelle	18	9	18	12	27	27	111	2	0,48
							231		1,00

Tabelle 6-10: Gewichtete Punktebewertung der sekundären Energieversorgung

Die größten Nachteile der Brennstoffzelle liegen gegenüber dem Generator in den hohen Kosten sowie dem nötigen Fachwissen für deren richtige Inbetriebnahme, Wartung und Reparatur. Dahingegen benötigt der Generator für eine korrekte Funktionsweise eine ständige Kontrolle seiner Betriebsstoffe. Zudem ist für den regelkonformen Betrieb eine genaue Kenntnis der jeweiligen Betriebszustände, bspw. das Einstellen des Choke bei kaltem Motor, erforderlich, während die Brennstoffzelle wartungsarm ist. Auch hat sie Vorteile bei Emissionen und Abmessungen.

Steuerung der Energieversorgung

Im Falle einer ungenügenden Energieversorgung muss eine Steuerung die sekundäre Energieversorgung in Abhängigkeit vom Spannungszustand der Akkus zuschalten.

Die erste Alternative ist ein Schwellwertschalter (SWS), der durch Relais die sekundäre Energiequelle zuschalten kann. Er funktioniert ähnlich einem Relais und ist an drei Stromkreise gekoppelt. Die Steuerspannung bzw. der Schwellwert, hier die Spannung der Akkus, legt fest, bei welchem Spannungswert der SWS den Arbeits-

kreis, der die Verbraucher versorgt, schaltet. Ein separater Versorgungskreis gewährleistet ein zuverlässiges Schalten des SWS. Im Gegensatz zu einem herkömmlichen Relais können mehrere Schaltschwellen definiert werden, die das Verhalten steuern. Für das abgebildete Beispiel liegt die untere Schwelle bei 11,0 V und der obere Schwellwert bei 13,0 V, was in etwa den Funktionsbereichen eines Bleiakkus entspricht. Bei einer bidirektionalen Hysterese von 1 V stellen sich demnach die geforderten Umschaltpunkte ein.

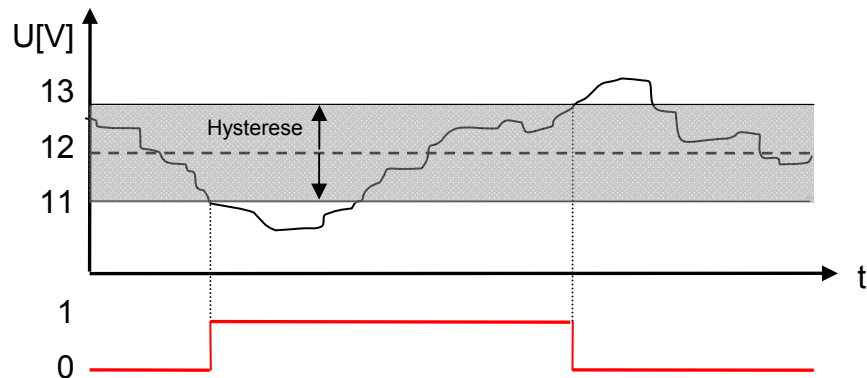


Abbildung 6-3: Schaltcharakteristik eines SWS mit bidirektionaler Hysterese

Von Vorteil sind der geringe Entwicklungsaufwand ohne spezielle Kenntnisse bzgl. EDV oder Elektrotechnik, der geringe Energieverbrauch und die einfache Montage. Nachträgliche Systemänderungen sind jedoch kaum mehr möglich. Auch ist die Toleranz der Schaltspannung mit etwa 0,5 V sehr ungenau und wirkt sich negativ auf die Prozesssicherheit aus.

Speicherprogrammierbare Steuerungen (SPS) sind modulare Steuerungen, die in der standardisierten Programmierumgebung CP1131 programmiert werden. Die SPS von PMA verfügen ausschließlich über digitale Eingänge mit einem Spannungsbereich zwischen 0V und 10V, weshalb die Eingangs-Potentiale mittels eines Spannungsteilers transformiert und über einen Analog/Digital-Wandler in ein digitales Signal umgewandelt werden müssen. Durch die Programmierumgebung sind sie flexibel an veränderte Konstruktionen während der Entwicklung anpassbar. Sie finden für robuste Anwendungen, die schnelle Steuerungsvorgänge hoher Genauigkeit erfordern, Verwendung. Jedoch müssen sie dauerhaft mit Energie versorgt werden. Für die Programmierung ist darüber hinaus die Kenntnis der Programmiersprache vorauszusetzen.

Ebenfalls zu den SPS zu zählen sind Kompaktsteuerungen, die jedoch deutlich reduzierte Funktionsumfänge besitzen. Auf der Ausgangsseite sind monostabile Schließrelais integriert. Die Eingänge können sowohl digital als auch analog angesteuert werden. Die Entwicklungsumgebung ist grafikbasiert, sodass dem Entwickler eine lange Einarbeitungszeit erspart bleibt. Die Kompaktsteuerung bietet für kleinere Automatisierungsanwendungen wie im vorliegenden Fall eine sehr kompakte und robuste Lösung mit den Vorteilen einer SPS und kommt ohne zusätzliche Komponenten wie A/D-Wandler oder Relais aus. Zu nennen sind außerdem die komfortable Entwicklungsumgebung, die hohe Flexibilität der Schnittstellen, der moderate Energieverbrauch und das gute Preis-Leistungsverhältnis.

Im Gegensatz zu den bisherigen Lösungen vereinen Micro-Controller-basierte GSM-Module die Steuerung der Energieversorgung und der RFID-Datenübertragung mit einem Ortungssystem und einer Datenfernübertragung, wodurch sich eine sehr gute Kompaktheit und Energieausbeute ergibt. Jedoch muss auch hier die Batteriespannung mit einem A/D-Wandler digitalisiert werden. Problematisch ist zudem die Anbindung aller erwähnten Komponenten, da die Anzahl der Ein- und Ausgänge begrenzt ist. Somit müssen zusätzliche Komponenten integriert werden. Der entscheidende Nachteil ist die schwierige Umsetzung, die eine tiefe Methodenkenntnis der Java-basierten Programmiersprache J2ME und der Eclipse-Umgebung erfordert.

	Prozesssicherheit (A12)	Erweiterbarkeit (A10)	Umsetzbarkeit (A2)	Energiebedarf (A6)	Kosten (A7)	Integrationsfähigkeit	Summe	Rang	Gewichtete Punktebewertung
Gewichtung der Anforderungen:	9	6	6	6	3	3			
Schwellwertschalter	9	6	12	18	3	6	54	3	0,207
PMA-Steuerung	18	12	12	6	3	3	54	3	0,207
Kompaktsteuerung	18	18	18	12	6	9	81	1	0,310
Micro-Controller	18	12	6	18	9	9	72	2	0,276
							261		1000

Tabelle 6-11: Gewichtete Punktebewertung der Energiesteuerung

Obige Tabelle fasst die Vor- und Nachteile der Teillösungen bewertet zusammen. Auf Grund der einfachen Handhabung, Umsetzbarkeit und Erweiterbarkeit wird die Kompaktsteuerung ausgewählt.

Steuerung

Der Rechner steuert die Komponenten der Erfassung, Ortung, Datenübertragung und Datenhaltung. Micro-Controller, wie sie im bereits beschriebenen GSM-Modul verwendet werden, zeichnen sich durch einen niedrigen Energiebedarf aus, erfordern jedoch für die Implementierung von Steuerungsalgorithmen eine tiefe Methodenkenntnis. Zudem sind sie nur bedingt erweiterbar.

Robuste Lösungen, wie sie bereits in modernen Fahrzeugen Verwendung finden, bieten einen guten Kompromiss zwischen der guten Funktionalität und einfachen Handhabung handelsüblicher Computersysteme und Micro-Controllern.

	Umsetzbarkeit (A2)	Robustheit (A8)	Erweiterbarkeit (A10)	Energiebedarf (A6)	Kosten (A7)	Summe	Rang	Gewichtete Punktebewertung
Gewichtung der Anforderungen:	6	6	6	9	6			
Micro-Controller	6	18	6	27	18	75	1	0,368
Car-PC	12	18	12	18	6	66	2	0,324
PC/Laptop	18	6	18	9	12	63	3	0,309
						204		1,00

Tabelle 6-12: Gewichtete Punktebewertung der Steuerung

Obige Tabelle zeigt das Ergebnis der Bewertung der Konzepte. Zwar schneidet der PC für eine angedachte Anwendung auf der Baustelle erwartungsgemäß am schlechtesten ab. Für den Aufbau eines Demonstrators, der die Machbarkeit eines Konzepts aufzeigen soll, kann jedoch ein PC oder Laptop verwendet werden.

Ortungssystem

Um zu wissen, wo ein Betriebsmittel erfasst wurde, müssen die Ortskoordinaten sowie die Zeit der Identifikation dokumentiert werden. Auf Grund der hierfür erforderli-

chen Genauigkeit von nur wenigen Metern kommen nur GPS-Systeme in Betracht. Diese können in Kommunikationsboxen bereits integriert sein oder als externes Gerät betrieben werden.

Datenfernübertragung

Durch die Übertragung von Daten von den einzelnen Erfassungspunkten zur zentralen Datenhaltung wird der Materialfluss durchgängig dokumentiert. Verschiedene Technologien für die Datenfernübertragung sind in Kapitel 4.2.3 bereits beschrieben und bewertet. Bezug nehmend auf diese Ergebnisse soll für das mobile Gate WLAN oder UMTS eingesetzt werden.

Zusammenfassung

Die verschiedenen Teillösungen werden abschließend in Form eines morphologischen Kastens zu einer Gesamtlösung kombiniert, die in Tabelle 6-13 hervorgehoben ist. Dargestellt sind die Gewichtungen der einzelnen Teilprobleme aus dem paarweisen Vergleich (siehe Tabelle 6-3) sowie die Teillösungen mit der jeweiligen gewichteten Punktebewertung. Damit lassen sich verschiedene Gesamtlösungen zahlenmäßig bewerten. Für den vorliegenden morphologischen Kasten ist eine derartige Punktevergabe nicht erforderlich, da die einzelnen Teilprobleme voneinander unabhängig sind, keine Teillösung also eine andere ausschließt und demnach keine parallelen Gesamtlösungen möglich sind. Der paarweise Vergleich veranschaulicht daher in erster Linie die Bedeutung der verschiedenen Teilprobleme für die Systemfunktionalität des Demonstrators und gibt den jeweiligen Entwicklungsaufwand vor.

In einigen Spalten sind bewusst mehrere Teillösungen ausgewählt, da bei einigen Bewertungen verschiedene Lösungsvorschläge sehr ähnliche Ergebnisse erzielt haben. Auch kann es im Falle des Transports sinnvoll sein, über flexible Aufnahmemöglichkeiten zu verfügen. Des Weiteren ist das primäre Ziel eines Demonstrators das Aufzeigen einer Lösungsmöglichkeit für eine definierte Problemstellung. Eine einsatzfertige Lösung ist weder gefordert noch gewünscht, um eine Bevorteilung auszuschließen.

Die Umsetzung des mobilen Gates wird anschließend in Kapitel 8.1 beschrieben.

Teilprobleme:	TL1	TL2	TL3	TL4	TL5	TL6
Aktivierungssystem	0,08	Lichtschranken (0,252)	Radar (0,252)	Fernsteuerung (0,207)	Bewegungs-Melder (0,289)	
Primäre Energieversorgung	0,17	Akku + Solar-energie (0,56)	Akku + Windenergie (0,44)			
Sekundäre Energieversorgung		Generator (0,52)	Brennstoffzelle (0,48)			
Energiesteuerung		SWS (0,207)	PMA (0,207)	Kompaktsteuerung (0,310)	Micro-Controller (0,276)	
Fernübertragung	0,11	Bluetooth (0,16)	Infrarot (0,12)	GPRS (0,19)	SMS (0,14)	WLAN (0,2)
Mastauslegung	0,11	Steifer Stab (0,30)	Teleskop (0,36)	Faltbarer Stab (0,34)		
Ortungssystem	0,09	GPS (1,00)				
Steuerung	0,13	Mikro-Controller (0,368)	Car-PC (0,324)	PC/Laptop (0,309)		
Standicherheit	0,12	Eigengewicht (0,323)	Große Standfläche (0,323)	Stützen (0,354)		
Transport	0,08	Kran-anschlagpunkt (0,357)	Gabelzinkenaufnahme (0,333)	Anhängevorrichtung (0,310)		
Seitenverbindung	0,10	Kabel (0,379)	Funk (0,340)	Überbrückung (0,281)		

Tabelle 6-13: Morphologischer Kasten für das mobile Gate

6.3 RFID-Theke

Ein weiteres Identifikationskonzept speziell für die Verwaltung von Kleingeräten und anderen im Magazin des Bauhofs gelagerten Betriebsmitteln beschreibt die RFID-Theke. Deren Umsetzung wird in Kapitel 8.2 beschrieben.

6.3.1 Zielstellung

Der Gerätepark eines Bauunternehmens setzt sich aus zahlreichen Maschinen und Kleingeräten für verschiedenste Anwendungsfälle zusammen. Deren Kennzeichnung erfolgt zumeist über Materialbegleitkarten oder aufgeklebte Typenschilder, die jedoch in der Praxis auf Grund der rauen Einsatzbedingungen häufig verloren gehen. Eine eindeutige Identifizierung und Zuordnung des Geräts zu Projekten oder Kunden wird damit nahezu unmöglich. Ein weiteres Problem ist in diesem Zusammenhang das manuelle Ausfüllen von Belegen und Lieferscheinen, wodurch das Risiko fehlerhafter Buchungen steigt und es zu erhöhten Zeit- und Kostenaufwänden kommt. Wegen der Medienbrüche bei der manuellen Weitergabe der Lieferscheine entstehen zudem Zeitverzögerungen zwischen physischem Handling des Geräts und dessen Buchung im System.

Untersuchungen des Geräteparks bei verschiedenen Industriepartnern haben gezeigt, dass sich bis zu 40% der Sachnummern lediglich auf Bauteilgruppen beziehen. Innerhalb einer Gruppe wird demnach nicht weiter zwischen den Geräten unterschieden. Eine gerätespezifische Zuordnung von Reparaturaufwendungen ist dadurch ebenso wenig gegeben wie die Möglichkeit der Dokumentation einer Einsatz- oder Wartungshistorie sowie der Abfrage des aktuellen Gerätestatus.

Die Zielstellung besteht daher in der Umsetzung eines Identifikationspunkt-konzepts, um die gerätespezifischen Prozesse der Werkzeugausgabe, Werkzeugrücknahme, Wartung und Reparatur zeitnah abbilden zu können. Die Basis hierfür bildet die Analyse der Ist-Prozesse der Industriepartner. Nach dem bereits beschriebenen Münchner Vorgehensmodell nach [Lin-06] wird ein geeignetes Konzept entwickelt. Dieses soll die bisherige papierbasierte Dokumentation auf Basis der eindeutigen Kennzeichnung der Geräte mit RFID-Transpondern vereinfachen und Fehler deutlich reduzieren. Dazu müssen die RFID-Komponenten in die Theke integriert und angebunden sowie eine benutzerfreundliche Oberfläche erarbeitet werden. Um Daten zu

Kunden oder Geräten mit der zentralen Datenhaltungsschicht austauschen zu können, ist eine geeignete Datenschnittstelle zu definieren.

Vorteile ergeben sich in Form der durchgängigen Verwaltung der Werkzeugbestände und der gerätespezifischen Dokumentation der Ausleihvorgänge. Es können Aussagen zur Nutzung getroffen und Rückschlüsse auf die Qualität der Maschinen oder die Handhabung durch einzelne Benutzer gezogen werden. Durch den zeitnahen Abgleich anstehender Wartungs- oder Servicemaßnahmen vor der Geräteausgabe werden gesetzliche Vorschriften eingehalten. Die auf das Gerät bezogene Dokumentation durchgeführter Wartungsarbeiten dient zudem der internen Qualitätssicherung. Darüber hinaus kann die Auslastung der Geräte homogenisiert und die Verfügbarkeit zeitnah bestimmt und erhöht werden. Letzten Endes ist eine Reduzierung der Bestände ebenso die Folge, wie die Erhöhung des Anteils wertschöpfender Tätigkeiten durch die Minimierung von Such- und Verwaltungsaufwand.

Eine ähnliche Anwendung wird in [Str-09] zur Dokumentation der Ausleihe von Spezialwerkzeugen in der Flugzeugbranche beschrieben. Im Gegensatz zur Anwendung in der Bauindustrie herrschen hier jedoch auf Grund der scharfen Sicherheitsbestimmungen klar vorgegebene und standardisierte Prozesse. Zudem beschreibt die Anwendung die Implementierung des Werkzeugmanagementsystems auf einem SAP Web Application Server, der über einen SAP Business Connector mit der Werkzeugausgabe verbunden ist. Zwar verfügt SAP über klar definierte Schnittstellen zur Anbindung externer Anwendungen, jedoch sind derartige ERP-Systeme insbesondere bei den kmU der Bauindustrie wegen der hohen Kosten kaum vertreten. Auch benötigen die kleinen und mittelgroßen Bauunternehmen keine derartig mächtigen und komplexen Warenwirtschaftssysteme. Deshalb sind in der Baubranche viele firmenspezifische Insellösungen vorherrschend. Diesem Umstand soll in der Konzeption einer geeigneten RFID-Theke Rechnung getragen werden.

6.3.2 Anforderungsdefinition

Im Gegensatz zum mobilen Gate, das gänzlich neu konzipiert wurde, baut die Anwendung der RFID-Theke auf den bestehenden Prozessen der Kleingeräte auf (siehe nachfolgende Seite). Die dortigen beschriebenen Probleme sollen durch den Einsatz der RFID-Theke auf Basis der gekennzeichneten Geräte gelöst werden. Im ersten Schritt werden die Anforderungen an die RFID-Theke definiert, anhand derer

spätere Teillösungen für Teilprobleme erarbeitet und bewertet werden können. Die Grundlage hierfür bildet der Vergleich zwischen den aktuellen Prozessen der Aus- und Rückgabe der Geräte sowie den abgeleiteten Soll-Prozessen unter der Verwendung von mit RFID gekennzeichneten Geräten.

Ist-Prozesse

Bei der Geräteausgabe wird das im Auslagerauftrag aufgeführte Gerät bzw. ein Gerät der Gerätegruppe gesucht und mit einem Lieferschein manuell verbucht. Der Mitarbeiter legt es hierzu auf die Theke und prüft ggf. die Vollständigkeit des Geräts. Mit einem Zeitverzug wird es später im Verwaltungssystem als verliehen eingetragen.

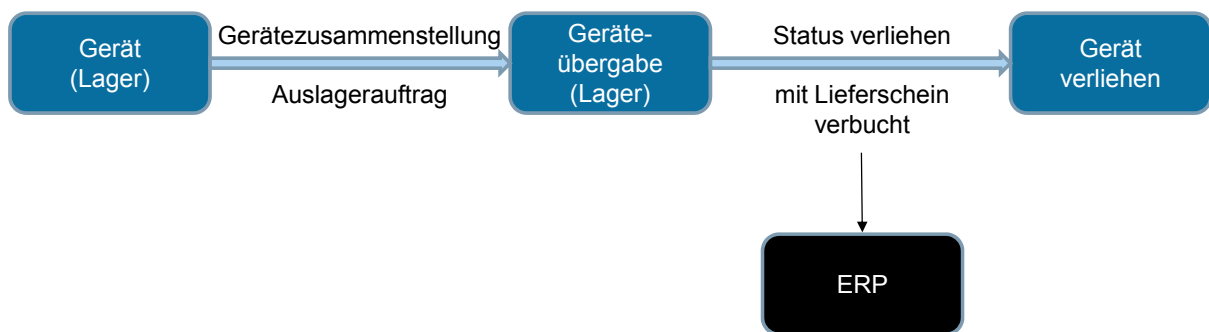


Abbildung 6-4: Ist-Prozess des Geräteausgangs

Nach der Benutzung durch interne oder externe Kostenstellen bzw. Kunden werden die Geräte zum Bauhof verbracht. Dort angekommen werden sie zunächst in das Gerätelager transportiert, wo sie nach Abgleich mit den Daten des beiliegenden Lieferscheins durch einen Mitarbeiter manuell in das Verwaltungssystem gebucht werden. Ab diesem Zeitpunkt ist auf Basis der Zuordnung von Kunde und Gerät eine Rechnungsstellung möglich.

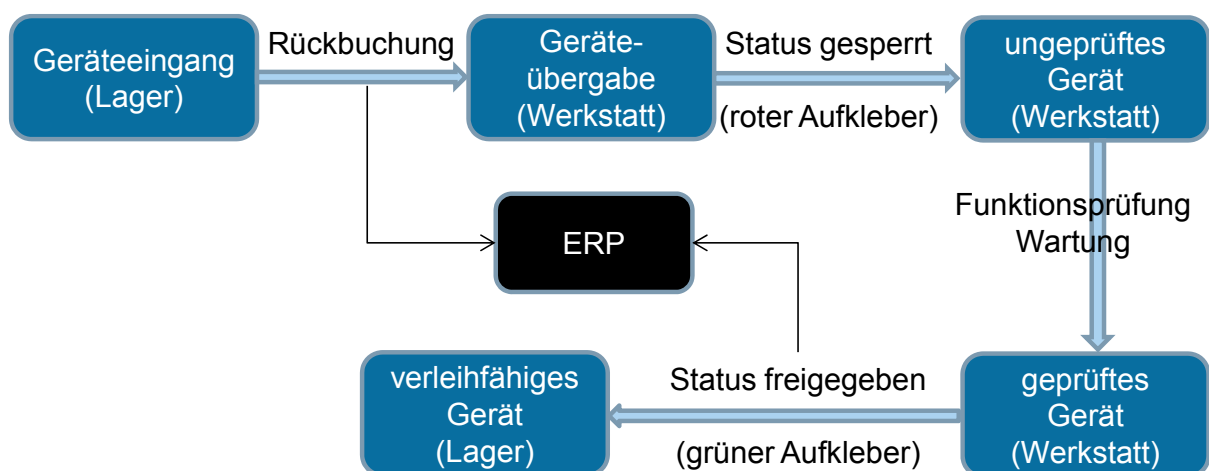


Abbildung 6-5: Ist-Prozess des Geräteeingangs

Im Rahmen der Qualitätssicherung werden die Geräte gesperrt und in die Werkstatt gebracht. Dort erfolgt eine Kontrolle der Geräte auf Beschädigungen oder Funktionsstörungen bzw. ggf. eine Wartung oder ein Kundenservice. Eventuell anfallende Reparaturen werden durchgeführt, dokumentiert und später von der Buchführung auf eine Gemeinkostenstelle verrechnet. Anschließend werden die Geräte als geprüft kenntlich gemacht und gehen zurück ins Lager, wo sie erneut manuell in das System gebucht werden. Im Verwaltungssystem kann das Gerät wieder gebucht und verliehen werden.

Bei der Ausgabe der Geräte ist die Prüfung der Vollständigkeit des Gerätekofters kaum möglich. Durch den zeitlichen Verzug zwischen Geräteausgabe und Buchung im Verwaltungssystem werden Fehler bei der Erstellung von Lieferscheinen oder deren Verlust zu spät bemerkt. Eine genaue Abrechnung ist dann schwierig. Auch sind zwischen der Rückbuchung nach der Rückgabe im Lager und der Freigabe nach der Wartung keine Statusinformationen vorhanden. Durch die fehlende eindeutige Kennzeichnung ist es nicht möglich, Wartungs- und Reparaturumfänge gerätespezifisch und damit verursachungsbezogen zu verrechnen. Darüber hinaus können Spezialwerkzeuge, die zeitnah auf einer anderen Baustelle benötigt und daher umgehend gewartet werden sollen, nicht priorisiert werden. Die Folge ist eine reduzierte Auslastung der einzelnen Geräte.

Soll-Prozesse

In Rücksprache mit den Industriepartnern wurden auf Basis der Ist-Prozesse die Soll-Prozesse für den Geräteaus- und Geräteeingang definiert.

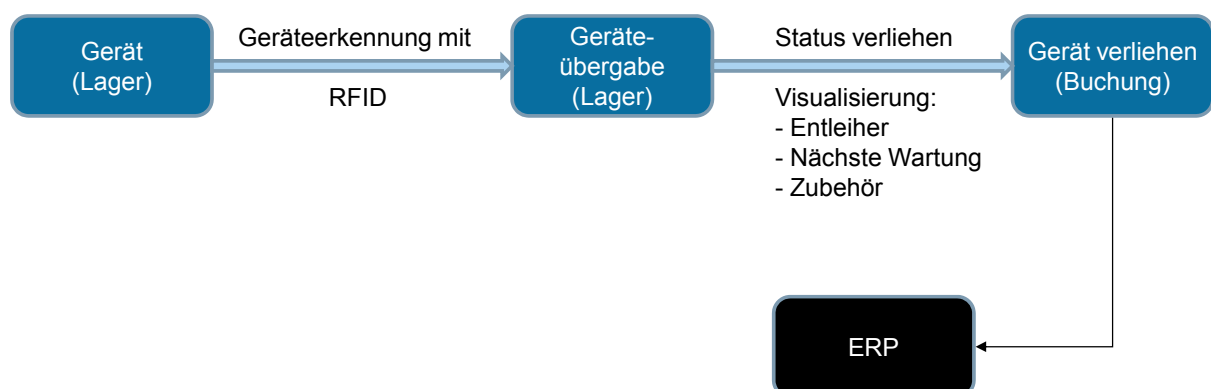


Abbildung 6-6: Soll-Prozess des Geräteausgangs

Sobald der Mitarbeiter den Gerätekofters auf die RFID-Antenne in der Arbeitsfläche der Theke legt, wird das Gerät anhand der eindeutigen Geräte-ID den in einer Da-

tenbank hinterlegten Gerätedaten zugeordnet. Die Benutzeroberfläche zeigt dem Anwender verschiedene Geräteinformationen wie Zubehör oder nächste Wartung an. Sobald die Ausgabe bestätigt wird, wird das Gerät im Verwaltungssystem auf die Kostenstelle gebucht, die das Gerät ausgeliehen hat.

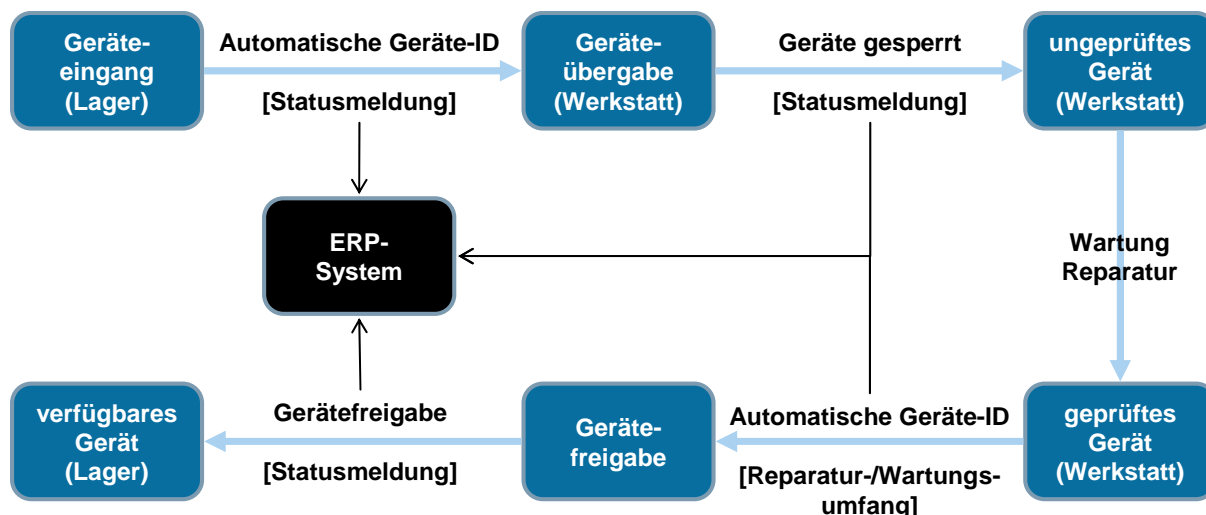


Abbildung 6-7: Soll-Prozess des Geräteeingangs

Bei der Rückgabe wird das Gerät vom Mitarbeiter auf die Theke gelegt und identifiziert. Dabei kann er zusätzliche Informationen bspw. zur Vollständigkeit angeben und das Gerät bei Abschluss der Rücknahme sofort im System als zurück geliefert, aber noch nicht gewartet und damit gesperrt buchen. Daraufhin wird automatisch die Rechnungsstellung angestoßen. Bei Ankunft in der Werkstatt wird der Status bei der Erfassung des Geräts zeitnah aktualisiert. Eventuell anfallende Reparaturumfänge werden ebenso wie die Bestätigung der Wartungsdurchführung gerätespezifisch im Verwaltungssystem hinterlegt. Beim Verlassen der Werkstatt und später wieder im Lager wird das Gerät erneut erfasst und der Gerätestatus aktualisiert. Es ist nun im Lager und damit automatisch im System wieder verfügbar.

Durch die beschriebenen Soll-Prozesse ergeben sich entscheidende Vorteile für die Dokumentation von Mietgeräten. Neben der gerätespezifischen Dokumentation von Verleih-, Wartungs- und Reparaturhistorie ist der Status jederzeit zeitnah abrufbar. Zudem reduzieren sich durch die einfache Identifizierung und Buchung Handling- und Verwaltungszeiten.

Anforderungsdefinition

Aus den beschriebenen Ist- und Soll-Prozessen wurden die verschiedenen Anforderungen an die RFID-Theke abgeleitet. Diese bilden die Basis für die spätere Konzeptentwicklung.

Durch den ergonomischen Aufbau soll dem Anwender der Umstieg von der herkömmlichen Ausgabetheke auf die RFID-Theke einfach gemacht werden und die Arbeit erleichtern (Anforderung A1). Eng damit verbunden ist die Gewährleistung der einfachen Bedienbarkeit und ansprechenden Optik der Benutzeroberfläche im Sinne der Softwareergonomie, um die Akzeptanz des Anwenders sicherzustellen (Anforderung A11).

Die mitunter unhandlichen oder schweren Betriebsmittel sowie die hohe Frequenz der Materialbewegungen erfordern eine robuste Bauweise (Anforderung A2). Um auch die Funktionalität der Geräte vor der Ausgabe testen sowie die elektronischen Komponenten wie Rechner, Monitor und Peripherie betreiben zu können, muss die Theke entsprechende Hardware wie Steckdosen integriert haben und zur Unterbringung der Komponenten sinnvoll gegliedert sein (Anforderung A3).

Damit die Theke im Falle von Umbaumaßnahmen im Lager oder der Neugruppierung von Lagerbereichen einfach positioniert werden kann, muss sie sich flexibel bewegen lassen (Anforderung A4). Das Gewicht ist daher möglichst gering zu halten (Anforderung A5).

Das Spektrum der Mietgeräte im Lager reicht von kleinen Koffergeräten bis hin zu Hubwägen oder Kühlschränken. Die RFID-Theke muss die verschiedenen Geräte zuverlässig identifizieren können (Anforderung A6).

Da die Bauindustrie von vielen kmU geprägt ist, die zudem wenig Erfahrung mit der RFID-Technologie haben, muss die Theke kostengünstig zu beschaffen sein (Anforderung A7) und einen ansprechenden Eindruck machen (Anforderung A8).

Bei der Erfassung der Geräte ist der Abstand zwischen den RFID-Antennen und dem Gerät mit maximal 1,5 Meter relativ gering. Aus diesem Grund ist die effektive Leistung des SLG ggf. zu reduzieren, um Fehlerfassungen umliegender Geräte zu vermeiden (Anforderung A9).

Für den Aufbau des Demonstrators ist der Aufbau einer konsistenten Datenhaltungsschicht in Form einer lokalen Datenbank erforderlich (Anforderung A10). Durch neutrale Schnittstellen soll der Austausch mit zentralen Verwaltungssystemen möglich sein (Anforderung A12).

Nachfolgend sind die verschiedenen Anforderungen zusammengefasst.

Anforderung	Benennung	Beschreibung
A1	Arbeitsplatzergonomie	Ergonomische Ausgestaltung
A2	Robustheit	Verkratzen, Beschädigung
A3	Praxisgerechte Bauweise	Integration der Komponenten
A4	Mobilität	Mit verschiedenen Transportmitteln transportierbar
A5	Gewicht	Transport durch eine Person
A6	Identifizierung	Zuverlässige ID verschiedener Geräte
A7	Kosten	Eingrenzung der Kosten
A8	Design	Ansprechende Optik als Demonstrator
A9	Erfassung	Keine Fehlerfassungen
A10	Datenhaltung	Datenbankstruktur und Datenhaltung
A11	Softwareergonomie	Einfach zu bedienende Benutzerschnittstelle
A12	Neutrale Schnittstellen	Flexibel an zentrale Systeme anzubinden

Tabelle 6-14: Anforderungen an die RFID-Theke

6.3.3 Konzeptentwicklung

Für eine übersichtliche Konzeption wird die Entwicklungsaufgabe „RFID-Theke“ zunächst in kleinere Teilaufgaben zerlegt (siehe Tabelle 6-15). Geeignete Lösungen für die Gerätekenzeichnung sind in Kapitel 5.4.5 dargestellt.

Beim Aufbau der Theke können die Teilprobleme Struktur, Materialverwendung und Transportmöglichkeit unterschieden werden. Die Hardware untergliedert sich in Eingabeperipherie und Arbeitsfrequenz, wobei letztere bereits zu Anfang in Kapitel 4.2.2 festgelegt wurde. Die IT-Infrastruktur setzt sich aus der lokalen Datenbank mit neutralen Schnittstellen und der dazu gehörigen Bedienoberfläche zusammen. Sowohl bei der RFID-Hardware als auch beim Rechner können nahezu beliebige Komponenten verwendet werden. Im vorliegenden Fall wird ein SLG der Firma Feig mit abgesetzten Antennen in Verbindung mit einem PC, auf dem auch die Software implementiert wird, in die Theke integriert. Zur Gewichtung der Teilprobleme wird wiederum ein paarweiser Vergleich durchgeführt.

	Struktur	Material	Transport	Eingabegeräte	Datenbank und GJI	Summe	Rang	Gewichtung
Struktur	X	3	3	3	3	12	1	0,3
Material	1	X	2	1	1	5	4	0,125
Transport	1	2	X	1	1	5	4	0,125
Eingabegeräte	1	3	3	X	1	8	3	0,2
Datenbank und GUI	1	3	3	3	X	10	2	0,25
						40		1,0

Tabelle 6-15: Paarweiser Vergleich der Teilprobleme der RFID-Theke

Die Struktur beinhaltet zum Einen die praxistaugliche Aufnahme der Geräte sowie zum Anderen den ergonomischen Aufbau. Deshalb wird ihr eine große Bedeutung beigemessen. Ebenfalls wichtig für die Bedienergonomie und damit für die Akzeptanz sind Bedienoberfläche und Eingabegeräte. Die Datenbank im Hintergrund muss die Daten sicher bevorraten und bedarfsgerecht zur Verfügung stellen.

Struktur

Für den physischen Grundaufbau der RFID-Theke wurden zwei unterschiedliche Konzepte erarbeitet und anschließend mit Hilfe einer gewichteten Punktbewertung anhand der aufgeführten Anforderungen differenziert und einander gegenüber gestellt.

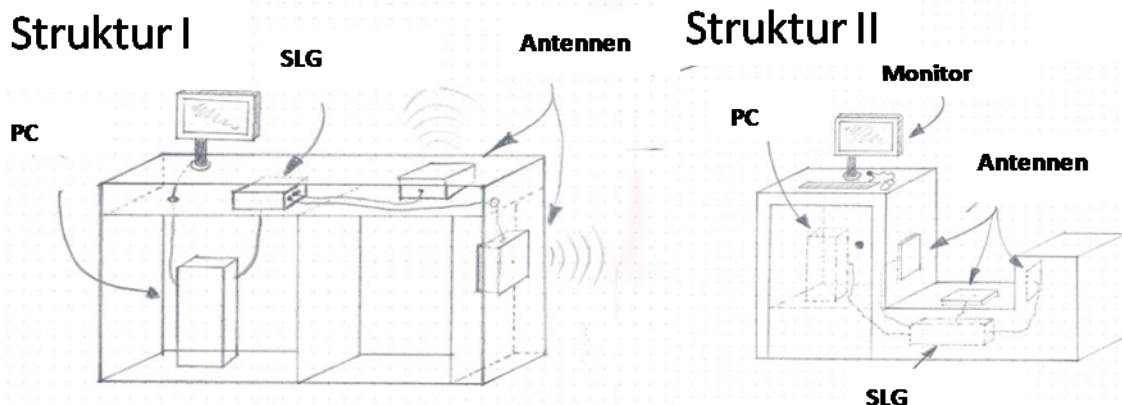


Abbildung 6-8: Verschiedene Strukturen für den Thekenaufbau

Nachstehend sind die Konzepte bewertet dargestellt.

	Erfassung (A9)	Kosten (A7)	Arbeitsplatzergonomie (A1)	Bauweise (A3)	Design (A8)	Summe	Rang	Gewichtete Punktebewertung
Gewichtung der Anforderungen:	9	6	9	6	3			
Struktur I	27	18	27	12	9	93	1	0,65
Struktur II	9	12	18	6	6	51	2	0,35
						144		1,0

Tabelle 6-16: Gewichtete Punktebewertung der Struktur

Auf Grund der besseren Ergonomie und deutlich einfacheren Bauweise wird die Struktur I umgesetzt.

Material

Die Theke kann aus verschiedenen Materialien bestehen. Wichtig sind die robuste Bauweise sowie die Eignung für den Einsatz von RFID für die Geräteerfassung. Auch muss sich das Material einfach und kostengünstig verarbeiten lassen. In Tabelle 6-17 sind die gängigen Materialien Holz, Kunststoff und Metall aufgeführt.

Dank der sehr guten Ver- und Bearbeitung sowie insbesondere der für die Anwendung geringen Beeinflussung der RFID-Funktionalität ist Holz die beste Materialalternative. Darüber hinaus kann jedoch auch ein Materialmix von Vorteil sein. Durch den gezielten Einsatz von Metall können bspw. Streuungen des elektromagnetischen Feldes und damit Fehlerfassungen eingeschränkt werden.

	Erfassung (A9)	Kosten (A7)	Gewicht (A5)	Bauweise (A3)	Robustheit (A2)	Summe	Rang	Gewichtete Punktebewertung
Gewichtung der Anforderungen:	9	6	3	6	6			
Stahl	9	12	3	12	18	54	3	0,28
Holz	27	18	6	18	12	81	1	0,42
Kunststoff	27	6	9	6	12	60	2	0,31
						195		1,01

Tabelle 6-17: Gewichtete Punktebewertung des Materials

Transport

Für den Fall einer Umstrukturierung des Lagers muss sich die Theke in den neuen Prozess integrieren lassen. Dafür ist eine gewisse Mobilität erforderlich. Dabei kann die Theke bspw. mit einem Hubwagen oder Rollen bewegt werden.

	Mobilität (A9)	Kosten (A7)	Gewicht (A5)	Bauweise (A3)	Summe	Rang	Gewichtete Punktebewertung
Gewichtung der Anforderungen:	9	6	6	9			
Unterboden Europalette	18	12	18	27	75	1	0,52
Rollen	27	18	6	18	69	2	0,48
					144		1,0

Tabelle 6-18: Gewichtete Punktebewertung der Mobilität

Eine in den Unterboden integrierte Europalette bzw. dessen entsprechend angepasste Struktur ermöglicht den Transport der Theke mit einem Stapler oder Hubwagen. Dadurch kann die Theke robuster und wenn nötig auch schwerer ausfallen. Rollen sind auf Dauer bei größeren Gewichten anfällig für Beschädigungen. Auch kann durch das ungewollte Wegrollen der Theke der Arbeitsablauf beeinträchtigt werden.

Eingabegeräte

Für die Eingabe der Gerätedaten bieten sich Maus und Tastatur sowie Touch-Screen-Monitor an. Deren Bewertung zeigt unten stehende Tabelle.

	Ergonomie (A1)	Kosten (A7)	Datenhaltung (A10)	Summe	Rang	Gewichtete Punktebewertung
Gewichtung der Anforderungen:	9	6	6			
Maus und Tastatur	18	18	18	54	1	0,55
Touchscreen-Monitor	27	6	12	45	2	0,45
				99		1,0

Tabelle 6-19: Gewichtete Punktebewertung der Eingabegeräte

Der Vorteil des Touchscreens liegt in erster Linie in der ergonomischeren Dateneingabe. Jedoch ändert sich das bei umfangreichen Eingabemasken, da hier verschiedene Felder dicht beieinander liegen und damit versehentlich getroffen werden können. Die Art der Eingabegeräte hat auch einen Einfluss auf die Datenhaltung. Durch die umständliche Eingabe von Texten mit dem Touchscreen ist eine eingeschränkte Nutzung von Kommentarfeldern zu erwarten. Da jedoch auf Grund der Verschiedenartigkeit der Geräte nicht alle sinnvollen Eingabemöglichkeiten vorgegeben werden können, ist ein Verlust von weiterführenden Informationen möglich.

Datenbankmanagementsysteme

Datenbanken dienen der strukturierten Datenablage. Zwei gängige Anwendungen stehen dem Anwender mit Access und My SQL zur Verfügung. Während das zum Office-Paket von Microsoft gehörende Access hauptsächlich in einer Windows-Umgebung für reine Einzelplatz-Anwendungen Einsatz findet, liegen die Stärken von SQL in Server-gestützten Mehrplatz-Anwendungen. Hier sind bspw. Rechte für den Datenzugriff zu vergeben, weshalb sich Datenbank und Oberfläche auf verschiedenen Systemen befinden.

	Schnittstellen (A12)	Kosten (A7)	Datenhaltung (A10)	SW-Ergonomie (A11)	Summe	Rang	Gewichtete Punktebewertung
Gewichtung der Anforderungen:	6	6	6	9			
Access	12	18	18	27	75	1	0,56
My SQL	18	12	12	18	60	2	0,44
					135		1,0

Tabelle 6-20: Gewichtete Punktebewertung der Datenbankmanagementsysteme

Die RFID-Theke muss über eine lokale Datenbank verfügen, die über eine Datenschnittstelle mit der zentralen Datenverwaltung kommunizieren kann. Daher ist es sinnvoll, Datenbank und Oberfläche auf dem Steuerrechner der Theke zu betreiben. Auch ist Access für den ungeübten Nutzer auf Grund der von anderen Office-Anwendungen bekannten Benutzeroberfläche einfacher zu handhaben. Die relativ einfach zu erstellenden Ein- und Ausgabefenster besitzen eine von Windows-Anwendungen gewohnte Struktur und sind deshalb einfach zu bedienen. Für Access sind des Weiteren keine Lizenzgebühren erforderlich.

Zusammenfassung

Abschließend werden die verschiedenen Teilprobleme und deren Teillösungen mit den jeweiligen gewichteten Bewertungen in einem morphologischen Kasten zusammengefasst. Das Ergebnis ist in der nachfolgenden Tabelle zu sehen.

Die beste Gesamtlösung ergibt sich demnach mit Struktur I. Diese soll aus Holz gefertigt werden, wobei für den Transport der Theke ein Profil, das der Kontur einer Europalette entspricht, in den Thekenboden zu integrieren ist. Im Sinne der Anwendbarkeit und Akzeptanz hat die Eingabe über Tastatur und Maus wie bei einem herkömmlichen PC zu erfolgen. Zur Datenhaltung und Erstellung der grafischen Benutzeroberflächen wird Access verwendet. Die Gesamtlösung ist in der Abbildung hervorgehoben.

Teilprobleme		TL1	TL2	TL3
Struktur	0,3	Struktur I (0,65)	Struktur II (0,35)	
Material	0,125	Stahl (0,28)	Holz (0,42)	Kunststoff (0,31)
Transport	0,125	Europalette (0,52)	Rollen (0,48)	
Eingabegeräte	0,2	Maus und Tastatur (0,55)	Touchscreen (0,45)	
Datenbank und GUI	0,25	Access (0,56)	My SQL (0,44)	

Tabelle 6-21: Morphologischer Kasten für die RFID-Theke

Wie bei morphologischen Kästen des mobilen Gates sind auch in Tabelle 6-21 die Gewichtungen der einzelnen Teilprobleme aus dem paarweisen Vergleich (siehe Tabelle 6-15) sowie die Teillösungen mit der jeweiligen gewichteten Punktebewertung dargestellt. Auch hier ist keine Punktebewertung der Gesamtlösung erforderlich, da keine parallelen Gesamtlösungen möglich sind. Der paarweise Vergleich veranschaulicht daher in erster Linie die Bedeutung der verschiedenen Teilprobleme für die Systemfunktionalität des Demonstrators und gibt den jeweiligen Entwicklungsaufwand vor.

Wie auch beim mobilen Gate sei an dieser Stelle angemerkt, dass das Ziel die Konzeption und Umsetzung eines Funktionsmusters zu Demonstrationszwecken ist, das in dieser Form in der industriellen Praxis nicht eingesetzt werden kann. Nach diesem Fokus wurden die verschiedenen Teillösungen definiert.

7 Konzeption der Datenhaltungs- und Datenübertragungsschicht

Gegenstand dieses Kapitels ist die Ausarbeitung der für die verschiedenen Identifikationspunkt-konzepte geeigneten Datenhaltungsschicht. Dabei wird zwischen der zentralen Datenhaltung in Form einer Datenbank und der dezentralen Datenhaltung auf einem Transponder unterschieden. Darüber hinaus müssen die Daten zwischen den Erfassungspunkten und dem übergreifenden Datenverwaltungssystem ausgetauscht werden können. Mögliche Kommunikationsprotokolle werden in Form einer XML- und CSV-Datei erläutert. Beide stellen neutrale Schnittstellen zwischen Anwendungen dar. Die erarbeiteten Konzepte werden später in den Identifikationspunkten umgesetzt.

7.1 Transponder als Datenspeicher

Hinsichtlich der Datenhaltung lassen sich zentrale und dezentrale Systeme unterscheiden. Die dezentrale Datenspeicherung auf dem Transponder wird auch als Data-on-Tag-Prinzip bezeichnet und zumeist dort eingesetzt, wo keine durchgängige Infrastruktur zur Weitergabe der Transponderdaten vorhanden ist. Typische Anwendungen sind daher die Dokumentation von Wartungsarbeiten in schwer zugänglichen Bereichen wie der Kanalisation. Auch Montagevorgänge und einzelne Arbeitsumfänge können durch das Auslesen der notwendigen Transponderinformationen erleichtert und durch die Aktualisierung der hinterlegten Daten festgehalten werden. Ein mögliches Einsatzszenario in der Bauindustrie ist die Dokumentation der Fertigung bis hin zum Ver-, Um- und Rückbau einzelner Bauteile. Erforderlich für die Umsetzung ist neben einem RFID-Datenträger mit ausreichender Speicherkapazität ein SLG mit entsprechender Applikation.

Bereits die Frage nach ausreichender Speicherkapazität bringt erste Probleme mit sich. Zum Einen benötigt eine große Speichermenge viel Energie und Zeit für die Datenübertragung. Dadurch reduzieren sich sowohl die Lesereichweite als auch die Möglichkeit der Erfassung von mehreren Transpondern auf einmal. Zum Anderen müssen die Daten von einem SLG erfasst, in dessen stationärem Speicher abgelegt

und bei einer Verbindung zum Datenverwaltungssystem ausgetauscht werden. Dadurch entsteht ein zeitlicher Verzug zwischen der Erfassung des Betriebsmittels und dessen zentraler Dokumentation.

Ein weiteres Problem stellt die langfristige, sichere Datenhaltung dar. Um Verlust oder Zerstörung des am Betriebsmittel angebrachten Transponders oder Fehler während der Datenübertragung zwischen Transponder und SLG abfangen zu können, müssen die Daten redundant im zentralen Verwaltungssystem gespeichert werden. Datenredundanz birgt jedoch das Risiko, in Folge verschiedener Datenstände aktuell gültige durch veraltete Daten zu ersetzen. Der Prozess der Aufnahme und Bevorratung der Daten muss an diese Risiken angepasst werden.

Größere Speichermengen erfordern eine klare Strukturierung der Daten und des physischen Speichers des Transponders. Eine Anwendung für die Beschreibung des Lebenszyklus eines Stahlbetonteils mit passiven UHF-Transpondern wird in [Jeh-08] erläutert. Der hierfür erforderliche Speicher mit einer Gesamtgröße von rund 400 kByte gliedert sich in die Bereiche Daten-ID, Stammdaten, Herstellung und Umbau, wobei insbesondere der letzte Abschnitt mit über 300 kByte deutlich am umfangreichsten ausfällt. Neben der großen erforderlichen Speicherkapazität, die aktuell noch nicht umsetzbar ist, wird eine neue Speicherstruktur definiert, die sich neben bereits etablierten Standards wie EPCglobal Class1 Gen2 stellt. Ein eigener RFID-Standard für die Bauindustrie ist jedoch nach derzeitigem Stand nicht sinnvoll, da sich die Technologie bisher noch nicht durchgesetzt hat und demzufolge für einen eigenen Standard, insbesondere für eine abgegrenzte Anwendung, die Basis fehlt.

Wenngleich die dezentrale Datenhaltung für einige Anwendungen wie die Lebenszyklusdokumentation von Stahlbetonteilen oder generell bei fehlender Kommunikationsinfrastruktur durchaus sinnvoll ist, ist sie für eine automatisierte Lösung zur zeitnahen Dokumentation der Materialflüsse der Betriebsmittel aus genannten Gründen ungeeignet. Bei der zentralen Datenhaltung wird lediglich der EPC (siehe Kapitel 4.2.2) auf dem Transponder hinterlegt. Weiterführende Objektinformationen befinden sich in einem zentralen Verwaltungssystem, zu dem eine permanente Verbindung bestehen muss. Ein einstimmiger Konsens hierzu herrscht auch zwischen verschiedenen Forschungseinrichtungen, die sich mit dem Einsatz von RFID in der Baulogistik beschäftigen [Pal-08]. Das bestehende Netzwerk von EPCglobal könnte auch, wie in [Hel-08b] erläutert, vor dem Hintergrund einer zunehmenden Fremdvergabe von

Baumfängen für eine Anwendung in der Bauindustrie adaptiert werden, wobei Besonderheiten der Baudatenverwaltung zu berücksichtigen sind.

7.2 Definition der Datenhaltungsschicht

Für die beiden Identifikationspunkt-konzepte sind verschiedene Datenhaltungskonzepte zielführend, um Materialflüsse oder Statusinformationen zeitnah darstellen zu können. Diese werden nachfolgend vorgestellt. Kapitel 8 geht auf deren Umsetzung im Rahmen des Aufbaus der Demonstratoren ein.

7.2.1 Datenhaltungsschicht für das mobile Gate

Das Mobile Gate hat die Aufgabe, die den I-Punkt passierenden Betriebsmittel zu identifizieren und in Verbindung mit den Orts- und Zeitinformationen des Erfassungsvorgangs den Materialfluss abzubilden (siehe Kapitel 4.1). Für die grundlegende Dokumentation des Materialflussprozesses ist ein Datenbankschema, wie in Abbildung 7-1 dargestellt, erforderlich.

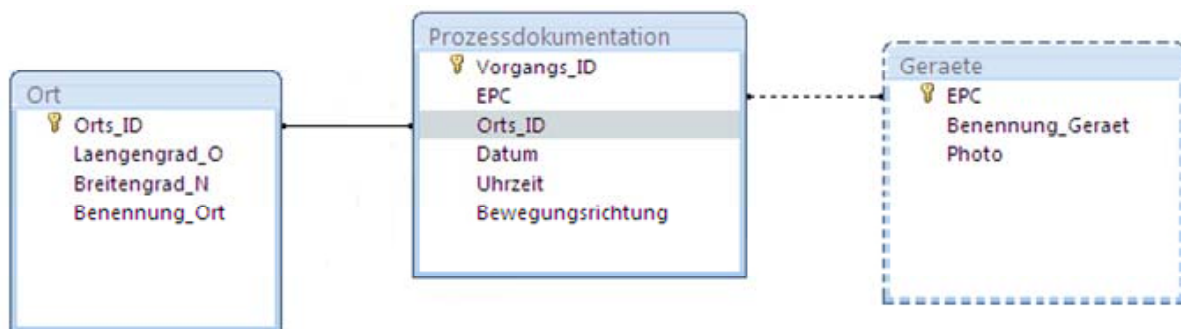


Abbildung 7-1: Datenbankmodell des Mobil Gates

Dargestellt ist das relationale Modell einer Access-Datenbank, die auf dem Steuerungsrechner des Gates hinterlegt ist. Den Kern bildet die Tabelle „Prozessdokumentation“, die den Materialfluss vollständig dokumentiert. Bei der Durchfahrt verschiedener Betriebsmittel wird für jeden vom SLG erfassten Transponder ein neuer Datensatz angelegt, der eindeutig über den Primärschlüssel „Vorgangs_ID“ angesprochen werden kann. Innerhalb eines Datensatzes wird die eindeutige Objekt-ID in Form des EPC mit Ort, Datum, Uhrzeit und Bewegungsrichtung des Erfassungsvorgangs verknüpft (siehe Tabelle 7-1).

Vorgangs_ID	EPC/ID	Orts_ID	Datum	Uhrzeit	Bewegungsrichtung
11	30F505D7DC05004000000002	23	02.02.2009	13:07:31	Wareneingang
14	30F505D7DC05004000000002	23	13.02.2009	05:23:10	Warenausgang
67	30F505D7DC05004000000002	01	15.02.2009	17:30:21	Wareneingang
89	30F505D7AD050040000000056	56	17.03.2009	13:15:01	Warenausgang

Tabelle 7-1: Datensätze der Prozessdokumentation

Die Feststellung der Bewegungsrichtung ist entscheidend für die vollständige Materialflussdarstellung, da sonst nicht zwischen einem Betreten oder Verlassen der Baustelle bzw. des Bauhofs oder der Prozessstation unterschieden und der aktuelle Status des Betriebsmittels nachvollzogen werden kann. Die Bewegungsrichtung ergibt sich anhand des vorangegangenen Status. Voraussetzung hierfür ist die vollständige Erfassung an jeder Prozessstation. Eine weitere Möglichkeit zur Ermittlung der Bewegungsrichtung bieten Aktivierungssysteme zu beiden Seiten der Durchfahrtsrichtung (siehe Kapitel 6.2.3). Die dritte Lösung ist die Ausstattung des Transportmittels mit einem Transponder an einer Seite der Fahrerkabine, damit dieser während der Durchfahrt nur von den Antenne einer Seite des Gates erfasst werden kann.

Während die Werte der Attribute „Datum“, „Uhrzeit“ und „Bewegungsrichtung“ direkt im Datensatz abgelegt sind, stehen die eigentlichen Ortsinformationen in einer weiteren Tabelle, die zur Tabelle „Prozessdokumentation“ über einen Fremdschlüssel in Beziehung steht. Derartige Beziehungen sind notwendig, um für Auswertungen der Datenbank oder Formulare für die Datenein- und -ausgabe auf verschiedene Tabellen aufgeteilte Objektdaten zusammengehörig darstellen zu können. Dadurch lassen sich Daten übersichtlich strukturieren und die Datenbank einfach erweitern.

Das Attribut „Orts_ID“ ist in der Tabelle „Prozessdokumentation“ ein derartiger Fremdschlüssel und in der Tabelle „Ort“ der Primärschlüssel. Jeder Ort ist durch seine Koordinaten des östlichen Längengrads und nördlichen Breitengrads definiert (siehe Kapitel 7.3.1), die über ein GPS-Modul als NMEA-Datei bereitgestellt werden. Einem Koordinatenpaar kann in der Datenbank auch eine textuelle Bezeichnung des Ortes, bspw. Baustelle München-Riem_Eingang-Nord, zugeordnet werden. Zu beachten ist hierbei jedoch die Streuung der GPS-Koordinaten, bedingt durch eine nur im Meterbereich liegende Genauigkeit.

Für eine vollständige Materialflussdokumentation nicht zwingend erforderlich, aber zu Informationszwecken sinnvoll, sind zusätzliche Daten zur Beschreibung der Betriebsmittel, bspw. in Form einer Benennung, eines Fotos oder der Maschinendaten.

Weitere Informationen zur detaillierten Prozessdarstellung sind Angaben zum verwendeten Transportmittel oder zum Transportauftrag bzw. Lieferschein.

7.2.2 Datenhaltungsschicht für die RFID-Theke

Die RFID-Theke wird durch einen Mitarbeiter im Lager bedient. Um dem Anwender alle relevante Daten im Zusammenhang mit der Ausleihe und Rückgabe einzelner Geräte darstellen zu können, ist eine im Vergleich zu Abbildung 7-1 deutlich komplexere Datenbankstruktur erforderlich (siehe Abbildung 7-2).

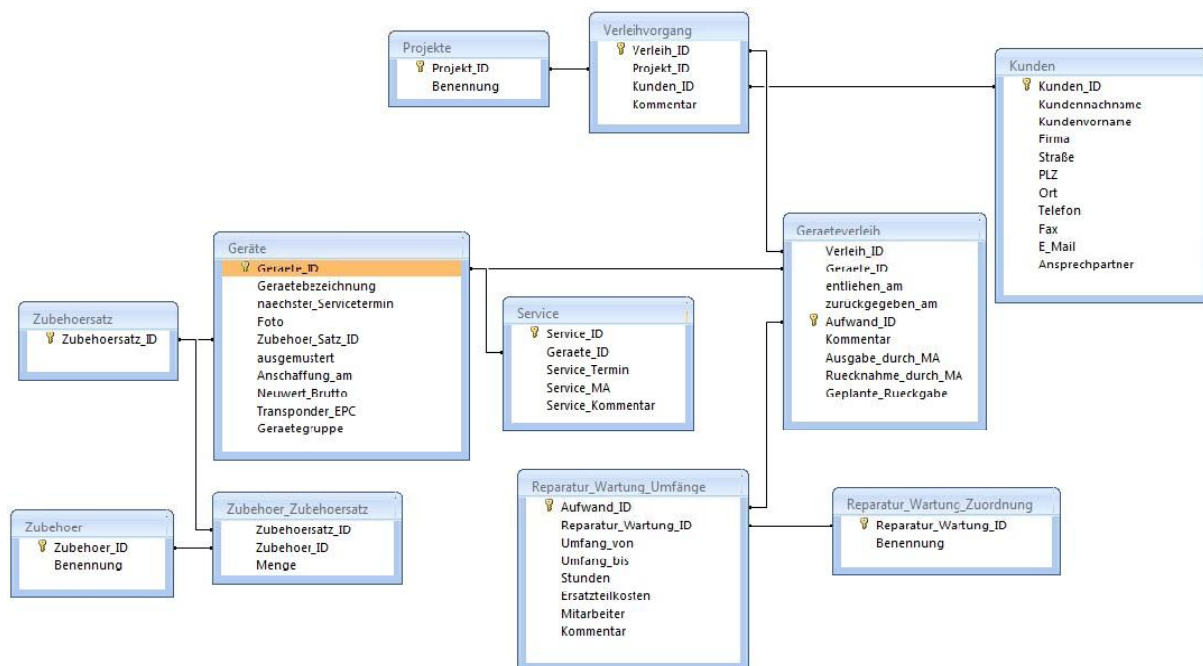


Abbildung 7-2: Datenbankmodell der RFID-Theke

Die Hauptaufgabe der Datenhaltungsschicht für die RFID-Theke ist die Dokumentation der Verleihhistorie einzelner Geräte. Zentraler Baustein ist die Tabelle „Geräteverleih“, die jedem Verleih die entsprechenden Geräte sowie Informationen rund um die Ausleihe und Rückgabe zuordnet sowie den Aufwand für eventuell angefallene Reparatur- oder Wartungsumfänge mit entsprechenden Kosten definiert. Eine Verknüpfung zu den Daten erfolgt über den Schlüssel „Aufwand_ID“.

Das Bindeglied, um den einzelnen Mietvorgängen Kunden bzw. Kostenstellen oder Projekte zuzuordnen zu können, ist die Tabelle „Verleihvorgang“. Hierdurch können die Kunden bzw. Projekte mit den angefallenen Reparaturaufwänden und Kosten in Verbindung gesetzt werden.

Neben der Dokumentation des Geräteverleihs bildet die Beschreibung der Gerätedaten den zweiten großen Block der Datenbankanwendung. Über die Tabelle „Geräte“ wird jedem Gerät ein EPC zugeordnet, wodurch das Gerät eine Identität erhält. Erst jetzt wird es bei der Erfassung als eben dieses Gerät erkannt und kann mit den Daten in Verbindung gebracht werden. Über weitere entsprechende Tabellen können dem Gerät beliebige Zubehörsätze zugeordnet werden. Die gerätespezifischen Serviceintervalle und -umfänge sind bewusst keinem Verleihvorgang zugeordnet, da sie unabhängig vom Kunden oder Projekt zyklisch durchgeführt werden müssen, um das Gerät weiterhin verwenden zu dürfen.

7.3 Definition von Schnittstellen für die Datenübertragung

Für den Aufbau der Demonstratoren wurden die Datenbanken jeweils als lokale Anwendung auf dem jeweiligen Steuerrechner als Stand-alone-Lösung konzipiert. In der Praxis muss jedoch von verschiedenen Clients auf die gleiche zentrale Datenbasis zugegriffen werden können. Für diesen Fall sind in den folgenden Abschnitten zwei Möglichkeiten neutraler Datenschnittstellen für verschiedene Anwendungen dargestellt, wie sie von den Demonstratoren erzeugt werden.

7.3.1 XML-Datei als hierarchisch strukturierte Datenschnittstelle

Das XML-Dateiformat (Extensible Markup Language) ist ein gängiges Format zum Austausch hierarchisch strukturierter Daten zwischen verschiedenen Computersystemen in Netzwerken oder über das Internet. Die Übertragung der Materialflussdaten erfordert eine derartige hierarchische Strukturierung.

Beim Durchfahren des Mobil Gates werden in der Regel nicht einzelne sondern mehrere Betriebsmittel auf einmal erfasst, für die gemeinsam der aktuelle Standort des Gates sowie Uhrzeit und Datum der Erfassung Gültigkeit besitzen. Demnach ergibt sich für die XML-Datei die Baumstruktur in Abbildung 7-3. Die drei Elemente „EPC“, „Location“ und „Zeitstempel“ besitzen jeweils verschiedene Werte. Die Daten werden über einen Algorithmus (siehe Kapitel 8.1.4) mit Hilfe der angeschlossenen RFID- und GPS-Komponenten ermittelt und entsprechend der Struktur eingetragen.

Die Positionsdaten werden von der GPS-Hardware als NMEA-Datei (National Marine Electronic Association), einem ursprünglich aus der Schifffahrt stammenden Stan-

dard, in ASCII-Zeilensprache übermittelt [Sch-09]. Für eine vollständige Positionsangabe muss als Minimalanforderung ein so genannter GPRMC-Datensatz (RMC = Recommended Minimum Sentence) vorhanden sein. Dieser enthält, durch Kommas getrennt, Datum und Uhrzeit der Ortung (Angabe als koordinierte Weltzeit UTC - diese entspricht der mitteleuropäischen Winterzeit abzüglich einer Stunde), Breiten- und Längengrad, die aktuelle Geschwindigkeit in Knoten und den Kurs in Winkelgrad sowie mögliche Warnmeldungen. Ein vollständiger Datensatz wird durch ein \$-Symbol eingeleitet und durch ein *-Symbol abgeschlossen. Durch diesen einheitlichen Aufbau lässt sich eine NMEA-Datei sehr gut interpretieren (siehe folgende Abbildung).

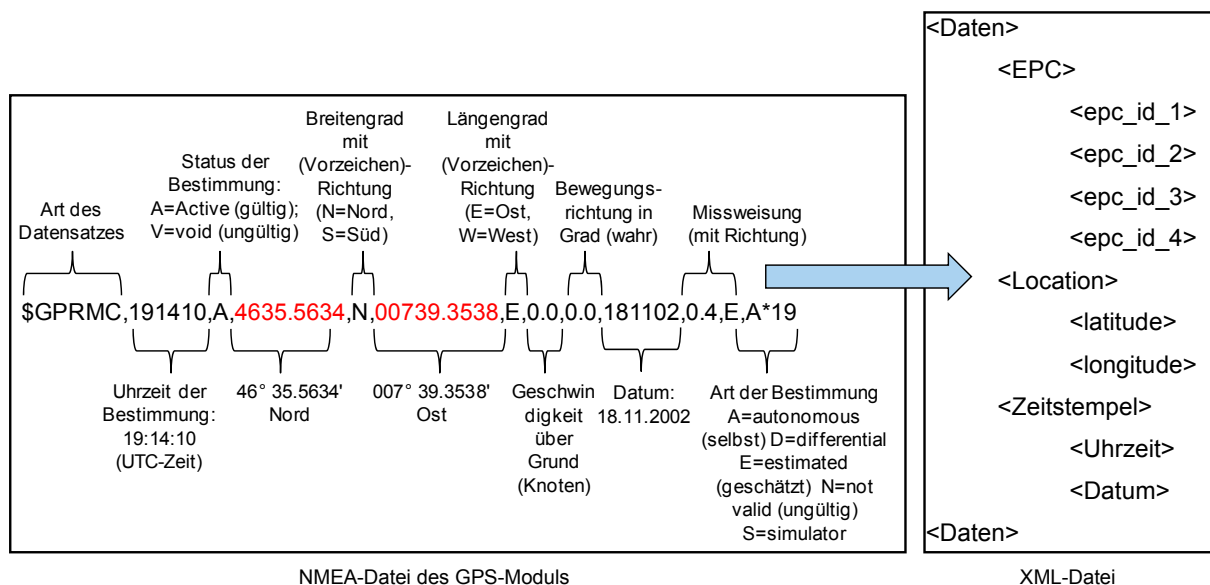


Abbildung 7-3: Übertragung der NMEA-Daten in XML-Schnittstelle

Gemäß dem in der obigen Abbildung dargestellten XML-Aufbau wird ein kompletter Erfassungsvorgang bzw. eine Durchfahrt mit einem gemeinsamen Koordinatenpaar, Datum und derselben Uhrzeit verknüpft. Die Datei kann somit in jeder Datenbankanwendung interpretiert und der Materialfluss abgebildet werden. Die Anzeige der XML-Datei ist über verschiedene Web-Browser wie Internet Explorer oder Mozilla Firefox möglich.

Der Austausch der XML-Datei kann zyklisch in einem festen Zeitintervall oder ereignisgesteuert erfolgen. Ein mögliches Ereignis ist die abgeschlossene Durchfahrt eines Fahrzeugs durch das Mobile Gate, die eine Übertragung der Datei über Datenfunk an das zentrale Verwaltungssystem auslöst.

7.3.2 CSV-Datei als Datenschnittstelle

Die Datenstruktur der RFID-Theke ist als allein stehende Lösung konzipiert. Allerdings werden Geräte-, Kunden- oder Projektdaten zentral vorgehalten. Insbesondere die Abrechnung der verschiedenen Geräte auf die Kostenstellen und Kunden wird von der Buchhaltung durchgeführt, die hierfür auf ein zentrales Verwaltungssystem zurückgreift. Aus diesem Grund ist es erforderlich, lokale Daten zum Verleihvorgang und zentrale Daten zu Kunden, Geräte und Projekten miteinander austauschen zu können. Im Gegensatz zum Mobil Gate werden bei der RFID-Theke keine hierarchisch strukturierten Daten versendet.

Das CSV-Dateiformat (Comma-Separated Values) bezeichnet eine Textdatei zum Austausch von Daten. Im Gegensatz zum XML-Format eignet es sich nur für einfach strukturierte Daten. Es ist ebenfalls ASCII-basiert, jedoch nicht allgemein standardisiert, bspw. hinsichtlich der Formatierung der Datenfelder. Es gibt verschiedene Sonderzeichen innerhalb der Textdatei zur Strukturierung. Das wichtigste Zeichen ist das Komma zur Trennung von Datenfeldern. Dabei muss bekannt sein, an welcher Stelle des Satzes eine Information zu finden ist. Für die Anwendung der RFID-Theke sind folgende Informationen zu übermitteln:

- Geräte_ID
- Gerätegruppe
- Menge
- Projekt_ID
- Kunden_ID
- Mitarbeiter_ID
- Lieferadresse
- Lieferart (Kurier, Selbstabholer, LKW)
- Datum des jeweiligen Status
- Uhrzeit des jeweiligen Status
- Lieferdatum
- Arbeitsstunden
- Material
- Status

Meist kommt der Auslieferungsauftrag aus dem zentralen System im Lager an und wird dort abgearbeitet. Der Mitarbeiter muss wissen, für welches Projekt er wie viele Ge-

räte einer Gerätegruppe ausliefern soll. Bei der Ausgabe werden Geräte_ID, Projekt_ID und Status-Angaben automatisch eingetragen und an das Verwaltungssystem geschickt.

Bei einer Spontanabholung durch den Kunden existiert noch keine Projekt_ID. In diesem Fall werden die Angaben zu Gerät, Kunde, Lieferadresse, Lieferart und Lieferdatum vom Mitarbeiter eingegeben und im Verwaltungssystem unter einem Projekt abgelegt.

Der dritte mögliche Prozess ist die Wartung und Reparatur der Geräte. Das Gerät und dessen Status werden automatisch erkannt. Der Mitarbeiter kann darüber hinaus Angaben zu Arbeitsstunden und Material machen, die die Buchhaltung nutzt, um in Verbindung mit den Stundensätzen eine Rechnung über die Kosten der Reparatur zu stellen.

8 Umsetzung der Demonstratoren

Auf Basis der beiden vorangehenden Kapitel werden das mobile Gate und die RFID-Theke aufgebaut. Die Zielstellung ist die Demonstration der Machbarkeit und Nutzenpotenziale. Beide Konzepte dürfen folglich nicht als Prototypen verstanden werden und stellen keine fertige Anwendung dar. Die Demonstratoren bleiben nach Projektende am Lehrstuhl fml und werden der interessierten Fachwelt im Rahmen von Seminaren, Tagungen und anderen Veranstaltungen vorgestellt.

8.1 Mobiles RFID-Gate

Zuerst werden im Hinblick auf die Konzeption in Kapitel 6.2.3 geeignete Komponenten für die Umsetzung der Teillösungen ausgewählt. Anschließend werden die drei umzusetzenden Teilpakete Energieversorgung, softwaretechnische Umsetzung der Prozessdokumentation und physischer Aufbau erläutert.

8.1.1 Auswahl der Komponenten

Primäre Energieversorgung

Für die primäre Energieversorgung werden zwei parallel geschaltete Solarmodule vom Typ ASE-165-GT-FT/MC des Projektpartners SCHOTT Solar verwendet. Sie sind auf ein Aluminium-Untergestell in einem Winkel von ca. 35° montiert. Mit einer Nennleistung von jeweils 165 W sind sie für die Anwendung mehr als ausreichend dimensioniert.

Zur Speicherung der elektrischen Energie dienen zwei 12V-Bleiakkumulatoren mit je 6 Zellen und einer Nennspannung pro Zelle von je 2V, die in paralleler Schaltung eine Gesamtkapazität von 188 Ah besitzen. Wichtig für die Anwendung ist die Entladeschlussspannung, welche bei ca. 1,8V/Zelle liegt. Sie darf nicht unterschritten werden, um eine Tiefenentladung zu vermeiden. Bei einer Batterie befindet sich somit die Entladegrenze bei 10,8 V. Die eingesetzten Batterien sind wartungsfrei.

Um einen optimalen Ladestrom für die Akkus zu gewährleisten wird ein Solarladeregler vom Typ MPT 350S-24-12 der Firma MSTE Solar zwischen Solarmodule und Ak-

kus gesetzt. Er stellt die Solar-Energie bzw. Strom und Spannung für einen maximalen Ladestrom ein. Zudem ermöglicht er ein fünfstufiges Mehrstufenladeverfahren, welches die optimale Ladung der Batterie gewährleistet. Um eine Säureschichtung und Sulfatisierung zu verhindern, werden die Schritte zyklisch wiederholt. Verschiedene LEDs weisen auf den aktuellen Ladezustand der Akkus hin.

Um die Akkus vor Tiefentladung zu schützen, wurde ein Lastabwurf in das System integriert. Bei Erreichen eines einstellbaren Schwellwerts trennt dieser alle Verbraucher von den Akkus. Für das vorliegende System ist eine Grenzspannung von 10,8V am besten geeignet. Nach Abschalten des Systems wird der Verbraucherstrom erst wieder bei einer sogenannten Rückschaltswelle von 12,9V zugeschaltet. Da in diesem Fall die Verbraucher nicht mehr versorgt werden können, ist ein Erreichen der Tiefentladeschwelle unbedingt zu vermeiden.

Sekundäre Energieversorgung

Die sekundäre Energieversorgung übernimmt ein Benzingenerator. Dieser muss die Batterie-Spannung aufrechterhalten, falls die Solarmodule dazu nicht mehr in der Lage sind. Im Sinne einer autarken Energieversorgung des Gates muss er autonom gestartet werden können. Da nur leistungsstärkere Generatoren über einen Elektro-Starter verfügen, ist der Mosa GE 4500 SX für die Anwendung, trotz der vom Hersteller angegebenen Leistungsverluste von bis zu 10% an heißen Tagen, überdimensioniert. Der Generator verfügt über einen externen 12V- und 230V-Anschluss und kann mit einer kabelgebundenen Fernsteuerung mit einem Zündschlüssel gestartet werden.

Zum Starten wird die integrierte 12V-Batterie des Generators mit einer Kapazität von 12Ah verwendet. Sie wird während des Betriebs des Generators geladen. Zu beachten ist auch hier, dass die Tiefentladeschwelle von 10,8V nicht unterschritten wird.

Für ein Aufladen der Akkus des Gates sind die Ausgänge des Generators auf Grund der zu hohen oder schwankenden Spannung nicht geeignet. Ein Kompaktladegerät, das am 230V-Ausgang angeschlossen wird, erzeugt eine niedrige Gleichspannung und einen hohen Gleichstrom und hält die Ladespannung auch bei Schwankungen der Netzspannung des Generators zwischen 200 V_{AC} und 250 V_{AC} aufrecht. Die Akkus werden dabei in drei automatisch ablaufenden Stufen geladen. Diese Ladecharakteristik ist entscheidend, da während des Betriebs kein manueller Eingriff vorgesehen ist.

Kompaktsteuerung

Die Steuerung des Backup-Systems wird durch eine Kompaktsteuerung vom Typ Logo! der Firma Siemens realisiert. Diese eignet sich für Betriebsspannungen von 12V und 24V. Im gegebenen Fall fließt ein maximaler Strom von 140mA, was eine errechnete maximale Leistung von 1,68W ergibt. Es können vier analoge Eingangssignale zwischen 0 und 10V gelesen werden. Zusätzlich gibt es vier rein digitale Eingänge. Als Ausgänge werden vier Relais eingesetzt, die zur Steuerung der Spannungskreise dienen. Die Steuerung besitzt ein Display, welches die Bedienung direkt über Tasten ermöglicht. Die Kompaktsteuerung wurde zur Montage auf einer Hutschiene ausgelegt und ist deshalb einfach in den Aufbau zu integrieren.

Da die analogen Eingangswerte der Kompaktsteuerung auf ein Maximum von 10V beschränkt sind, muss die an den analogen Eingängen anliegende Akku-Spannung gewandelt werden. Diese liegt zwischen ca. 10,5V und 14V. Mit einem Spannungsteiler kann das Spannungsniveau angepasst werden. Es handelt sich dabei um zwei in Reihe geschaltete ohmsche Widerstände. Bei einer Halbierung der Eingangsspannung liegt diese zwischen etwa 5,25V und 7V. Die Differenz zwischen diesen Werten ist ausreichend, um eine exakte Steuerung zu gewährleisten. Nach [SEN-09] müssen für den verwendeten Spannungsteiler zwei gleich große Widerstände zur Realisierung des halben Spannungswertes verwendet werden.

Die Widerstände sind auf Platinen gelötet und mit entsprechenden Anschlüssen versehen. Um die installierten Spannungsteiler vor mechanischen Einflüssen zu schützen, wurden diese in eine Box integriert.

Ortungssystem

Zur Ortsbestimmung dient eine GPS-Mouse, die über eine serielle Schnittstelle vom mit dem Rechner verbunden wird. Die Mouse wird mit einer externen Spannung von 5V betrieben. Sobald diese Spannung anliegt, ist das Gerät aktiv und sendet ohne Unterbrechung Daten im NMEA-Format (siehe Kapitel 7.3.1). Die Leistung beträgt bei einem Strom von ca. 100mA etwa 500mW.

Für die last- und netzspannungsunabhängige Versorgung der GPS-Mouse wird ein Spannungsregler verwendet. Dieser stellt eine entsprechende Spannung zur Verfügung, sofern die Spannungsquelle zwischen 8V und 35V liefert und dabei 5A nicht überschritten werden.

Rechner

Zwar bieten sich für den Einsatz im mobilen Gate kompakte, robuste und ressourceneffiziente Rechensysteme, wie sie in Fahrzeugen bereits vorkommen, an. Für die Demonstration der Machbarkeit des Mobilen Gates, bei der es in erster Linie auf die autonome und automatische Prozessdokumentation ankommt, ist es aber von untergeordneter Rolle, welches Rechensystem verwendet wird. Daher wird für den Aufbau ein handelsüblicher Laptop verwendet.

RFID-Hardware

Die Erfassung der Betriebsmittel erfolgt mit mehreren, am Gate verteilten SLG der Firma Deister vom Typ UDL 500, die über einen Datenkonzentrator (DCU) (engl. Data Concentration Unit) synchronisiert werden. Er kann mit einer Spannung zwischen $8 V_{DC}$ und $30 V_{DC}$ betrieben werden und wird auf einer Hutschiene verbaut. Bei einem Strombedarf von 1A werden bei einer Betriebsspannung von $12V_{DC}$ etwa 12W für diese Komponente benötigt. Die DCU wird über eine serielle Schnittstelle am Rechner angeschlossen.

Bewegungsmelder

Die Bewegungsmelder sollen die RFID-Hardware nur bei Bedarf aktivieren. Für das RFID-Gate sollen zwei Bewegungsmelder vom Typ VEx der Firma Guardall Verwendung finden. Die volumetrische Ausführung ist für Reichweiten bis zu 15m ausgelegt, während die zweite Ausführung Bewegungen im Abstand von bis zu 30m erkennt. Durch eine Kombination der beiden Modelle kann eine mehrstufige Bewegungserkennung realisiert werden, die Fehlstarts reduzieren soll.

Alarmsystem

Zur Systemüberwachung sollen Störungen durch einen Alarm deutlich wahrnehmbar sein. Um die Zuverlässigkeit eines eventuell ausgelösten Alarms zu erhöhen, wird dieser redundant, also optisch und akustisch, ausgeführt. Zu diesem Zweck wurde ein Piezo-Signalgeber mit einem Schalldruckpegel von 110dB und einer roten Blinkleuchte an das System angebunden. Die Komponente ist für 12V ausgelegt und wurde für den Innen- oder geschützten Außenbereich entwickelt. Für einen dauerhaften Einsatz im Freien muss sie demnach angepasst werden.

8.1.2 Energiebilanz

Um die Zuverlässigkeit der autonomen Energieversorgung mit den beschriebenen Komponenten bewerten zu können, wurde eine Energiebilanz aufgestellt. Der wichtigste Bestandteil ist die Leistung der Solarmodule.

Zunächst wurde für den Standort München die Leistung der Solarmodule exemplarisch für das Jahr 2006 beschrieben. Die Daten der monatlichen Sonneneinstrahlung in kW/h können für verschiedene Standorte bspw. unter [SOL-09] eingesehen werden. Zu berücksichtigen ist der Wirkungsgrad, der vom Hersteller mit 13% angegeben wird, aber unter ungünstigen Umständen wie bspw. verschmutzten Solarzellen oder nachteiliger Aufstellung der Module auf 10% sinken kann. Nachstehende Grafik stellt die Solarleistung und die abgeschätzte benötigte Energie dar.

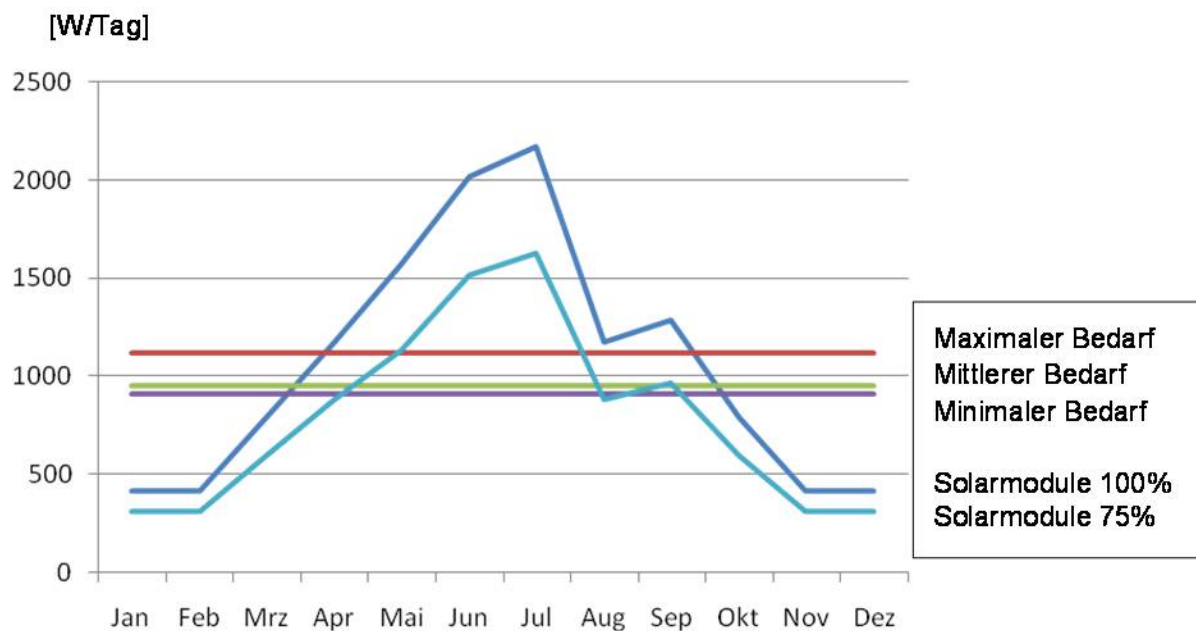


Abbildung 8-1: Solarleistung und Energiebedarf

Über den Generator und das angeschlossene Kompaktladegerät kann zusätzlich Energie bereitgestellt werden. Zwar können Ladeströme zwischen 2A und 16A manuell, aber nicht automatisch ein gestellt werden. Die mögliche zusätzliche Leistung beträgt demnach zwischen etwa 30W und 230W.

Für den Verbrauch werden verschiedene Szenarien angenommen. Bei einem maximalen Energieverbrauch wird von ständigen Durchfahrten durch das Gate ausgegangen, weshalb die Komponenten in einem dauerhaften Betriebszustand sind. Für diesen Fall summieren sich die Leistungen der einzelnen Verbraucher zu etwa 80W. Realistischer ist allerdings eine deutlich geringere Frequenz. Bei einer Durchfahrt

etwa jede Minute betrat die benötigte Leistung ca. 68W, insbesondere durch die häufigere Standby-Zeit der RFID-Hardware. Bei einer Nutzung des Gates ca. alle fünf Minuten sinkt die Leistung der RFID-Hardware weiter. In Summe ergibt sich eine Systemleistung von etwa 65W.

Wird der gesamte Energieverbrauch der Leistung der Solarmodule gegenüber gestellt, fällt eine Versorgungslücke zwischen Mitte August und Ende März auf, die mit dem Generator nur mit einem höheren Ladestrom ausgeglichen werden kann. Jedoch muss an dieser Stelle erwähnt werden, dass die verwendeten Komponenten Standardkomponenten sind, die nicht optimal auf den Einsatz in einem Mobilien Gate mit autarker Energieversorgung abgestimmt wurden. In Abbildung 8-2 wird deshalb aufgezeigt, welche Auswirkungen eine Verwendung effizienterer Komponenten hätte. Durch den Einsatz eines GSM-Moduls, das den Rechner, die Steuerung und die GPS-Maus kombiniert, ergibt sich das größte Energie-Einsparpotential. Ein Kompaktladegerät, das im passiven Zustand keine Energie benötigt und die Akkus möglichst schnell aufladen kann, bringt weitere Vorteile. Zudem können Solarmodulen neuer Generation verwendet werden, die eine höhere Leistungsdichte erzielen und daher kompakter bauen. Jedoch sollte für den Fall anhaltender schlechter Witterungsbedingungen nicht auf ein Back-Up-System verzichtet werden.

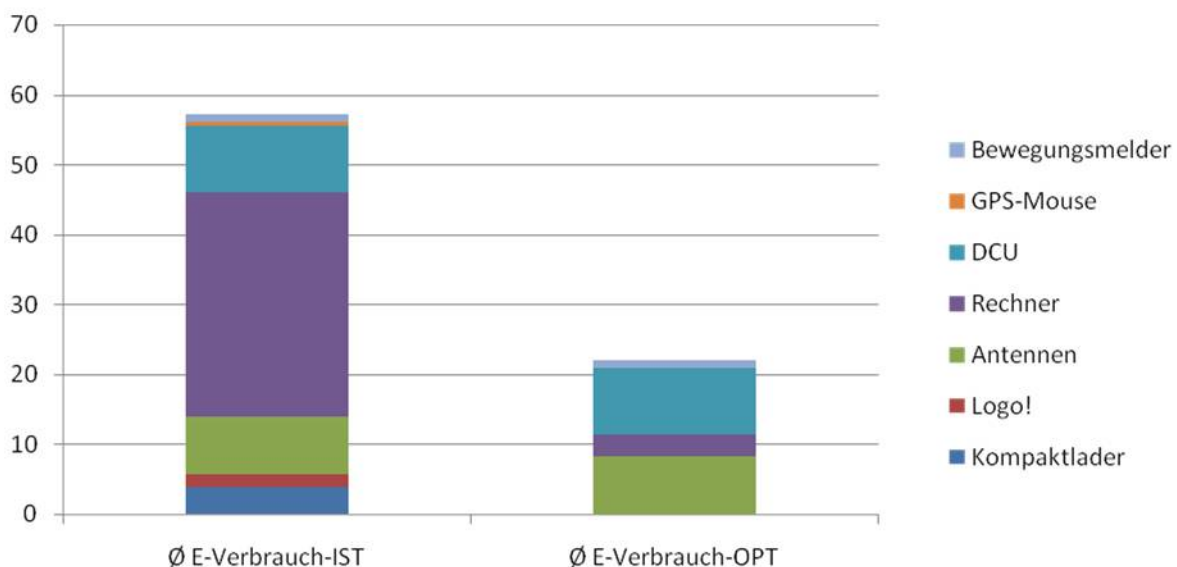


Abbildung 8-2: Optimierter Energieverbrauch

Energieertrag und -verbrauch sind als Näherungswerte zu verstehen, die in der Praxis auf Grund der genannten ungünstigen Umweltbedingungen abweichen können. Sie ermöglichen jedoch eine gute Einschätzung der tatsächlichen Energiebilanz.

8.1.3 Autarkes Energieversorgungskonzept

Entscheidend für einen netzautarken Betrieb des mobilen Gates ist die genaue Konzeption der Energieversorgung. Alle Verbraucher werden über die beiden beschriebenen Akkus versorgt. Um eine möglichst hohe Gesamtkapazität zu erzielen, sind die Akkus parallel geschaltet, da sich nach [Fro-08] die Gesamtkapazität aus der Summe der Einzelkapazitäten berechnet. Die Bordnetzspannung, die die maßgebliche Steuergröße des Systems darstellt, beträgt 12V.

Zunächst muss die Fernbedienung des Generators so angepasst werden, dass der manuelle Bedienvorgang autonom durch die Kompaktsteuerung durchgeführt werden kann. Die unten stehende Tabelle zeigt die möglichen Zustände der Fernbedienung.

Element	Möglicher Zustand:	Kontakt	Folge
Zündung	Ein/Aus	Offen	Zündung ein
		Geschlossen	Zündung aus
Start	Ein / Aus	Offen	Starter aus
		Geschlossen	Starter aktiv
Choke	Ein / Aus	Offen	Choke aus
		Geschlossen	Choke aktiv

Tabelle 8-1: Zustände der Fernbedienung

Die verschiedenen Zustände ergeben sich im manuellen Modus durch das Drehen des Zündschlüssels und den Kippschalter für den Choke zur Gemischregelung und müssen für den autonomen Betrieb von der Kompaktsteuerung übernommen werden. Die sechs Zustände können mit einer Schaltung aus drei Schließer-Relais realisiert werden. Dazu wird die Fernbedienung demontiert und direkt von den Ausgängen der Kompaktsteuerung gesteuert.

Der nächste Schritt besteht in der Programmierung der Kompaktsteuerung. Als erstes muss das angestrebte Systemverhalten nachvollziehbar dargestellt werden. Das folgende Nassi-Schneidermann-Diagramm (NSD) zeigt den Programmablauf in Abhängigkeit der Spannungen der Akkus im Gate und des Generators.

Um ein Auslösen des Lastabwurfs bei 10,8V zu vermeiden, wird der untere Schwellwert auf 11,0V gesetzt. Auf der anderen Seite soll der Generator möglichst selten zum Einsatz kommen, da er sonst im Falle fehlender Wartung Gefahr läuft, wegen Benzinmangel auszufallen. Der obere Grenzwert liegt deshalb bei 13,0V, da der Akku hier einen Ladestatus von etwa 95% besitzt. Die zweite Steuergröße ist die Span-

nung des Generator-Akkus, da im Falle eines zu geringen Spannungswerts der Generator nicht mehr starten kann.

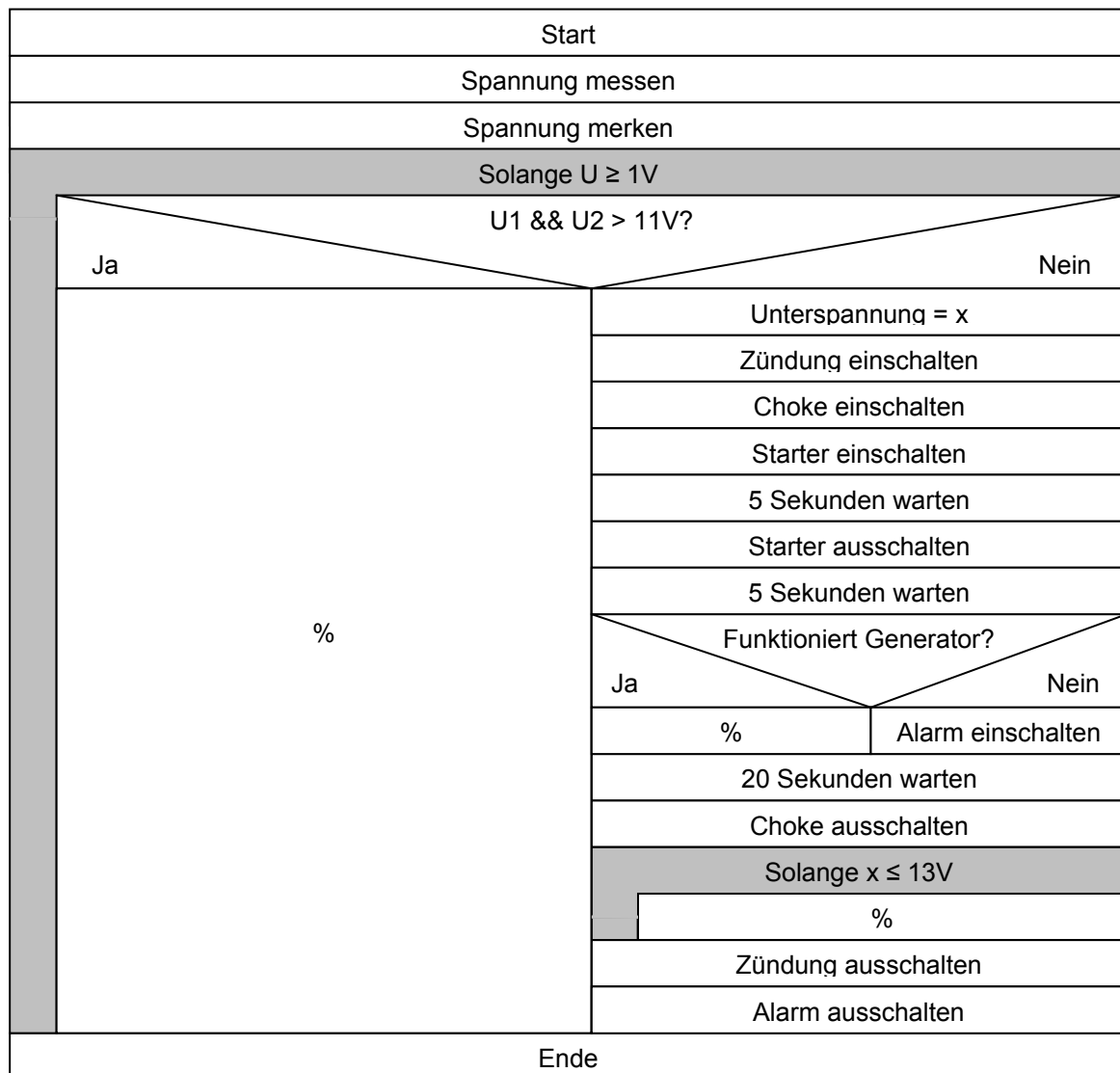


Abbildung 8-3: NSD für die Logik der Energiesteuerung

Zur Implementierung des Algorithmus stellt Siemens ein grafikbasiertes Programmiersystem zur Verfügung (Logo!Soft Comfort V6.0). Das Systemverhalten wird in Form von Funktionsplänen abgebildet. Die Grundbausteine sind analoge und digitale Konstanten, bspw. Ein- und Ausgänge, sowie Grund- Sonderfunktionen, zu denen bspw. Timer oder Counter zählen.

Die Funktionsblöcke werden per „Drag and Drop“ auf die Benutzeroberfläche gezogen. Daraufhin werden sie durch Verbindungselemente logisch miteinander vernetzt. Vor der Übertragung des Programms kann der Algorithmus mit Hilfe eines Simulationswerkzeugs auf Konsistenz geprüft, validiert und verifiziert werden. Die Abarbeitung des Programms erfolgt, wie der Lesefluss eines Textes, von links nach rechts.

Nach Abbildung 8-5 ist das Programm prinzipiell in die beiden Bereiche „Spannungsüberwachung“ (grün eingerahmt) und „Funktionsabsicherung“ (magenta eingerahmt) aufgeteilt. Beginnend mit dem ersten Bereich greift die Konstante AI1 die Akkuspannung ab. Die Spannungsüberwachung wird durch eine Ersatzschaltung in Form eines „RS-FlipFlop“ (siehe Abbildung 8-4) abgebildet. Dieser besteht grundsätzlich aus zwei Schwellertschaltern, die jeweils eine Schaltschwelle besitzen sowie einem RS-Relais (Reset-Set-Selbthalte-Relais). Der obere Schwellwert (B002 SWS) entspricht einer Batterie-Spannung von 13V, der untere (B001 SWS) einer Batterie-Spannung von 11V. Zweiter muss mittels eines NOT-Operators nachträglich invertiert werden, um der gewünschten Schaltcharakteristik zu entsprechen. Das RS-Relais schaltet auf „Setzen“, sobald am oberen Eingang eine 1 und am unteren Eingang eine 0 anliegt. Das wäre der Fall, wenn die Batteriespannung unter 11V fällt. In dem Moment, wenn die Spannung über 13V steigt, nimmt der Reset-Eingang den Wert 1 an und der Ausgang wird zurückgesetzt. Die Selbsthalte-Eigenschaft des Relais bewirkt, dass sich der Ausgangszustand zwischen 11V und 13V in beiden Richtungen nicht verändert. Die Überwachung der Generator-Batteriespannung erfolgt analog über die Konstante AI2.

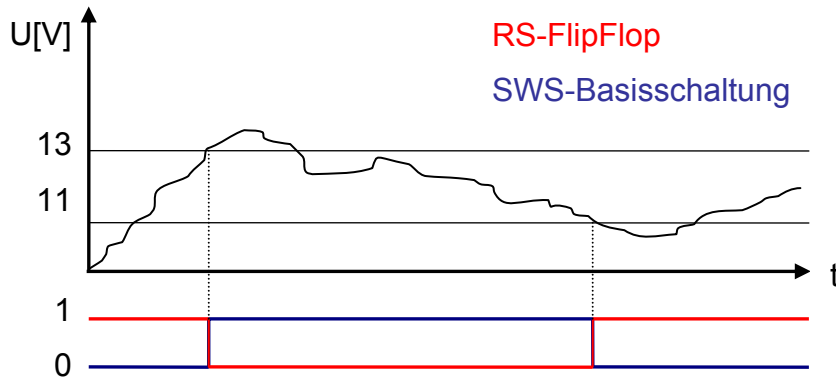


Abbildung 8-4: Schaltcharakteristik der Spannungsüberwachung

Sobald einer der beiden Eingänge gesetzt ist, wird der Generator zugeschaltet. Dazu werden die Ausgänge Q1 (Zündung), Q2 (Start) und Q3 (Choke) angesteuert. Sie entsprechen den in der Steuerung integrierten physikalischen Relais. Bedingt durch die Architektur der Fernsteuerung verursacht ein Schließen des Stromkreises an Q1 eine Deaktivierung der Zündung. Dem Ausgang muss also wiederum eine Invertierung (B010 NOT) vorausgehen, um eine korrekte Betätigung der Fernbedienung zu gewährleisten. Das zeitinduzierte Zurücksetzen der Ausgänge Q2 und Q3 nach einer Aktivierung erfolgt mit Hilfe zweier Wischrelais-Funktionen. Im Menü die-

ser Zeitschaltenelemente werden Verzögerungen von 5 Sekunden (B011) bzw. 30 Sekunden (B012) definiert.

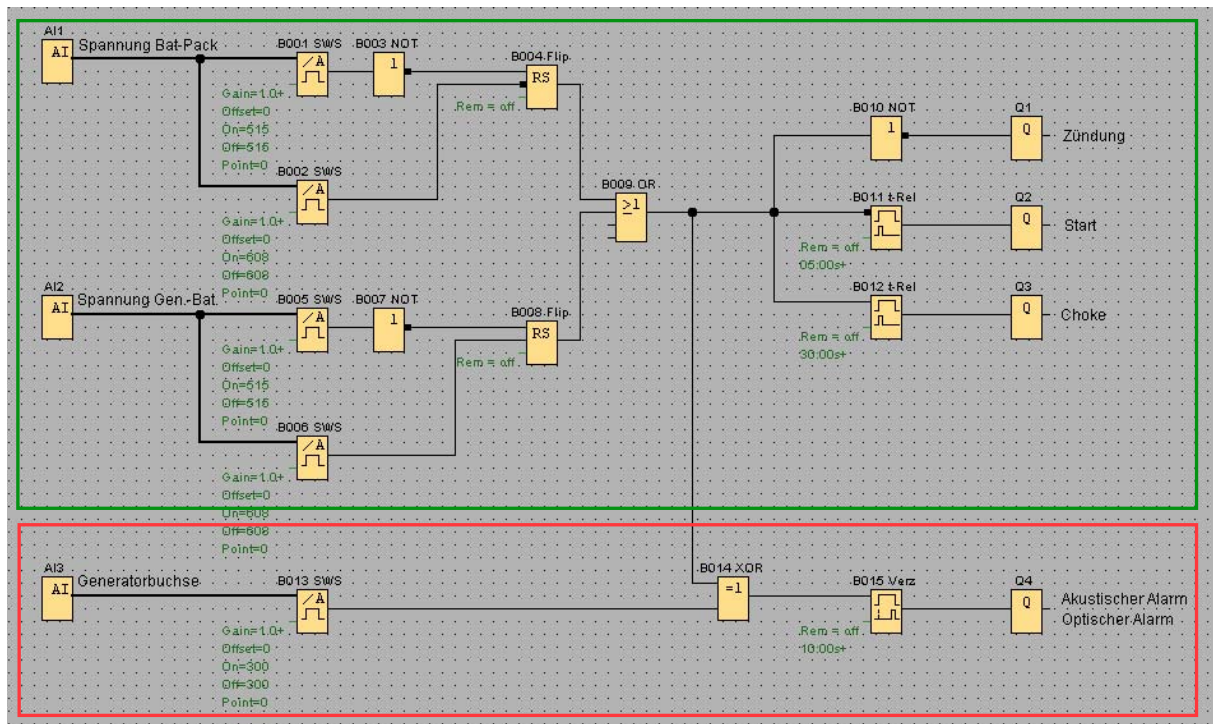


Abbildung 8-5: Graphische Darstellung des Logo!Soft-Steuerungsprogramms

Im zweiten Bereich des Funktionsplans wird die Funktionsabsicherung des Notstromgenerators behandelt. Eingang AI3 entspricht der Generatorbuchsenspannung und dient als Eingangssignal für einen dritten analogen Schwellwertschalter, dessen Ein- und Ausschaltswellen einen Wert von 11V besitzen. Bei einem Wert von 11V kann von einer uneingeschränkten Funktionsfähigkeit des Generators ausgegangen werden. Bei Überschreitung der Schwellspannung geht der Schwellwertschalter auf „Setzen“. Auf diesem Weg lässt sich feststellen, ob der Generator läuft.

Dies soll jedoch nur dann geschehen, wenn die Spannungsüberwachungseinheit am Ausgang von „B009 OR“ eine 1 schaltet, der Generator also laufen müsste. Demzufolge wird das Signal der Spannungsüberwachung mit dem Ausgang des dritten Schwellwertschalters verglichen. Der Ausgang des XOR-Elements nimmt den Wert 1 an, sobald die Eingänge unterschiedliche Werte besitzen. Das wäre beispielsweise der Fall, wenn trotz einer Aktivierung des Generators seitens der Steuerung keine Spannung an der Generatorbuchse anliegt.

Im Fall einer Fehlfunktion wird der Alarm aktiviert. Um einem Fehlalarm während des Generator-Einschaltvorgangs durch den Zeitverzug zwischen dem Setzen des SWS1

und dem Spannungsaufbau an der Generatorbuchse nach seinem Start entgegenzuwirken, wird ein Einschaltverzögerungselement mit einer Verzögerung von 10s platziert.

8.1.4 Applikation zur Prozessdokumentation

Als nächstes wird ein Algorithmus entwickelt, der die Koordinaten der GPS-Mouse und die Information des RFID-Readers verarbeitet, in einer XML-Datei speichert und in eine Datenbank schreibt. Vor der Implementierung wird die Logik wiederum in Form eines Nassi-Schneidermann-Diagramms abgebildet.

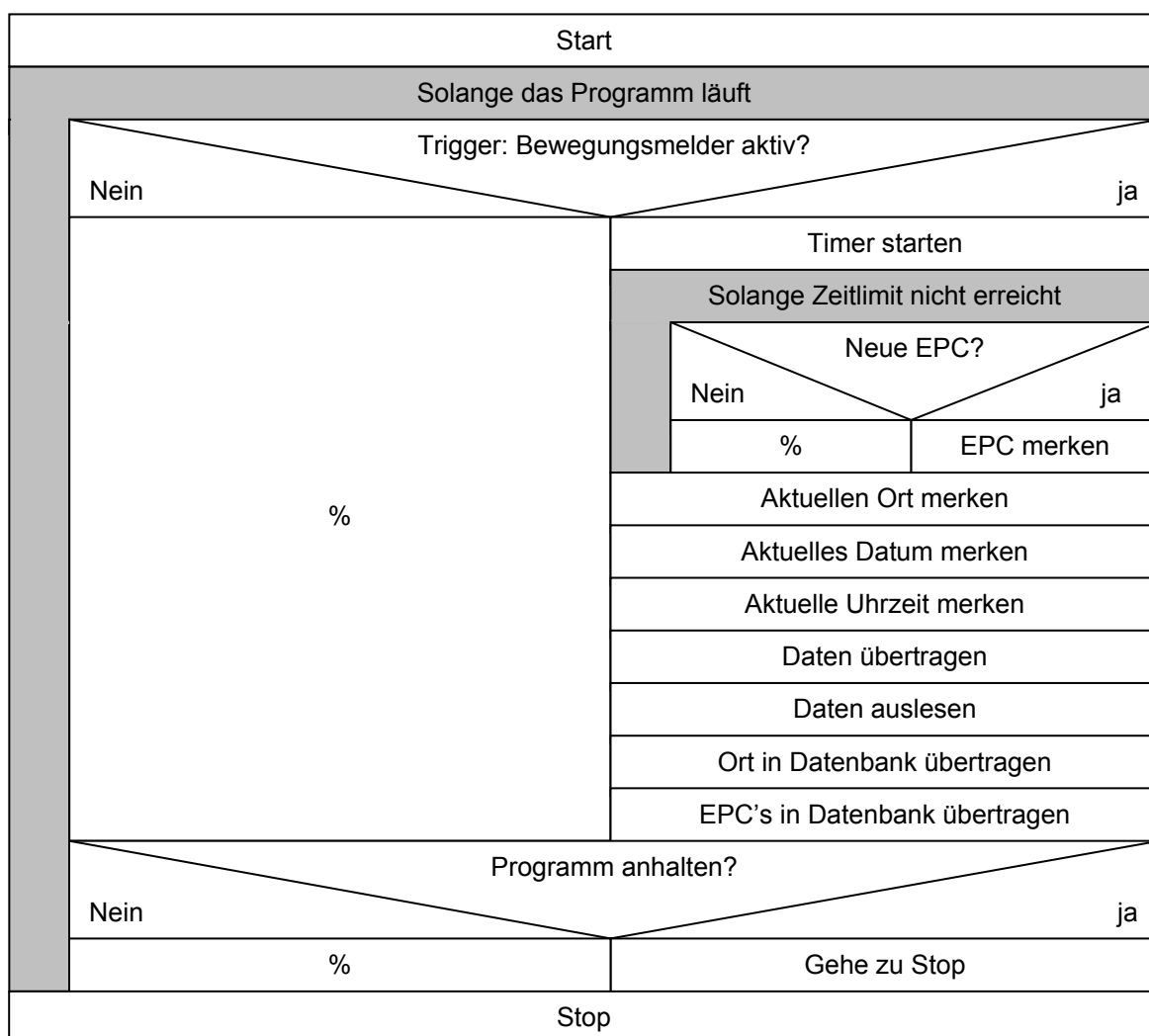


Abbildung 8-6: NSD für die Logik der Prozessdokumentation

Die Anwendung wird in C# mit der Entwicklungsumgebung „Microsoft Visual Studio“ erstellt. Die Sprache ist nicht prozedural, sondern objektorientiert aufgebaut und deshalb gut für die Gate-Anwendung geeignet.

Der Algorithmus ist modular aufgebaut. Als an den Steuerungsrechner seriell angeschlossene und damit externe Objekte werden die SLG vom Typ UDL500 der Firma Deister und die GPS-Mouse eingebunden (siehe Abbildung 8-7). Im eigentlichen Hauptteil der Anwendung werden die Objekte angesprochen und deren Daten (EPC der erfassten Transponder, Längen- und Breitengrad, Zeit, Datum) in einer XML-Datei zusammengeführt. Deren Struktur ist in Abbildung 7-3 zu sehen.

Zunächst wird ein Über-Knoten „Daten“ erstellt, der die oberste hierarchische Ebene der XML-Struktur verkörpert. In der nächsten Ebene werden die Knoten „EPC“ und „Location“ definiert, welche die eingehenden Informationen von RFID-Reader und GPS-Mouse beinhalten. Die Attribute der Knoten bilden die dritte Hierarchieebene. Beim Erstellen der XML-Datei werden als Erstes alle vom Reader empfangenen EPC iterativ aufgenommen. Im zweiten Schritt wird der Knoten „Location“ erstellt und über die Attribute „Longitude“ und „Latitude“ (Längengrad und Breitengrad) charakterisiert, wodurch der Ort eindeutig definiert wird. Ebenfalls auf Basis der Daten der GPS-Mouse wird der Knoten „Zeitstempel“ mit den Attributen „Uhrzeit“ und „Datum“ beschrieben. Die fertige XML-Datei wird anschließend im Programmordner der Anwendung gespeichert und ersetzt dabei ggf. bestehende XML-Dateien voriger Durchläufe, sofern diese erfolgreich in die Datenbank importiert werden konnten.

Der Reader wird über eine serielle Schnittstelle (COM4) über eine Routine angesprochen, die als externes Objekt im Strukturbaum hinterlegt ist. In der Hauptanwendung erfolgt der Zugriff über ein eigenes Attribut.

Die GPS-Mouse wird ebenfalls über eine serielle Schnittstelle (COM1) angesprochen. Das zur Kommunikation mit der GPS-Mouse notwendige Code-Fragment besteht aus mehreren Klassen und wird an dieser Stelle nicht weiter erläutert. In der Hauptanwendung wird hierauf über die Attribute des Knotens „Location“ zugegriffen. Im nächsten Schritt wird die XML-Datei extrahiert. Die Daten werden in die in Kapitel 7.2.1 beschriebene Datenbank importiert. Der Datenbankzugriff über C# erfolgt mittels verschiedener SQL-Abfragen. Dabei wird zunächst überprüft, ob die aktuelle Kombination von Längen- und Breitengrad bereits in der Tabelle „Ort“ hinterlegt ist. Ist das nicht der Fall, erfolgt der Eintrag der aktuellen Ortskoordinaten in die Tabelle „Ort“. Im Anschluss wird die zuletzt eingetragene bzw. durch die Kombination von Längen- und Breitengrad bekannte Zeile von „Ort“ selektiert und die betreffende Orts_ID ausgewählt. Daraufhin wird in der Tabelle „Prozessdokumentation“ für jeden Transponder der XML-Datei ein neuer Prozess angelegt, für den die ausgewählte

Ort_ID gültig ist. Jede Zeile der Tabelle „Prozessdokumentation“ repräsentiert nun einen bestimmten Prozess, der aus einer Transponder-EPC mit exakter Orts- und Zeitangabe besteht.

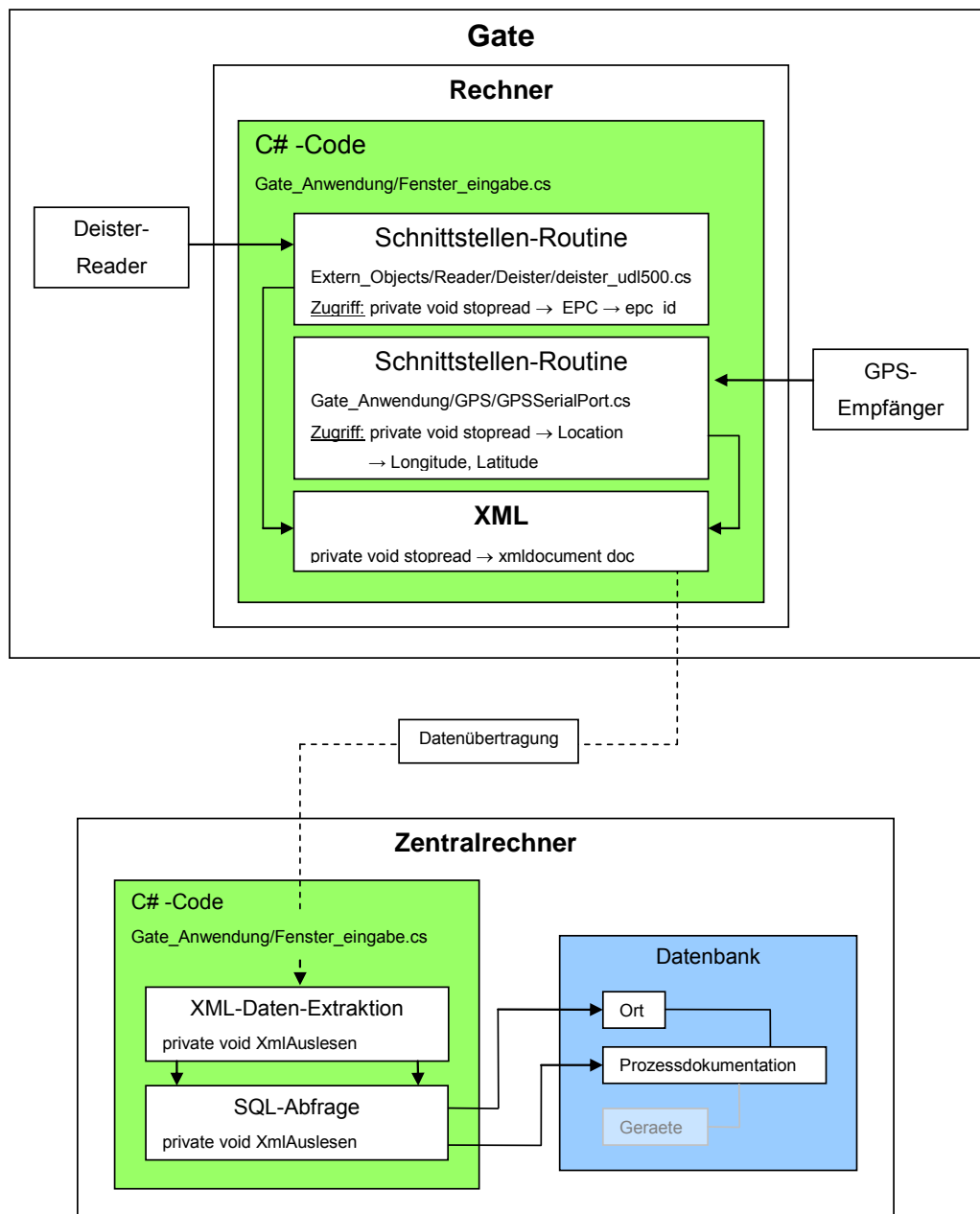


Abbildung 8-7: Software-Architektur des Mobil Gates

In Abbildung 8-7 ist bereits die Datenübertragung an einen Datenserver berücksichtigt. Der Demonstrator macht von dieser Funktionalität keinen Gebrauch und importiert die XML-Datei in eine lokale Datenbank, was die Funktionsweise hinreichend beschreibt.

Auf Grund der für die Aktivierung des Gates zu ungenauen Auslösung der Bewegungsmelder sind diese für die Definition der Bewegungsrichtung nicht geeignet. Um

die Bewegungsrichtung trotzdem bestimmen zu können, gibt es verschiedene Möglichkeiten. Alternativ lässt sich die Bewegungsrichtung logisch auf Basis des vorangegangenen Status des Betriebsmittels (z.B. auf dem Bauhof) bzw. anhand der erfolgten Lesungen des Transponders in der Prozessstation festlegen.

Für den Demonstrator wird aus Ermangelung einer Aktivierung durch die Bewegungsmelder die Anwendung manuell gestartet. Vor dem Programm-Start werden vom Benutzer der serielle Eingang des Readers festgelegt und die Verbindung aktiviert. Nach dem Programmstart sind die SLG aktiv. Bei der ersten Erfassung eines Transponders wird ein Timer gesetzt, der das Programm alle zwanzig Sekunden (empirisch ermittelter Wert für eine Gate-Durchfahrt) neu startet.

Es besteht jedoch die Gefahr der doppelten Erfassung von Transpondern, wenn sich bei schnell aufeinander folgenden Transportmitteln zwei Erfassungsintervalle überschneiden. Die erste Erfassung wird bspw. richtig als Einfahrt, die zweite Erfassung jedoch fälschlicherweise als Ausfahrt interpretiert. Um derartige Fehler zu vermeiden, müssen die Erfassungszeiten des Transponders miteinander verglichen werden. Liegen sie nur innerhalb eines Zeitfensters von wenigen Sekunden, kann die letzte Erfassung negiert werden.

Eine weitere Möglichkeit, die deutlich sicherer, da unabhängig von der Zuverlässigkeit vorangehender Statusaussagen, ist, ist die Erfassung der Transponder der verwendeten Transportmittel. Dazu wird lediglich ein Transponder auf der Seite des Transportmittels angebracht. Die metallische Fahrzeugkarosserie stellt sicher, dass der Transponder nur vom SLG auf derselben Seite gelesen werden kann. Die DCU der RFID-Hardware dokumentiert bei jeder Erfassung, welches SLG den Transponder identifizieren konnte. In Kombination können dadurch die Bewegungsrichtung des Transportmittels und damit der neue Aufenthaltsort des Betriebsmittels bestimmt werden.

8.1.5 Integration der Komponenten

Abbildung 8-8 stellt den Aufbau des Gates dar. Die Solarmodule werden neben das Gate gestellt und über Tyco-Stecker mit dem Solarladeregler verbunden. Dieser liefert den Ladestrom mittels eines groß dimensionierten 12mm²-Kupferkabels an die Akkus, um Ladeverluste möglichst gering zu halten. Das Kompaktladegerät ist über

ein Verlängerungskabel mit dem 230V-Ausgang des Generators verbunden und mit Klemmen an die Akku-Pole angeschlossen.

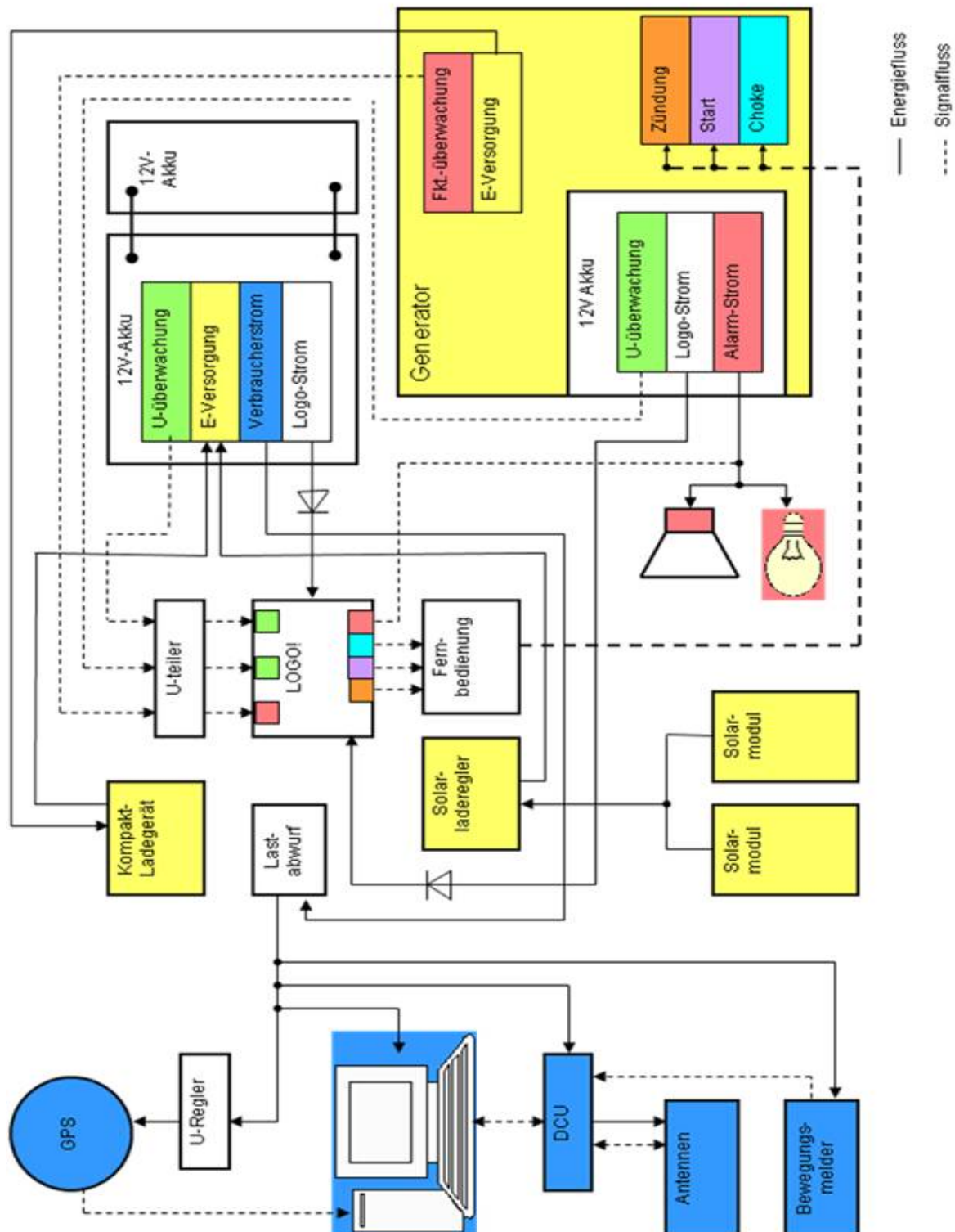


Abbildung 8-8: Energieversorgungskonzept des Mobil Gates

Um möglichst unabhängig von den Spannungszuständen der Akkus zu sein, wird die Kompaktsteuerung Siemens LOGO! zusätzlich durch die Generator-Batterie ver-

sorgt. Dies erfolgt mittels zweier in die Versorgungsleitungen integrierter Dioden, welche einen Potentialausgleich der Batterien verhindern. Zur Spannungsüberwachung werden alle in die Kompaktsteuerung eingehenden Spannungen durch den Spannungsteiler angepasst. Die Relais-Ausgänge sind über die Fernbedienung mit dem Generator und dem Alarm-System verbunden. Somit lassen sich die gewünschten System-Zustände abbilden.

Die Versorgungs-Batterien werden mit dem Lastabwurf verbunden und liefern die notwendige Energie für die Verbraucher, die direkt an das 12V-Netz angeschlossen werden können. Eine Ausnahme bildet die GPS-Mouse, die über den Spannungsregler mit einer Versorgungsspannung von 5V betrieben wird. Die SLG müssen darüber hinaus zur Übertragung der Daten mit der DCU verbunden werden, die ebenso wie die GPS-Mouse an den Rechner angeschlossen ist.

Das Gate ist zweiteilig modular aufgebaut, um alle Komponenten optimal in das Gehäuse zu integrieren. Der Generator ist auf Grund seiner Abmessungen und des hohen Gewichts in einem eigenen Rollwagen untergebracht. Im Betrieb strahlt er eine hohe Hitze ab, die ebenso wie die Schwingungen die Elektronikkomponenten schädigen kann. Die restlichen Komponenten sind im zweiten Rollwagen untergebracht. Die beiden Rollwägen sind durch Kabel miteinander verbunden, die in einem stabilen Überfahrerschutz verlegt sind. Abbildung 8-9 zeigt das Packaging der Komponenten. Sie sind möglichst zusammengehörig auf drei stabilen Holzplatten befestigt, die in einem Leiterraum stabil gelagert sind. Die einzelnen Platten können über Griffe oder im Fall der Akkus wegen des hohen Gewichts mit Ösen aus dem Wagen gehoben werden. Für ein gutes Handling sind die verschiedenen Module mit Steckern verbunden.

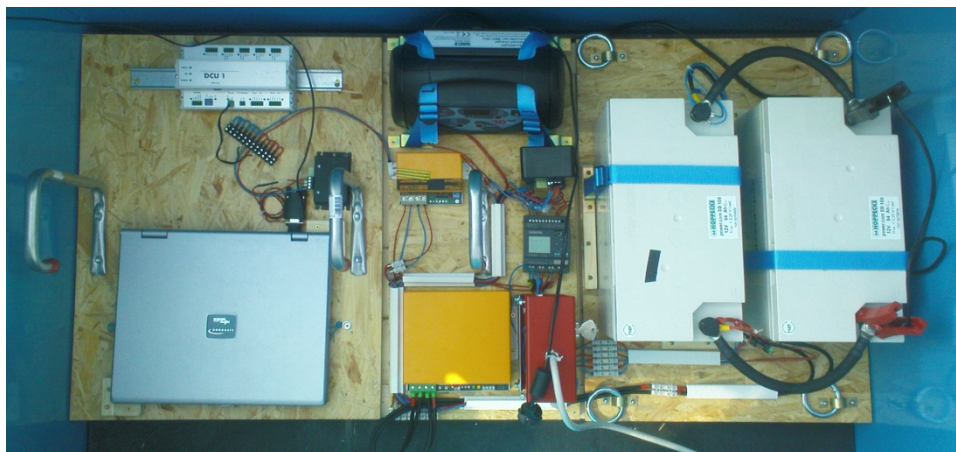


Abbildung 8-9: Integration der Komponenten des Mobil Gates



Abbildung 8-10: Aufgebautes Mobiles Gate

Das einsatzbereite Mobile Gate zeigt Abbildung 8-10.

8.2 RFID-Theke

Die RFID-Theke wurde als Demonstrator für die Unterstützung der Verwaltung von Mietgeräten auf dem Bauhof umgesetzt. Das Konzept wird nachfolgend dargestellt.

8.2.1 Auswahl und Integration der Komponenten

Im ersten Schritt wurde ein Modell der Theke in Catia V5R19 konstruiert, um die Auswahl und Integration der Komponenten zu erleichtern (siehe Abbildung 8-11). Die Theke besteht aus einem doppelwandigen Profil aus furniertem Holz, in das die einzelnen Komponenten integriert werden. Zwei zirkular polarisierte UHF-Antennen vom Typ CK-868 der Firma WiMo sind unterhalb der Arbeitsplatte und seitlich angebracht. Sie sind mit Koaxialkabeln an das SLG vom Typ LRU1000 der Firma Feig angeschlossen und mit einer Plexiglasscheibe abgedeckt, um für den Mitarbeiter im Lager gut sichtbar zu sein. Die obere Antenne dient der Erfassung kleiner Koffergeräte, die direkt im Koffer erfasst werden können. Die seitliche Antenne ist hingegen zur Identifizierung größerer Betriebsmittel gedacht, die im selben Lagerbereich gelagert und

bspw. auf einer Palette mit dem Hubwagen an der Theke vorbeigeschoben werden können.

Die einzelnen Parzellen für Antennen, SLG und Rechner sind mit Türen versehen, um die Hardware sicher unterzubringen und ggf. austauschen zu können.

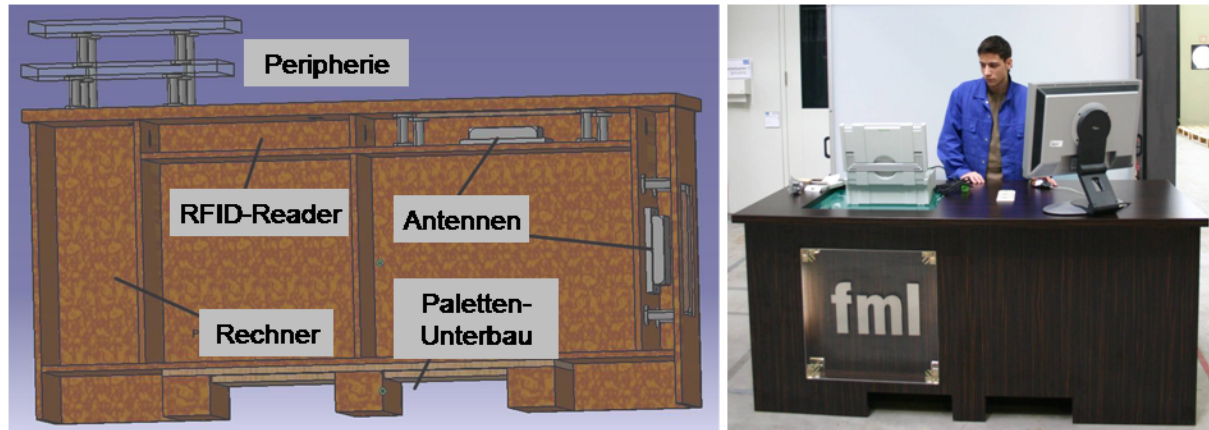


Abbildung 8-11: Konzept und Umsetzung der RFID-Theke

Das SLG wiederum ist mit einem PC über eine serielle Schnittstelle verbunden. Der Rechner stellt an den Einsatz in der RFID-Theke minimale Ansprüche. Er benötigt lediglich eine Grafikkarte zur Anzeige der Bedienoberfläche sowie einen für die zu implementierende Anwendung ausreichenden Prozessor. Die Festplatte muss lediglich die Datenbank und die Theken-Software speichern können. Für die Kommunikationsfähigkeit zum zentralen Verwaltungssystem, die im Demonstrator nicht umgesetzt wurde, ist darüber hinaus eine Netzwerkkarte erforderlich.

Der Unterbau ist in Form einer Euro-Palette gestaltet, um die Transportfähigkeit der Theke zu gewährleisten. Dadurch lässt sich die Theke einfach mit einem Hubwagen durch einen Mitarbeiter bewegen. Darüber hinaus sind Steckdosen in die Oberfläche der Theke integriert, um vor der Ausgabe eines Geräts dessen Funktionsfähigkeit im Zweifelsfall prüfen zu können.

8.2.2 Applikation zur Prozessdokumentation

Die Applikation zur Prozessdokumentation wurde ebenfalls mit C# implementiert und besteht aus der eigentlichen Anwendung, der Anbindung des SLG als externes Objekt und der Benutzeroberfläche. Abbildung 8-12 stellt die Logik der Anwendung in Form eines Nassi-Schneidermann-Diagramms dar.

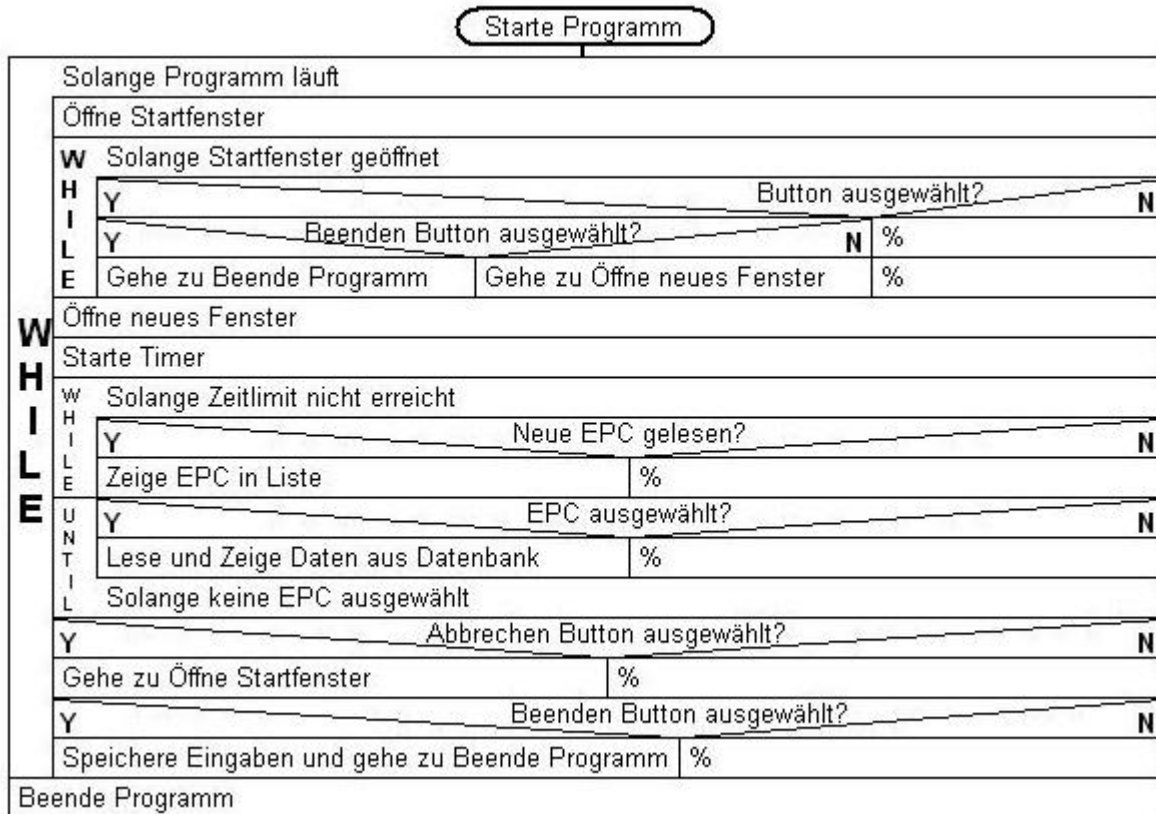


Abbildung 8-12: NSD für die Applikation der RFID-Theke

Das SLG ist analog der Anwendung des Mobilen Gates als externes Objekt über die serielle Schnittstelle in die Theken-Software eingebunden. Der Zugriff auf das Objekt erfolgt über eine globale Funktion. Durch das zyklische Abrufen des internen Speichers des SLG können die unmittelbar erkannten Transponder bzw. deren EPC als Variable in die Anwendung übernommen werden. Der EPC kann durch Zugriff auf die lokale Datenbank mit den bereits bekannten EPC der Geräte verglichen werden. Dadurch kann sich der Benutzer sowohl Gerätedaten anzeigen lassen, als auch verschiedene Eingaben tätigen, die über die Verknüpfung mit dem EPC in der Datenbank abgelegt werden.

Der Zugriff auf die Datenbank erfolgt über den OleDb-Provider, mit dem eine Verbindung eingerichtet wird. Die Abfrage und Manipulation der Daten wird mit SQL-Befehlen durchgeführt. Dadurch können Daten der Datenbank angezeigt oder neue Daten bzw. Datensätze erzeugt werden.

Wichtig für die Akzeptanz und fehlerfreie Funktion der Anwendung sind die verschiedenen Benutzeroberflächen. Diese sogenannten GUIs (Graphical User Interface) können ebenfalls in der Entwicklungsumgebung Microsoft Visual Studio erstellt werden. Für die Ein- und Ausgabe von Daten gibt es verschiedene Bausteine wie But-

tons, Text- und Listfelder, die auf die Datensätze der lokalen Datenbank referenziert sind. Nach dem Start der Anwendung hat der Benutzer die Wahl zwischen Geräteausgabe, Geräteübergabe, Geräteinformation oder Wartung. Abbildung 8-13 stellt beispielhaft die Maske zur Anzeige der Geräteinformationen dar.

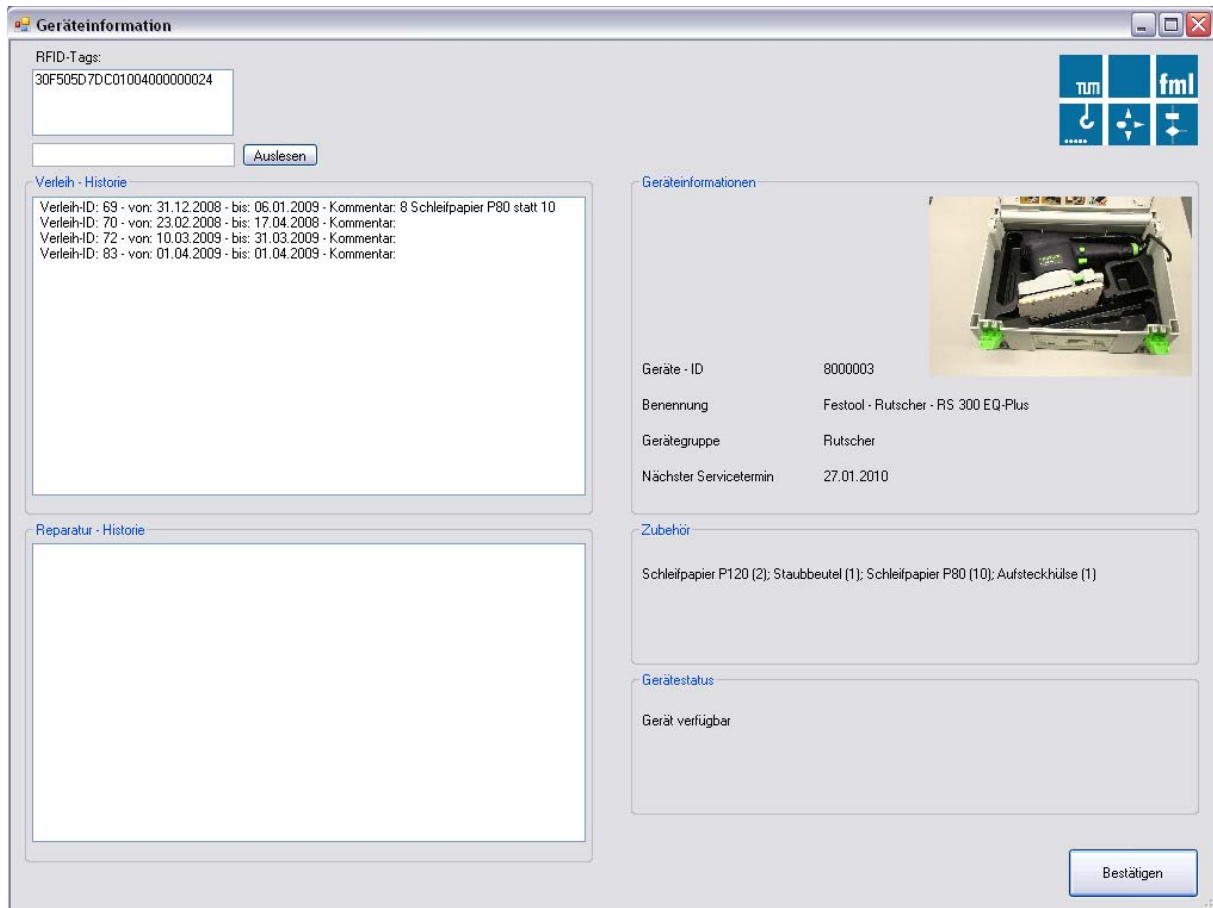


Abbildung 8-13: Benutzerschnittstelle der RFID-Theke

Nach der Identifikation des Geräts und dem Abgleich mit der Datenbank stellen sich dem Anwender Geräte-ID, Benennung, Gerätegruppe und nächster Servicetermin dar. Durch ein Foto ist die optische Zuordnung des Geräts möglich. Des Weiteren ist das Zubehör aufgeführt, das sich im Gerätekofter befinden soll. Auch kann der aktuelle Status bei manueller Eingabe der Geräte-ID abgefragt werden, um die Verfügbarkeit nachzuvollziehen. Darüber hinaus werden dem Benutzer die Verleih- und Wartungshistorie angezeigt.

Während das Fenster der Geräteinformation lediglich der Anzeige von Gerätedaten dient, werden bei der Geräteübergabe und Geräteausgabe konkrete Eingaben vom Anwender gefordert. Beispiele hierfür sind die Angabe des Mitarbeiters, der die Aus-

oder Rückgabe durchgeführt hat sowie bei der Ausgabe die Nennung des Projekts oder des Kunden.

Die Wartung/Reparatur hingegen erfordert Angaben zum Aufwand in Mannstunden und den vorgenommenen Reparaturarbeiten.

Die eingegebenen Daten werden durch die Bestätigung des Vorgangs in die Datenbank geschrieben. Für den Austausch mit einem zentralen Verwaltungssystem sind sie in eine CSV-Datei (siehe Kapitel 7.3.2) zu schreiben und mit der Bestätigung zu übermitteln. Der Austausch zu einem übergeordneten System wurde im Demonstrator nicht umgesetzt.

9 Ergebnisse

Die entwickelten Kennzeichnungs- und Identifikationspunkt-konzepte werden abschließend in praxisnahen Feldversuchen validiert. Die Konzepte sind ebenso wie die berücksichtigten Umgebungsbedingungen vollkommen unternehmensspezifisch und können daher auf jedes Unternehmen der Bauindustrie übertragen werden. Somit ist die Vorwettbewerblichkeit der Ergebnisse dieses Forschungsprojekts sichergestellt.

Auf Basis der erzielten Ergebnisse wird ein Leitfaden erstellt, der dem Anwender die Einführung von RFID in der Baubranche durch aufeinander aufbauende Fragestellungen erleichtern soll.

9.1 Bewertung der Kennzeichnungskonzepte

Um die Haltbarkeit und Realisierbarkeit der Kennzeichnungskonzepte zu bewerten, wurden Versuchsreihen unter praxisnahen Bedingungen durchgeführt. Getestet wurden zum Einen die Zuverlässigkeit der Befestigung der Transponder und deren nachträgliche Anbringung durch die anwendenden Bauunternehmen. Zum Anderen wurde die Erfassung der Transponder im Einsatz auf dem Bauhof und der Baustelle analysiert.

Bohrrohre

Zur Bewertung der Bohrrohrschaube als Kennzeichnungslösung für Bohrrohre wurden Versuche unter Einsatzbedingungen auf einer Tiefbaustelle durchgeführt. Die Bohrrohre wurden zur Erstellung einer Pfahlwand aus Flüssigbeton eingesetzt.

Für die Bewertung wurde zunächst die Robustheit der Bohrrohrschaube analysiert. Dazu wurde die Schraube mit einem integrierten Transponder vom Typ SkyRFID Mini Metal Special Tag H3, der bereits in den Versuchsreihen am Lehrstuhl (siehe Kapitel 5.4.1) die besten Ergebnisse erzielen konnte, in ein Gewinde des Mutterstücks eingeschraubt (siehe Abbildung 9-1, links). Danach wurde das Bohrrohr in das Erdreich eingebracht.

Nach dem Ausgießen des Bohrpfahls und dem Ziehen der Rohre war die Bohrrohrschaube immer noch fest im Mutterstück verschraubt. Alle Belastungen, die wäh-

rend des Einsatzes auf das Rohr und die Kunststoffschraube eingewirkt haben, können demnach problemlos verkraftet werden.



Abbildung 9-1: Gekennzeichnete Bohrröhre

Die zweite Frage stellt sich nach der Funktionsfähigkeit unter den Bedingungen auf der Baustelle. Um diese bewerten zu können, wurde am Mast des Bohrgeräts ein SLG der Firma Deister vom Typ UDL500 provisorisch angebracht (siehe Abbildung 9-1, rechts). Die Stelle für die Befestigung wurde nach Rücksprache mit Polier, Bauleiter und Maschinenführer so ausgewählt, dass eine Anbringung im Hinblick auf den Einsatz des Bohrgerätes ohne Einschränkung der Arbeitsaufgabe möglich ist. Zudem gewährleistet die Position eine uneingeschränkte Erfassung des Transponders bei einer gleichzeitig robusten Anbringung.

Um die Lesbarkeit des Transponders zu bewerten, wurde das Bohrrohr bei gleichzeitiger Rotation und Translation schraubenförmig am SLG vorbei geführt. Der Transponder konnte sowohl vor als auch nach dem Einbringen des Bohrrohres während der Rotation des Bohrrohres sicher identifiziert werden. Für eine zuverlässige Identifikation muss jedoch darauf geachtet werden, dass sich die Bohrrohrschraube im direkten Feld des SLG befindet, da der Transponder durch die bündige Integration in das metallische Bohrrohr nur bei einem eingeschränkten Rotationswinkel und geringem vertikalen Versatz zum SLG erfasst werden kann. Der Prozess der Ein- und Ausbringung der Bohrröhre muss an diese Bedingung bspw. durch Reduzierung der Rotations- und Vorschubgeschwindigkeit im Bereich der Bohrrohrschraube oder mehrere Transponder je Bohrrohr angepasst werden.

Schutzeinrichtungen

Zur praxisnahen Bewertung der Kennzeichnung metallischer Rohrkörper (siehe Kapitel 5.4.2) wurden Bauzäune und Absperrungen mit den beschriebenen Kunststoffstopfen und einer halboffenen Schlitzantenne ausgerüstet. Wie in der Praxis bei verschiedenen Industriepartnern üblich werden die Schutzeinrichtungen meist auftragsweise zusammen mit anderen benötigten Betriebsmitteln auf einer Palette transportiert. Abbildung 9-2 zeigt die Durchfahrt einer Lieferung von Schutzeinrichtungen auf einer Euro-Palette.



Abbildung 9-2: Gekennzeichnete Schutzeinrichtungen

Damit die Bauzäune in Querrichtung auf der Palette transportiert werden können, ist eine Mindestbreite der Durchfahrt von ca. 5 Metern erforderlich. Für die Versuchsreihe wurde daher in der Versuchshalle des Lehrstuhls ein Gate mit entsprechenden Abmessungen aufgebaut. Neben der Durchfahrtsgeschwindigkeit wurde auch die Konstellation des Gates analysiert. In Anlehnung an das Mobile Gate, das aus Gründen der Energieeffizienz nur über zwei SLG verfügt, wurden die oberen SLG abgeschaltet, wodurch sich keine Einschränkung der Erfassung der Transponder feststellen ließ. Auch beim Betrieb nur des den Transpondern zugewandten unteren SLG konnten alle Schutzeinrichtungen zuverlässig identifiziert werden.

Systemschalungen

Zur Beurteilung der Zuverlässigkeit der Systemschalungskennzeichnung wurden sowohl gekennzeichnete Hardtags direkt als auch Labels unter dem Typenschild auf dem Holzträger angebracht (siehe Abbildung 9-3). Anschließend wurden die gekennzeichneten Elemente auf die Baustelle transportiert und verbaut. Nach der Rückkehr

auf den Bauhof wurde überprüft, ob die Transponder noch vorhanden und funktionsfähig waren.



Abbildung 9-3: Gekennzeichnete Systemschalungen

Das Ergebnis war ebenfalls positiv. Sowohl die auf den Holzträger geschraubten Hardtags als auch die Label unter den Typenschildern waren vollständig vorhanden und konnten zuverlässig identifiziert werden.

Geräte

Bei den Geräten ist eine robuste Kennzeichnungslösung zwingend erforderlich, um den einwirkenden Beanspruchungen standhalten zu können. Um Aussagen zur Praxistauglichkeit der Kennzeichnung mit RFID treffen zu können, wurden zum Einen Schalt- und Kühlschränke (siehe Abbildung 9-4) mit Hardtags an der Außenfläche gekennzeichnet, bevor sie auf der Baustelle zum Einsatz kamen. Zum Anderen wurden an Hubwägen in der Versuchshalle des Lehrstuhls fml Transponder über einen längeren Zeitraum angebracht.



Abbildung 9-4: Gekennzeichnete Geräte

Sowohl am Schaltschrank als auch am Kühlschrank war nach einer Einsatzzeit von mehreren Wochen der Hardtag noch vorhanden und funktionstüchtig. Dasselbe Ergebnis wurde bei den Hubwägen erzielt.

Kleingeräte

Kleingeräte erfordern Kennzeichnungslösungen, die ihre ergonomische Handhabung nicht beeinträchtigen. Unter Berücksichtigung dieser Voraussetzung wurden verschiedene Labels mit Strukturklebeband wasserdicht an verschiedenen Geräten angebracht (siehe Abbildung 9-5, Akku-Schrauber, Verteilerkasten, Tauchpumpe, Kettensäge). Die Kleingeräte wurden anschließend auf der Baustelle in verschiedener Verwendung eingesetzt.

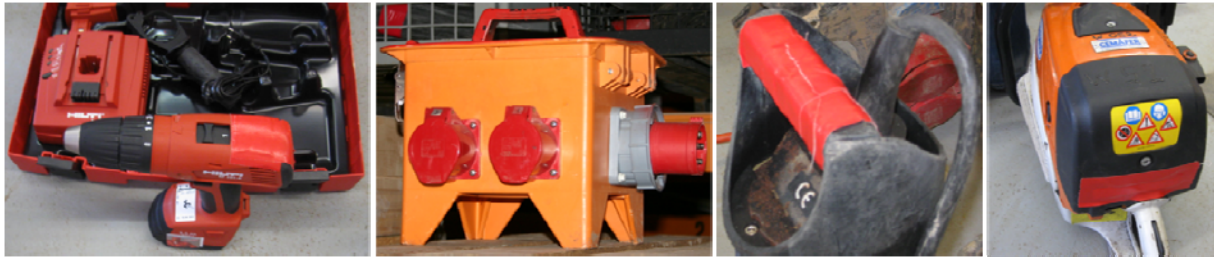


Abbildung 9-5: Gekennzeichnete Kleingeräte

Auch hier konnten alle Transponder am Gerät verbleiben und nach der Ankunft im Bauhof identifiziert werden. Bei einer dauerhaften robusten Anbringung der Labels ist somit mit einer zuverlässigen Kennzeichnung zu rechnen.

9.2 Bewertung der Identifikationspunktkonzepte

Zur umfassenden Bewertung der Einsatzmöglichkeit von RFID in der Bauindustrie werden nach den Kennzeichnungslösungen die entwickelten Identifikationspunktkonzepte hinsichtlich ihrer Praxistauglichkeit bewertet.

Mobiles Gate

Das Mobile Gate muss zuverlässig alle passierenden Betriebsmittel und Fahrzeuge, sofern auch diese gekennzeichnet sind, erfassen und in der Datenbank zusammen mit Orts- und Zeitstempel dokumentieren.

Zur Validierung der Funktionsfähigkeit wurden mehrere Transponder gleichzeitig durch das Gate bewegt. Da zunächst nur die Richtigkeit der Dokumentation in der Datenbank nachgewiesen werden sollte, wurden die Transponder manuell an den SLG vorbeigeführt. Dabei konnten nicht nur alle Transponder zuverlässig erfasst, sondern auch richtig in der Datenbank abgelegt werden. Jedem Prozess wurden Prozess_ID, Ort_ID, Uhrzeit und Datum zugewiesen (siehe Kapitel 7.2.1). Die Daten

konnten auch in der jeweils angelegten XML-Datei nachvollzogen werden (siehe Kapitel 7.3.1).



Abbildung 9-6: Gate-Durchfahrt eines Fahrzeugs

In einem weiteren Schritt wurde der Lehrstuhlbus auf der Fahrerseite mit einem OnMetal-Transponder versehen und durch das Gate gefahren. Bei einer ungünstigen Ausrichtung zwischen Transponder und SLG, bedingt durch eine große Differenz der Anbringungshöhen von SLG und Transponder, konnte der Transponder mitunter nicht erfasst werden. Die SLG sind demnach so am Mast des Gates anzubringen, dass sie in etwa auf einer Höhe mit den Betriebsmitteln liegen, die durch das Gate bewegt werden. Diese Höhe ist abhängig vom Einsatzfall. Bspw. sind die SLG zur Erfassung von Ladungsträgern auf dem Transportmittel über der Höhe der Ladekante anzubringen, während für die Erfassung von Ladungen, die mit dem Hubwagen durch das Gate bewegt werden, bodennahe SLG notwendig sind.

RFID-Theke

Die RFID-Theke wurde hinsichtlich der Integration in den bisherigen Prozess der Materialverwaltung und die Bedienbarkeit der Anwendung bewertet. Da sich die RFID-Theke hinsichtlich ihres physischen Aufbaus kaum von einer herkömmlichen Theke, wie sie im Lager verwendet wird, unterscheidet, kann sie ohne Probleme in den Prozess integriert werden. Auch die bisherige Aus- und Rückgabe der Geräte unterscheidet sich nicht wesentlich vom bisherigen Prozess. Damit jedoch alle Materialbewegungen lückenlos dokumentiert werden, müsse alle Kleingeräte über die obere Antenne in der Theke bewegt und die schweren Betriebsmittel direkt an der seitlichen Antenne vorbeigeführt werden. Durch die manuelle Bestätigung ist eine Kon-

trolle möglich, ob eine Erfassung und damit verbundenen Buchung tatsächlich stattgefunden hat.

Die Bedienbarkeit kann dank der einfachen Strukturierung der Oberfläche positiv bewertet werden. Für einen Einsatz in der Praxis ist jedoch eine Änderung der Struktur der angezeigten und anzugebenden Daten notwendig, da viele der bisher lokal gespeicherten Daten aus dem zentralen Verwaltungssystem bezogen werden. Eine mögliche Erweiterung in Form einer CSV-Datei für den Datenaustausch zwischen RFID-Theke und Verwaltungssystem ist in Kapitel 7.3.2 dargestellt.

9.3 Leitfaden für den Einsatz von RFID in der Bauindustrie

Die RFID-Technologie wird bisher nur vereinzelt in der Bauindustrie eingesetzt (siehe Kapitel 2.2). Insbesondere potentielle Anwendungen in der Baulogistik werden fast ausschließlich im Rahmen von Forschungsarbeiten untersucht. Die Gründe dafür sind sehr vielseitig. Zum Einen fehlt es an konkreten Nutzenpotenzialen und davon abgeleiteten Einsatzszenarien für die vielfältigen Betriebsmittel. Zum Anderen sind bisherige Kennzeichnungslösungen und Identifikationspunkt-konzepte nicht oder nur bedingt für einen Einsatz in der Bauindustrie geeignet. Das größte Problem stellt jedoch die Adaption der baulogistischen Prozesse dar. Da der erfolgreiche Einsatz von RFID direkt von den individuellen Randbedingungen des Prozesses abhängig ist, muss dieser detailliert definiert werden.

Die Ergebnisse dieses Forschungsprojekts wurden deshalb in Form eines Leitfadens zusammengefasst, der eine Hilfestellung bei der Einführung von RFID in der Bauindustrie leisten soll. Dazu wurden vier Kernfragen aufgeworfen, die chronologisch beantwortet werden müssen. Die einzelnen Projektinhalte dienen hierbei als Grundlage. Der Leitfaden ist unternehmensunabhängig anwendbar.

Ist der Einsatz von RFID in der Bauindustrie wirtschaftlich sinnvoll?

Der Einsatz von RFID macht dann Sinn, wenn dadurch organisatorische bzw. prozesstechnische und damit monetäre Vorteile zu erwarten sind. Zunächst muss demnach die Frage nach der Wirtschaftlichkeit einer Einführung von RFID im Unternehmen beantwortet werden.

Eine globale monetäre Bewertung ist dabei nicht möglich, zumal dieser von unternehmensspezifischen Faktoren abhängt. Allerdings sind in Kapitel 3.3.1 Nutzenpo-

tenziale genannt, die helfen sollen, Probleme der aktuellen Betriebsmittelverwaltung, die möglicherweise nicht als solche wahrgenommen werden, sowie neue Einsatzfelder wie die Zertifizierung nach ISO 9000 aufzuzeigen. Diesen können wiederum Kosten oder erwartete Einsparungen durch deren Lösung zugeordnet werden.

In einem weiteren Schritt wurden die verschiedenen Betriebsmittel der Bauindustrie nach verschiedenen Kriterien klassifiziert (siehe Kapitel 3.2), um dem Anwender konkrete Einsatzszenarien der RFID-Technologie in Abhängigkeit von den jeweiligen Betriebsmitteln darzustellen (siehe Kapitel 3.3.2). In Kapitel 3.4 sind die Ergebnisse der betriebsmittelspezifischen Bewertung tabellarisch dargestellt.

Ist die Kennzeichnung eines Betriebsmittels mit RFID möglich?

Ergeben sich erfolgversprechende Einsatzszenarien für die RFID-Technologie im Unternehmen, muss geklärt werden, wie die jeweiligen Betriebsmittel gekennzeichnet werden können. In Kapitel 5.1 werden der RFID-Hardware die gängigen Belastungen in der Bauindustrie gegenübergestellt. An diesen orientieren sich die in Kapitel 5.4 erläuterten Kennzeichnungskonzepte für die verschiedenen Betriebsmittelgruppen. Dabei ist anzumerken, dass sich verschiedene Konzepte auch für andere Betriebsmittel, die nicht zur definierten Gruppe gehören, eignen können. In Kapitel 5.5 sind die verschiedenen Transponder für die einzelnen Betriebsmittel aufgeführt. Der Katalog stellt lediglich eine Hilfestellung dar und soll nicht als Empfehlung konkreter Produkte verstanden werden.

Wie sind die Identifikationspunktkonzepte für die Bauindustrie zu gestalten?

Gängige Identifikationskonzepte wurden ursprünglich für die Anwendung in der stationären Industrie entwickelt sind daher nur bedingt für den Einsatz in der Bauindustrie geeignet. Aus diesem Grund wurden in Form des Mobilen Gates und der RFID-Theke zwei I-Punktkonzepte entwickelt (siehe Kapitel 6.2 und 6.3) und umgesetzt (siehe Kapitel 8.1 und 8.2). Während das Mobile Gate für die automatische Erfassung von Betriebsmitteln auf der Baustelle und dem Bauhof konzipiert wurde, kann die RFID-Theke für die Verwaltung von Kleingeräte im Lager des Bauhofs oder zur gerätespezifischen Dokumentation von Wartungs- und Reparaturumfängen in der Werkstatt eingesetzt werden.

Wie lässt sich RFID in die Bauprozesse integrieren?

Das größte Problem für den Einsatz von RFID in der Bauindustrie stellt die fehlende verbindliche Definition der Prozesse und deren Randbedingungen dar. Dabei bietet die RFID-Technologie die Möglichkeit, Materialflüsse von Betriebsmitteln durchgängig zu dokumentieren. Kapitel 4.3 geht auf die hierfür erforderlichen Voraussetzungen ein.

In diesem Zusammenhang ebenfalls von Bedeutung ist die Datenhaltung und Datenübertragung zwischen den einzelnen Identifikationspunkten und der zentralen Betriebsmittelverwaltung. Kapitel 7 erläutert mögliche Datenhaltungskonzepte und Schnittstellen für den Datenaustausch.

10 Fazit und Ausblick

Abschließend werden die Erkenntnisse, die im Rahmen dieses Forschungsprojekts hinsichtlich der Potenziale des Einsatzes der RFID-Technologie erarbeitet wurden, zusammengefasst. Des Weiteren wird ein Ausblick auf die Zukunft des RFID-Einsatzes in der Bauindustrie gegeben und ein Fazit gezogen.

10.1 Zusammenfassung

Die im Laufe dieses Forschungsprojekts erzielten Ergebnisse zeigen das enorme Potenzial auf, das die RFID-Technologie für die Bauindustrie und insbesondere die Baulogistik bietet. Auf Grund der durchgängigen Dokumentation des Materialflusses sind zeitnahe Statusaussagen zu Aufenthaltsort, Einsatz oder Zustand der verschiedenen Betriebsmittel jederzeit möglich. Durch die Reduzierung von Medienbrüchen und der Vereinfachung der Betriebsmittelverwaltung in Folge der automatisierten (mobiles Gate) bzw. unterstützten (RFID-Theke) Erfassung und Buchung der Betriebsmittel können fehlerhaft oder unvollständig ausgefüllte Lieferscheine vermieden werden, wodurch eine neue Qualität der Dokumentation erreicht wird. Diese bewirkt eine bessere Planbarkeit zukünftiger Projekte, da die vollständige Datenbasis Probleme im Materialfluss, in der Versorgung der Baustelle und bei der Erstellung von Gewerken aufdeckt, so dass diesen frühzeitig entgegengesteuert werden kann. Auch in Folgeprojekten können diese Informationen zur Vermeidung von Fehlern oder Versorgungsengpässen genutzt werden. Kapitel 3.3 fasst die Nutzenpotenziale sowie die für die einzelnen Betriebsmittelgruppen abgeleiteten Einsatzszenarien zusammen.

In Kapitel 4 wird anhand eines beispielhaften baulogistischen Prozesses aufgezeigt, wie dieser definiert und die Erfassungspunkte integriert werden können, um die Bewegungen der Betriebsmittel abzubilden. Zum besseren Verständnis werden die technischen Grundlagen der RFID-Technologie erläutert und auf die Vorteile von RFID für eine Anwendung in der Baubranche im Vergleich zu anderen AutoID-Technologien wie Robustheit, nicht erforderlicher Sichtkontakt zum Datenträger, hohe Reichweite und Pulkerfassung eingegangen.

Im Hinblick auf die in Kapitel 5.4 durchgeführten Versuchsreihen für verschiedene Betriebsmittelgruppen kann festgehalten werden, dass der Markt für den Einsatz in der Bauindustrie geeignete RFID-Hardware bereits anbietet. Die entwickelten Kennzeichnungskonzepte, ermöglichen prinzipiell für jedes untersuchte Betriebsmittel eine zuverlässige Identifizierung. Diese Zuverlässigkeit konnte durch den Einsatz auf der Baustelle (siehe Kapitel 9.1) bestätigt werden.

Mit dem mobilen Gate und der RFID-Theke wurden zwei für den Einsatz in der Bauindustrie geeignete Identifikationspunktkonzepte entwickelt und umgesetzt (siehe Kapitel 6 und Kapitel 8). Das mobile Gate wurde für den Einsatz auf der Baustelle konzipiert und verfügt daher über eine autonome Energieversorgung sowie Komponenten zur Positionsbestimmung und Datenfernübertragung. Dadurch können Materialflüsse, automatisch dokumentiert werden. Die RFID-Theke unterstützt die Aus- und Rückgabe von Geräten im Magazin des Bauhofs. Einsatz-, Wartungs- und Reparaturhistorien werden gerätespezifisch dokumentiert. Beide Konzepte konnten bereits unter praxisnahen Umgebungsbedingungen positiv bewertet werden (siehe Kapitel 9.2). Ein Einsatz von RFID in der Bauindustrie ist folglich nicht nur seitens der Betriebsmittelkennzeichnung, sondern auch seitens der Identifikationspunktkonzepte möglich.

Der in Kapitel 9.3 dargestellte Leitfaden unterstützt den Anwender aus der Bauindustrie bei der Einführung von RFID im eigenen Bauunternehmen. Dabei sind keine Vorkenntnisse oder Erfahrungen mit der RFID-Technologie erforderlich. Die chronologisch zu beantwortenden Fragestellungen sind unternehmensunabhängig gestellt und geben eine schrittweise Hilfestellung.

Unbedingte Voraussetzung für einen erfolgreichen Einsatz von RFID ist jedoch eine prozessorientierte Betrachtung. Durch die Beeinflussung von RFID durch verschiedene prozesstechnische und umweltbedingte Randbedingungen müssen diese insbesondere bei einer geplanten automatischen Erfassung für jeden Identifikationspunkt detailliert und umfassend dokumentiert werden. Bei einer späteren Machbarkeitsuntersuchung sind diese Randbedingungen vollständig zu berücksichtigen, um eine sichere Identifikation und damit die Prozesssicherheit zu gewährleisten.

Um den wirtschaftlichen Nutzen einer RFID-Anwendung beurteilen zu können, müssen die Kosten, die durch die aktuellen Prozesse entstehen, exakt bestimmt werden. Auch hierfür ist eine genaue Definition der Prozesse erforderlich.

In der Bauindustrie wird die RFID-Technologie bisher kaum eingesetzt. Um ein Verständnis für die Technologie aufzubauen, Nutzenpotenziale abzuschätzen und die mit RFID in Berührung kommenden Mitarbeiter sensibilisieren zu können, empfiehlt sich eine schrittweise Implementierung. Klar abgegrenzte Anwendungen bieten den Vorteil, dass der Aufwand für die Umsetzung von RFID hinsichtlich Kosten und Schnittstellen überschaubar ist. Dadurch können der Mehrwert leichter abgeschätzt und eventuelle Probleme einfach gelöst werden. Die Erfahrungen sind für weitere Anwendungen nutzbar.

Eine hierfür geeignete Anwendung bietet die RFID-gestützte Verwaltung von Mietgeräten. Die Realisierbarkeit der Kennzeichnung der Betriebsmittel wurde ebenso bewiesen wie die Funktionsfähigkeit der RFID-Theke (siehe Kapitel 5.4.5 und 8.2).

10.2 Ausblick

Die Verbreitung der RFID-Technologie ist aktuell in der Bauindustrie, abgesehen von vereinzelt, deutlich abgegrenzten Anwendung (siehe Kapitel 2.2), noch sehr gering (siehe Abbildung 10-1). Nach einer Studie der TU München nutzen erst etwa 5% der befragten Bauunternehmen mit über 100 Mitarbeitern RFID zur Betriebsmittelidentifikation und -dokumentation. Von den befragten kleinen Unternehmen setzt keines RFID ein.

Jedoch ist auch in der Bauindustrie ein Wandel der klassischen Tätigkeitsfelder zu beobachten. Insbesondere größere Bauunternehmen fungieren wegen breiteren Leistungsspektren zunehmend als Generalunternehmer und beauftragen Nachunternehmer für Teilleistungen bei der Erstellung der Gewerke. Daraus resultieren steigende Anforderungen an das Projektcontrolling [Gün-08]. Der Einsatz von RFID kann dabei auf Grund der Transparenz der Datenbasis für die Kooperation der verschiedenen Partner Wettbewerbsvorteile mit sich bringen. Auch eine Fallstudie des Einzelhandels [Wam-08] sieht das größte Potenzial der RFID-Technologie in einer durchgängigen Anwendung in der Wertschöpfungskette. Eine Übertragbarkeit auf die Bauindustrie ist in Anbetracht der steigenden Auslagerung von wertschöpfenden Tätigkeiten [Gün-08] möglich. Hinzu kommt ein steigender Wettbewerbsdruck, der eine Optimierung der Prozesse durch eine konsequente Unterstützung des Materialflusses erfordert [BAU-06].

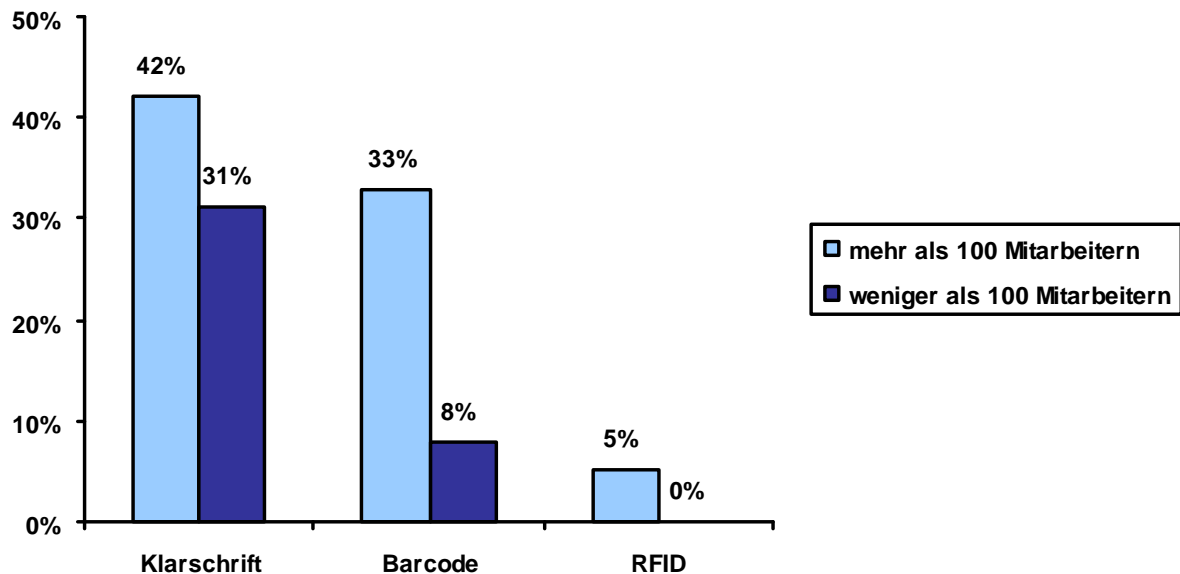


Abbildung 10-1: Verbreitung von AutoID-Technologien in der Bauindustrie

Vor diesem Hintergrund planen 15% der im Rahmen der Studie befragten Bauunternehmen eine Einführung der RFID-Technologie innerhalb der nächsten fünf Jahre. Dank der auch im Rahmen dieses Forschungsprojekts gewonnenen Erkenntnisse können interessierte Bauunternehmen bei der Einführung von RFID unterstützt werden, um Wettbewerbsvorteile auf Grundlage einer besseren Dokumentation und Verwaltung der Betriebsmittel zu erzielen.

10.3 Weiterverwendung der Forschungsergebnisse

Bei den an diesem Forschungsprojekt unmittelbar beteiligten Bauunternehmen war ein großes Interesse an den Anwendungsmöglichkeiten der RFID-Technologie vorhanden. Dieser Eindruck konnte auf verschiedenen Vorträgen und bei der Reaktion auf Veröffentlichungen zu diesem Thema bestätigt werden. Demnach werden zunehmend die Potenziale, die mit RFID in Verbindung gebracht werden können, erkannt. Deshalb ist eine Weiterverwendung der Forschungsergebnisse in der Bauindustrie unbedingt zu unterstützen.

Zunächst muss festgehalten werden, dass eine automatische Erfassung und damit auch Dokumentation vollständiger Ladungen eines LKW während der Durchfahrt eines Gates auf Basis einzeln gekennzeichnete Betriebsmittel nicht möglich ist. Gründe hierfür sind die Überlagerung und Abschirmung von Transpondern sowie die ungünstige Ausrichtung zu den SLG. Die Vorgabe verbindlicher Ladungsvorgaben der

Ladungsträger und Packschemata der einzelnen Betriebsmittel auf den Ladungsträgern ist weder wirtschaftlich sinnvoll noch in der Praxis durchführbar.

Der Einsatz eines mobilen Gates sowohl auf der Baustelle als auch auf dem Bauhof für andere Anwendungen ist jedoch möglich und sinnvoll:

Einsatz des mobilen Gates auf dem Bauhof

Lieferaufträge zur Versorgung der Bauindustrie bestehen zumeist aus mehreren Positionen, die aus den verschiedenen Lagerbereichen des Bauhofs zusammengetragen und im Versand gesammelt werden. Zum Transport der Betriebsmittel kommen Ladehilfsmittel wie Paletten zum Einsatz, die mit dem Stapler zum Sammelplatz transportiert werden. Bei der Installation eines RFID-Gates an den verbindlichen Zu- und Abgängen zum Sammelplatz können einzelne Ladungsträger bzw. unter Einhaltung von Packvorschriften einzelne Betriebsmittel auf dem Ladungsträger automatisch erfasst werden. Die Betriebsmittel können bis zur Verladung verfolgt werden. Auch kann der Staplerfahrer mit Informationen zum Verladeplatz, auf dem er die Palette abstellen soll, versorgt werden. In einem weiteren Schritt können die Gates in die verbindlichen Zu- und Abfahrten einzelner Prozessstationen (siehe Kapitel 4.3) integriert werden.

Einfach automatisch durch ein Gate zu identifizieren sind einzelne Ladungsträger wie Paletten oder Gitterboxen. Wird die Ladungseinheit bzw. deren Identifikationsnummer auf dem Bauhof mit der Ladung in einer Datenbank verheiratet, kann der Materialfluss durchgängig bis zum Lagerplatz auf der Baustelle verfolgt werden. Die Lösung hat zudem den Vorteil, dass einzelne Ladungsträger auch auf dem LKW, keine metallische Bordwand vorausgesetzt, automatisch erfasst werden können.

Einsatz des mobilen Gates auf der Baustelle

Sofern Fahrzeuge oder Baumaschinen nicht über GPS verfügen, können sie ebenfalls einfach mit einem RFID-Transponder ausgerüstet und durch ein Gate automatisch erfasst werden. Zum Einen können somit Maschinen hoher Wertigkeit oder Baustellenfahrzeuge überwacht, zum Anderen Betriebsmittel, die sich auf dem Fahrzeug befinden und mit ihm verknüpft sind, verfolgt werden.

Eine weitere Einsatzmöglichkeit des Gates auf der Baustelle ist die Dokumentation der Materialflüsse aus und in Versorgungscontainer. Diese werden zur Materialversorgung auf der Baustelle eingesetzt. Sowohl Entnahmen von Material und Geräten

als auch deren Rückgabe lassen sich automatisch dokumentieren. Insbesondere die Rückgabe ist von Interesse, da beim Räumen einer Baustelle ein Großteil der Ausrüstung in die Baucontainer geladen wird. Wird die Rückgabe kontrolliert, können firmenfremde Geräte aussortiert werden. Darüber hinaus ist ein zeitnahe Abgleich möglich, ob das firmeneigene Material vollständig eingesammelt wurde. Werden die Betriebsmittel mit dem Container verknüpft, kann deren Status direkt bei der Ankunft im Bauhof aktualisiert und die Verrechnung vorgenommen werden.

Einsatz der RFID-Theke

Die ebenfalls als Demonstrator umgesetzte RFID-Theke wurde sehr anwendungsnah konzipiert und kann relativ einfach an die verschiedenen Systeme, die die Unternehmen zur Verwaltung von Mietgeräten nutzen, angepasst werden. Auf Basis der eindeutigen Kennzeichnung der Mietgeräte sind Verleih-, Wartungs- und Reparaturhistorien und die damit verbundenen Aufwände gerätespezifisch darstellbar. Zudem vereinfacht sich der eigentliche Vorgang der Materialaus- und -rückgabe, da Materialbegleitkarten oder Lieferscheine entfallen. Die Vollständigkeit eines Gerätekoffers kann zeitnah überprüft und das Gerät per Foto eindeutig vom Mitarbeiter zugeordnet werden.

Die RFID-Theke ist eine Anwendung, die nicht nur in der Bauindustrie eingesetzt werden kann. Durch die einfache Adaption der Datenbank kann die Theke an verschiedene Einsatzbereiche angepasst werden. Prinzipiell ist eine Anwendung überall dort möglich, wo Geräte oder Werkzeuge für einen bestimmten Zeitraum mit internen Kostenstellen oder externen Kunden verrechnet werden müssen. Einsatzgebiete sind bspw. die Verwaltung von Prüfmitteln und Werkzeugen im industriellen Umfeld in Produktion, Fertigung und Werkstatt sowie das Ersatzteilmanagement.

10.4 Fazit

Die RFID-Technologie bietet umfangreiche Potenziale für die Bauindustrie. Auf Basis der eindeutigen Kennzeichnung der Betriebsmittel können deren Materialflüsse und Verwendung durchgängig dokumentiert werden. Dadurch wird eine transparente Datenbasis als Grundlage einer Logistik- und Einsatzplanung für die Betriebsmittel geschaffen. Verfügbarkeiten und Auslastungen können erhöht, Schwund vermieden und Kosten für Sicherheitsbestände und nachträgliche Beschaffung im Falle einer

falschen Anlieferung reduziert werden. Zeitnahe Statusaussagen jedes einzelnen Betriebsmittels ermöglichen eine höhere Planungssicherheit und Flexibilität.

Die vorgestellten Kennzeichnungs- und Identifikationskonzepte sowie deren mögliche Implementierung im bauleistungsorientierten Prozess zeigen die Umsetzbarkeit von RFID in der Bauindustrie. Insbesondere die Darstellung von betriebsmittelabhängigen Einsatzszenarien und Kennzeichnungsmöglichkeiten bietet auch für KMU, die nicht über umfangreiche Betriebsmittelparks verfügen, die Möglichkeit, durch den Einsatz von RFID einen wirtschaftlichen Nutzen zu erzielen. Der in Kapitel 9.3 vorgestellte Leitfaden dient dabei als Hilfestellung bei der Einführung von RFID in der Bauindustrie und kann von jedermann angewandt werden.

Somit wurde das Projektziel erreicht!

Veröffentlichungen

Günthner, W. A.; Schneider, O.:

Abschlussbericht: RFID-Einsatz in der Baubranche – Entwicklung eines RFID-Systems mit mobilen Gates auf Baustellen zur schnellen Identifikation und Verfolgung von Betriebsmitteln zwischen Baustellen und Werken

<http://www.logistics.de> (logistics.de – Integrationsplattform Logistik)

http://www.fml.mw.tum.de/PDF/Abschlussbericht_AiF_RFID-im-Bau_15288N1.pdf

Günthner, W. A.; Klaubert, C.; Schneider, O.:

Mietgeräte automatisch verbuchen mittels RFID

Deutsches Baublatt, Nr. 345, Juni/Juli 2009

S. 28

Günthner, W. A.; Schneider, O.:

RFID-Einsatz in der Baubranche

In: einzueins – Das Magazin des Kompetenzzentrum Bau Neumarkt, Ausgabe 10/2009

S. 10 – 11

Schneider, O.; Günthner, W. A.:

RFID-Einsatz in der Baubranche

In: Scheid, W.-M.: 5. Fachkolloquium der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Technische Logistik (WGTL).

ISBN 978-3-939473-56-5, Universitätsverlag Ilmenau, Ilmenau: Oktober 2009

Günthner, W. A.; Schneider, O.:

RFID – Potenziale für die Bauwirtschaft.

In: Zimmermann, J. (Hrsg.): Baulogistik – Innovationspotenziale für die Bauwirtschaft.

ISBN 987-3-939956-11-2, Schriftenreihe des Lehrstuhls für Bauprozessmanagement und Immobilienentwicklung, Heft 22, S. 25 – 37, München: Juli 2009

Literaturverzeichnis

- [Ahl-09] Ahlers, E.:
Funk-Evolution
In: c't (2009) (Nr. 13), S. 86 - 89
- [Aki-08] Akinci, B.:
Utilization of Radio-Frequency Identification Tags (RFID) for
Construction Supply-Chain and Facility Management
in RFID im Bau, Kongress auf der bautech
Berlin, Februar 2008
- [All-09] N.N.:
Sichere Kennzeichnung auch unter harten Bedingungen kein Problem
In: Allgemeine Bauzeitung (07.08.2009) Nr. 32, S. 8
- [Att-08] Attig, P.:
Internet der Dinge - Vernetzte Lebens- und Arbeitswelten
in Sm@rt Logistics - Einsatz von modernen Informations- und
Kommunikationstechnologien zur Unterstützung der logistischen
Prozesse in der Produktion (Konferenz)
Berlin, November 2008
- [BAU-06] N.N.:
Zielgerichtet Daten verwalten
In: Deutsches Baublatt (Mai 2006) (Nr. 320), S. 29
- [BAU-07] N.N.:
Paschal führt RFID-Transpondertechnik bei Betonschalungen ein
<http://www.bauzentrale.com/news/2007/0747.php4>
Mai 2007, letzter Aufruf: 19.08.2009
- [BGL-01] Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e.V.:
BGL Baugeräteliste 2001
Wiesbaden und Berlin: Bauverlag 2001
- [Bie-93] Biebl, E.:
Zum Entwurf integrierter Millimeterwellenschaltkreise
München: 1993
- [Bör-06] Börkircher, M.:
Vorteile und Chancen von RFID
In: Deutsches Baublatt (Mai 2006) (Nr. 320), S. 29
- [BUW-09] N.N.:
RFID-Projekte des LuF Baubetrieb und Bauwirtschaft der Bergischen
Universität Wuppertal
<http://www.rfidimbau.de/pages/bu-wuppertal.php>
letzter Aufruf: 21.08.2009
- [COM-05] N.N.:
PSI-Technologie erhält Zuschlag für LogASS Echtzeit-Abbildung
logistischer Netzwerke auf RFID-Basis
<http://www.competencesite.de/presse.nsf/0/755501805120caa1c1256fee0026b589?OpenDocument>

- April 2005, letzter Aufruf: 19.08.2009
- [DAT-09] Datalogic GmbH:
Strichcode-Fibel
<http://www.support-datalogic.de/Handbuecher/fibel-g.pdf>
2004 (letzter Aufruf am 29.09.2009)
- [DEK-08] DEKRA Real Estate Expertise GmbH:
Zweiter DEKRA-Bericht zu Baumängeln an Wohngebäuden
Saarbrücken: Januar 2008
- [DIN-02] DIN Deutsches Institut für Normung e.V.:
DIN 30786-1 Transportbelastungen Datensammlung von mechanisch-dynamischen Belastungen
Berlin: Beuth Verlag GmbH Juli 2002
- [DIN-06] DIN Deutsches Institut für Normung e.V.:
DIN 276-1 Kosten im Bauwesen - Teil 1: Hochbau
Berlin: Beuth Verlag GmbH November 2006
- [DIN-08] DIN Deutsches Institut für Normung e.V.:
DIN 1045 Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton
Berlin: Beuth Verlag 2008
- [EMV-09] N.N.:
EMV-Richtlinie
<http://www.ce-zeichen.de/klassifizierung/emv-richtlinie.html>
Juni 2008, letzter Aufruf am 24.09.2009
- [EPC-09] EPCglobal:
Zusammenspiel der Komponenten
http://www.gs1-germany.de/content/standards/epc_rfid/epcglobal_netzwerk/funktionsweise/index_ger.html
letzter Aufruf 29.09.2009
- [Erg-07] Ergen, E.; Akinci, B.; Sacks, R.:
Tracking and locating components in a precast storage yard utilizing radio frequency identification technology and GPS
In: Automation in Construction (Mai 2007) Nr. 16, S. 354-367
- [Fin-02] Finkenzeller, K.:
RFID-Handbuch
München Wien: Hanser Verlag 2002
- [Fle-04] Fleisch, E.; Tellkamp, C.; Thiesse, F.:
Intelligente Waren beschleunigen die Prozesse
In: IO New Management (2004) (Nr. 12), 28 - 31
- [FML-09] N.N.:
RFID in der Logistik - Werkzeuge zur Identifikation und Nutzung von RFID-Potenzialen
http://www.fml.mw.tum.de/fml/index.php?Set_ID=116
letzter Aufruf: 18.08.2009
- [FML-09a] Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik:
Forschungsverbund "Virtuelle Baustelle" (ForBAU)
http://www.fml.mw.tum.de/forbau/index.php?Set_ID=18
letzter Aufruf: 21.08.2009

- [FML-09b] Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik:
RFID in der Logistik - Werkzeuge zur Identifikation und Nutzung von
RFID-Potenzialen
http://www.fml.mw.tum.de/fml/index.php?Set_ID=116
letzter Aufruf 29.09.2009
- [Fre-04] Freitag, M.; Herzog, O.; Scholz-Reiter, B.:
Selbststeuerung logistischer Prozesse - Ein Paradigmenwechsel und
seine Grenzen
In: Industrie Management (2004) (1/04), S. 23-27
- [Fro-08] Frohne, H. e. a.:
Moeller Grundlagen der Elektrotechnik
Wiesbaden: Vieweg + Teubner 2008
- [Fro-83] Frohne, H.:
Einführung in die Elektrotechnik, Band 2: Elektrische und magnetische
Felder
Stuttgart: Teubner 1983
- [FTV-09] Flugtechnischer Verein Spandau 1924 e.V.:
Tabelle der Windgeschwindigkeiten
<http://www.ftv-spandau.de/wetter/wind>
letzter Aufruf 29.09.2009
- [FuZ-95] Fu, Z.:
Monitoring und Steuerung der Werkzeugbereitstellung in einer NC-
Werkstattfertigung
Düsseldorf: VDI-Verlag 1995
- [GER-09a] N.N.:
Geraer Firma baut am höchsten Haus der Welt
http://www.ident-tech.com/news/otz_bild_neu.pdf
letzter Aufruf: 21.08.2009
- [GER-09b] N.N.:
GiS Gera-ident-Systeme GmbH found enormous interest on its GP-R
100 at the Big 5 show in Dubai
<http://www.openpr.com/pdf/12665/GiS-Gera-ident-Systeme-GmbH-found-enormous-interest-on-its-GP-R-100-at-the-Big-5-show-in-Dubai.pdf>
April 2004, letzter Aufruf: 21.08.2009
- [Gil-07] Gillert, F.:
RFID für die Optimierung von Geschäftsprozessen
München Wien: Carl Hanser Verlag 2007
- [Gil-09] Gillies, C.:
OEMs setzten auf RFID
In: Logistik inside (2009) (06-07), S. 20-23
- [Glo-06] Glover, B.; Bhatt, H.:
RFID Essentials, 9780596009441st ed.
O'Reilly: 2006
- [GRA-09] Gradwohl GmbH:
die baustation
<http://www.die-baustation.de/downloads/presentationbaustationas.pdf>
letzter Aufruf: 20.08.2009

- [GSG-09] GS1Germany:
Der Elektronische Produkt-Code (EPC)
http://www.gs1-germany.de/internet/content/standards/epc_rfid/der_epc/index_ger.html
letzter Aufruf: 01.10.2009
- [Gül-02] Gülstorf, O.:
Bauen mit Sachverstand
http://www.guelstorf.de/cms/upload/pdf/Bauen_mit_Sachverstand.pdf
September 2002 (letzter Aufruf am 25.09.2009)
- [Gum-05] Gump, A.; Paulus, F.; Pousttchi, K.:
Einsatz mobiler Kommunikationstechnologien in der Baubranche
http://www.wi-mobile.de/fileadmin/Papers/MBP/Einsatz-mobiler-Kommunikationstechnologien-in-der-Baubranche_30-16.pdf
Juni 2005
- [Gün-08] Günthner, W. A.; Zimmermann, J.:
Logistik in der Bauwirtschaft - Status quo, Handlungsfelder, Trends und Strategien, 9783981181982nd ed.
München: 2008
- [Gün-08b] Günthner, W. A.; Chisu, R.; Kuzmany, F.:
Internet der Dinge - Steuern ohne Hierarchie
In: F+H Fördern und Heben (2008) (September), 494 - 497
- [Gün-08c] Günthner, W. A.:
Praktikum Logistik (Vorlesungsskript)
Oktober 2008
- [Hel-08] Helmus, M.:
PSA mit RFID - Eine Zukunftsidee?
in VI. Internationale PSA-Konferenz
Dresden, Oktober 2008
- [Hel-08b] Helmus, M.; Laußat, L.; Meins-Becker, A.; Seget, A.:
Integriertes Wertschöpfungsmodell
in RFID im Bau
Berlin, Februar 2008
- [HIL-09] Hilti AG:
TPS - Elektronischer Diebstahlschutz
http://www.hilti.de/holdem/modules/editorial/edit_singlepage.jsp?contentOID=183626
letzter Aufruf: 19.08.2009
- [IDE-09] N.N.:
Gerry Weber beginnt RFID-Erprobung
In: ident (2009) Nr. 3 (14. Jahrgang), S. 11
- [IGF-05] N.N.:
Untersuchung von Einsatzpotenzialen der Transpondertechnologie in der Bekleidungsindustrie
http://www.aif.de/igf/download/FuE-Report/FuE-Report_2005.pdf
2005, letzter Aufruf: 19.08.2009
- [Jan-04] Jansen, R.; Müller, E. e. a.:
Integration der Transpondertechnologie zur Erhöhung der Leistungsfähigkeit der operativen Produktionssteuerung

- In: Wissenschaftliche Schriftenreihe des Instituts für Betriebswissenschaften und Fabrikssysteme, TU Chemnitz (2004) (Heft 38)
- [Jas-06] Jaselskis, E.:
RFID Applications for construction of transport projects
<http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/archive/Conferences/RFID/agenda/RFID%20Construction.pdf>
Juli 2006, letzter Aufruf: 19.08.2008
- [Jeh-08] Jehle, P.; Seyffert, S.; Wagner, S.:
Optimierungspotenziale im Lebenszyklus eines Bauwerks durch den Einsatz der Radio Frequency Identification in RFID im Bau
Berlin, Februar 2008
- [Jeh-09] Jehle, P.; Seyffert, S.; Wagner, S.:
Das "intelligente Bauteil"
<http://rfid-im-blick.de/200904281430/Das-intelligente-bauteil.html>
Februar 2009, letzter Aufruf: 19.08.2009
- [Ker-06] Kern, C.:
Anwendung von RFID-Systemen
Berlin Heidelberg: Springer Verlag 2006
- [Kön-08] König, N.; Würth, M.:
Bauphysik mit RFID-Technik: "Kennzahlen und Bauqualität" in RFID im Bau, Kongress auf der bautec
Berlin, Februar 2008
- [Lei-96] Leinhäuser, U.:
Optimierung von Leistungen und Kosten des Werkzeugwesens in spanenden Fertigungen
Düsseldorf: VDI-Verlag 1996
- [Lin-06] Lindemann, U.:
Methodische Entwicklung technischer Produkte
Berlin: Springer Verlag 2006
- [MET-09] N.N.:
RFID bei der Metro Group
<http://www.future-store.org/fsi-internet/html/de/1477/index.html>
letzter Aufruf: 19.08.2009
- [Ned-95] Nedeljkovic-Groha, V.:
Systematische Planung anwendungsspezifischer Materialflusststeuerungen
Berlin: Springer Verlag 1995
- [OPE-09] N.N.:
Neu! Mobiles Gate! Der Return on Investment
<http://www.openpr.de/news/141837/Neu-Mobiles-RFID-Gate-Der-Return-on-Investment.html>
letzter Aufruf: 19.08.2009
- [Pal-08] Palmer, N.:
Neue RFID-Technologien erobern die Bauwirtschaft
<http://idw-online.de/pages/de/news273998>
August 2008, letzter Aufruf: 18.08.2008

- [Pau-92] Pauls, A.:
Rechnerunterstützte Werkzeugverwaltung zur Koordinierung des
Werkzeugflusses auf der Werkstattebene - Neue Möglichkeiten der
Werkzeugdisposition
Aachen: 1992
- [RFI-09] N.N.:
Großeinsatz beim Bau des Freedom Tower
<http://rfid-im-blick.de/RFID-Branchen/Bauwirtschaft/Grosseinsatz-beim-Bau-des-Freedom-Tower.html>
April 2008, letzter Aufruf: 21.08.2009
- [RFI-09b] N.N.:
2000 sign up for enhanced drivers's license
<http://www.rfidnews.org/2008/01/24/2000-sign-up-for-enhanced-drivers-license/>
Januar 2008, letzter Aufruf: 22.09.2009
- [RFI-09c] N.N.:
rfid ready
<http://www.rfid-ready.de/rfid-transponder.html>
letzter Aufruf 29.09.2009
- [Rus-93] Russwurm, D.:
Betonstähle für den Stahlbetonbau
Wiesbaden: Bauverlag 1993
- [SAP-09] N.N.:
Maschinen und Geräteverwaltung mit SAP for EC&o
<http://www.sap.com/germany/media/50056706.pdf>
letzter Aufruf: 18.08.2009
- [Sch-06] Schmitt, P.; Fleisch, E.:
Optimierung der automobilen Ersatzteillogistik
<http://rfid-im-blick.de/RFID-in-der-Diskussion/Kommentare/Optimierung-der-automobilen-Ersatzteillogistik.html>
November 2006, letzter Aufruf: 18.08.2009
- [Sch-08] Schäfer, B.:
Forschungsprojekt LAENDmarkS
in Internet der Dinge - Vernetzte Lebens- und Arbeitswelten
Berlin, November 2008
- [Sch-09] Schepp, M.:
Catch me you can! GPS-Ortung Marke Eigenbau
In: c't (2009) (Heft 11), S. 156-160
- [SCH-09b] N.N.:
Neue RFID-Lösung für die Bauindustrie - Wartungsoptimierung durch
"intelligente" Betonrohre
<http://www.unitracc.de/index.vm?currentPath=/unitracc/e-journal/news/detail.vm%3fname=NEWS.1115975113325.24095623>
Mai 2005, letzter Aufruf: 21.08.2009
- [SEN-09] N.N.:
Tontechnik-Rechner - sengpielaudio
<http://www.sengpielaudio.com/Rechner-spannungsteiler.htm>
letzter Aufruf 29.09.2009

- [Sha-09] Shaked, Y.; Wool, A.:
Cracking the Bluetooth PIN
<http://www.eng.tau.ac.il/~yash/shaked-wool-mobisys05/>
letzter Aufruf 29.09.2009
- [SOL-09] N.N.:
Der Solarserver
<http://www.solarserver.de/service/strahlungsdaten.html>
letzter Aufruf 29.09.2009
- [Son-06] Song, J.; Haas, C.; Caldas, C. *et al.*:
Automating the task of tracking the delivery and receipt of fabricated pipe
spools in industrial projects
In: Automation in Construction (März 2006) (Nr. 15), S. 166-177
- [STA-09] Statistisches Bundesamt:
Statistisches Jahrbuch 2009 für die Bundesrepublik Deutschland
Wiesbaden: Werbedruck Schreckhase 2009
- [Sto-00] Stone, W.; Pfeffer, L.; Furlani, K.:
Automated part Tracking on the Construction Job Site
in Robotics 2000
Albuquerque, März 2000
- [Str-04] Strassner, M.; Fleisch, E.; Lampe, M.:
Ubiquitous Computing in der Flugzeugwartung
in Multikonferenz Wirtschaftsinformatik
Essen, 2004
- [Str-09] Strassner, M.; Lampe, M.; Leutbecher, U.:
Werkzeugmanagement in der Flugzeugwartung - Entwicklung eines
Demonstrators mit ERP-Anbindung
<http://www.vs.inf.ethz.ch/res/papers/mlampe-werkzeug-2005.pdf>
2005, letzter Aufruf: 18.08.2009
- [Sub-99] Subrahmanyam, G.; Gunasekaran, A. e. a.:
Development of a Tool Database Management System
In: The International Journal of Advanced Manufacturing Technology
(Juli 1999) (Nr. 15), S. 562-565
- [Tam-08] Tamm, G.:
Ko-RFID Kollaboration und RFID - Wertschöpfung transparent gestalten
in Internet der Dinge - Vernetzte Lebens- und Arbeitswelten
Berlin, November 2008
- [Tur-04] Turowski, K.; Pousttchi, K.:
Mobile Commerce - Grundlagen und Techniken
Berlin: Springer Verlag 2004
- [Ume-06] Umetani, T.; Arai, T.; Inoue, Y.; Maeda, J.:
Parts and Packets Unification for Construction Automation and Robots
Osaka: 2006
- [Val-04] Valkyser, B.:
Modulare Werkzeugverwaltung auf Basis offener
Steuerungsarchitekturen
Aachen: Shaker Verlag 2004
- [VDI-04] VDI Verein Deutscher Ingenieure:

- VDI 3839 Blatt 8
Berlin : Beuth Verlag GmbH Juni 2004
- [Wam-08] Wamba, S.; Lefebvre, L. A.; Bendavid, Y.; Lefebvre, E.:
Exploring the impact of RFID technology and the EPC network on mobile
B2B eCommerce: A case study in the retail industry
In: International Journal of Production Economics (April 2008) (Nr. 112),
S. 614-629
- [Wei-02] Weidenfeller, H.:
Grundlagen der Kommunikationstechnik
Stuttgart: Teubner 2002
- [Wei-91] Weiser, M.:
The Computer for the 21st century
In: Scientific American (September 1991), S. 94-104
- [Wei-99] Weinert, K.; Kalveram, M.:
Optimierung industrieller Werkzeugversorgungsprozesse
In: ZWF - Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb (1999) (Vol. 94, Nr.
12), S. 754-757
- [Wen-05] Wenzel, M.:
Aktive RFID verändert die Prozesse: Erfahrungen aus Einsätzen im
logistischen Umfeld
in Workshop RFID in der Automobilzulieferindustrie
Thurnau, November 2005
- [Wit-94] Witte, H.-H.:
Methoden zur Gestaltung der Werkzeugversorgung in spanender
Fertigung
Düsseldorf: VDI-Verlag 1994
- [Woo-05] Wood, C. R.; Alvarez, M. W.:
Emerging Construction Technologies - A FIATECH Catalogue
Gaithersburg: Oktober 2005

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1: Schematischer Material- und Informationsfluss	6
Abbildung 3-1: Einflussfaktoren auf Prozessmittel in der Bauindustrie	16
Abbildung 3-2: Übersicht der Prozessmittel in der Bauindustrie	22
Abbildung 3-3: Beispiele für Verbrauchsgüter	22
Abbildung 3-4: Beispiele für Kleingeräte.....	23
Abbildung 3-5: Beispiele für Maschinen und Geräte.....	23
Abbildung 3-6: Beispiele für Maschinenanbauteile	24
Abbildung 3-7: Beispiele für Fertigbauteile und Baubehelfe	24
Abbildung 3-8: Gitterboxen für Kleinteile	28
Abbildung 4-1: Aufgaben eines Systems zur Betriebsmittelverfolgung.....	33
Abbildung 4-2: Systemarchitektur	35
Abbildung 4-3: Überblick ausgewählter Auto-ID-Systeme [Fin-02].....	37
Abbildung 4-4: Medienbruch zwischen Objekt- und Informationsebene [Fle-04]	38
Abbildung 4-5: Komponenten eines RFID-Systems	39
Abbildung 4-6: Prinzipskizze zur induktiven Kopplung [Gün-08c].....	40
Abbildung 4-7: Prinzipskizze zur elektromagnetischen Kopplung [Gün-08c]	41
Abbildung 4-8: Aufbau des Elektronischen Productcodes (EPC)	44
Abbildung 4-9: EPCglobal Netzwerk [EPC-09]	45
Abbildung 4-10: Absorption und Reflektion in metallischer Umgebung	46
Abbildung 4-11: Leselöcher und Überreichweiten durch Interferenzen [Gün-08c]....	46
Abbildung 4-12: Beispielhafter Baulogistikprozess	52
Abbildung 5-1: Automatische RFID-Testbahn	59
Abbildung 5-2: Auszug ausgewählter Transponder	60
Abbildung 5-3: Ermittlung der Lesereichweite [Gün-08c].....	61
Abbildung 5-4: Ausgewählte Betriebsmittel	62
Abbildung 5-5: Bohrrohrmanschette und Bohrrohr während des Bohrens	63
Abbildung 5-6: Vergleich Reichweiten der Rohrmanschette.....	64
Abbildung 5-7: Konfiguration der statischen Versuchsdurchführung	64
Abbildung 5-8: Bohrrohrverbindung.....	66
Abbildung 5-9: Alien Squiggle auf Polycarbonat auf Metall	67
Abbildung 5-10: Alien Squiggle in U-Träger	68

Abbildung 5-11: Konzept der Bohrrohrschraube.....	69
Abbildung 5-12: Lesereichweite Bohrrohrschraube im Gewinding	70
Abbildung 5-13: Funktionsweise einer Schlitzantenne	72
Abbildung 5-14: Verschiedene Orientierungen des RSI 625	73
Abbildung 5-15: Lesereichweiten in Abhängigkeit von der Schlitzlänge	74
Abbildung 5-16: Kennzeichnungskonzept für metallische Rohrkörper.....	75
Abbildung 5-17: Reichweiten mit und ohne Stopfen	75
Abbildung 5-18: Schlitzkasten mit verstellbarer Schlitzlänge.....	78
Abbildung 5-19: Einflussfaktoren auf die Lesereichweite	79
Abbildung 5-20: Kennzeichnungskonzept Schlitzantenne für Schalelemente	80
Abbildung 5-21: Kennzeichnungskonzept Stopfen für Schalelemente	81
Abbildung 5-22: Lesereichweite bei Versatz zwischen Antenne und Transponder...	82
Abbildung 5-23: Kennzeichnungskonzepte für Systemschalungen aus Holz	82
Abbildung 5-24: Lesereichweiten Short Dipole unter dem Typenschild.....	83
Abbildung 5-25: Lesereichweiten WTUG-132 auf Holz	84
Abbildung 5-26: Aufbau verschiedener Hardtags	85
Abbildung 5-27: Lesereichweite verschiedener Hardtags auf Metall	86
Abbildung 5-28: Kennzeichnungskonzepte für Kleingeräte	87
Abbildung 5-29: Ausgewählte Kleingeräte	88
Abbildung 5-30: Lesereichweiten und Integration eines Alien Squiggle im Griff.....	88
Abbildung 5-31: Lesereichweiten für Alien Squiggle am Griff.....	89
Abbildung 5-32: Anbringung der Transponder in Beton.....	93
Abbildung 5-33: Einfluss der Bewehrung mit Wisteq WTUG-132	94
Abbildung 5-34: Lesereichweiten Dogbone und AD 908 in Beton	95
Abbildung 6-1: Übersicht verschiedener RFID-Erfassungskonzepte	101
Abbildung 6-2: Konzepte für die Seitenverbindung.....	111
Abbildung 6-3: Schaltcharakteristik eines SWS mit bidirektionaler Hysterese.....	114
Abbildung 6-4: Ist-Prozess des Geräteausgangs	121
Abbildung 6-5: Ist-Prozess des Geräteeingangs	121
Abbildung 6-6: Soll-Prozess des Geräteausgangs	122
Abbildung 6-7: Soll-Prozess des Geräteeingangs	123
Abbildung 6-8: Verschiedene Strukturen für den Thekenaufbau	126
Abbildung 7-1: Datenbankmodell des Mobilen Gates.....	134
Abbildung 7-2: Datenbankmodell der RFID-Theke	136

Abbildung 7-3: Übertragung der NMEA-Daten in XML-Schnittstelle	138
Abbildung 8-1: Solarleistung und Energiebedarf	145
Abbildung 8-2: Optimierter Energieverbrauch.....	146
Abbildung 8-3: NSD für die Logik der Energiesteuerung	148
Abbildung 8-4: Schaltcharakteristik der Spannungsüberwachung.....	149
Abbildung 8-5: Graphische Darstellung des Logo!Soft-Steuerungsprogramms.....	150
Abbildung 8-6: NSD für die Logik der Prozessdokumentation	151
Abbildung 8-7: Software-Architektur des Mobilen Gates	153
Abbildung 8-8: Energieversorgungskonzept des Mobilen Gates	155
Abbildung 8-9: Integration der Komponenten des Mobilen Gates	156
Abbildung 8-10: Aufgebautes Mobiles Gate	157
Abbildung 8-11: Konzept und Umsetzung der RFID-Theke.....	158
Abbildung 8-12: NSD für die Applikation der RFID-Theke	159
Abbildung 8-13: Benutzerschnittstelle der RFID-Theke	160
Abbildung 9-1: Gekennzeichnete Bohrröhre	163
Abbildung 9-2: Gekennzeichnete Schutzeinrichtungen	164
Abbildung 9-3: Gekennzeichnete Systemschalungen	165
Abbildung 9-4: Gekennzeichnete Geräte.....	165
Abbildung 9-5: Gekennzeichnete Kleingeräte.....	166
Abbildung 9-6: Gate-Durchfahrt eines Fahrzeugs	167
Abbildung 10-1: Verbreitung von AutoID-Technologien in der Bauindustrie	174

Tabellenverzeichnis

Tabelle 3-1: Auswirkung der Einflussfaktoren auf die Betriebsmittel	32
Tabelle 3-2: Monetäre Wertigkeit der Betriebsmittel	32
Tabelle 3-3: Zuordnung zwischen Betriebsmitteln und Einsatzszenarien	32
Tabelle 4-1: Schema zur Dokumentation des Materialflusses	34
Tabelle 4-2: Eigenschaften von RFID-Systemen	42
Tabelle 4-3: Gewichtete Punktebewertung der Arbeitsfrequenzen	47
Tabelle 4-4: Gewichtete Punktebewertung der Datenübertragungstechnologien	50
Tabelle 5-1: Eigenschaften und Grenzwerte von Transpondern	57
Tabelle 6-1: Gängige RFID-Erfassungskonzepte	99
Tabelle 6-2: Anforderungen an das mobile Gate	104
Tabelle 6-3: Paarweiser Vergleich der Teilprobleme „Mobiles Gate“	105
Tabelle 6-4: Gewichtete Punktebewertung möglicher Aktivierungssysteme	107
Tabelle 6-5: Gewichtete Punktebewertung möglicher Mastauslegungen	108
Tabelle 6-6: Gewichtete Punktebewertung der Standsicherheit	109
Tabelle 6-7: Gewichtete Punktebewertung der Transportierbarkeit	110
Tabelle 6-8: Gewichtete Punktebewertung der Seitenverbindung	111
Tabelle 6-9: Gewichtete Punktebewertung der primären Energieversorgung	112
Tabelle 6-10: Gewichtete Punktebewertung der sekundären Energieversorgung ..	113
Tabelle 6-11: Gewichtete Punktebewertung der Energiesteuerung	115
Tabelle 6-12: Gewichtete Punktebewertung der Steuerung	116
Tabelle 6-13: Morphologischer Kasten für das mobile Gate	118
Tabelle 6-14: Anforderungen an die RFID-Theke	125
Tabelle 6-15: Paarweiser Vergleich der Teilprobleme der RFID-Theke	126
Tabelle 6-16: Gewichtete Punktebewertung der Struktur	127
Tabelle 6-17: Gewichtete Punktebewertung des Materials	128
Tabelle 6-18: Gewichtete Punktebewertung der Mobilität	128
Tabelle 6-19: Gewichtete Punktebewertung der Eingabegeräte	129
Tabelle 6-20: Gewichtete Punktebewertung der Datenbankmanagementsysteme	130
Tabelle 6-21: Morphologischer Kasten für die RFID-Theke	131
Tabelle 7-1: Datensätze der Prozessdokumentation	135
Tabelle 8-1: Zustände der Fernbedienung	147

Nomenklatur

A/D-Wandler	Analog-Digital-Wandler
Auto-ID	Automatisierte Identifikation
EAN	European Article Number (Vorläufer des EPC)
EPC	Electronic Product Code
GPS	Global Positioning System, satellitengestütztes System zur weltweiten Positionsbestimmung
GPRS	General Packet Radio Service, engl. für „Allgemeiner paketorientierter Funkdienst“, Mobilfunkstandard
GSM	Global System für Mobile Communications, Mobilfunkstandard der zweiten Generation
HF	High Frequency, engl. für Hochfrequenz
I-Punkt	Identifikationspunkt, Punkt für die Erfassung von Betriebsmitteln
kmU	Kleine und mittelständische(s) Unternehmen
LF	Low Frequency, engl. für Langwelle
MTM	Methods Time Measurement, Methode zur Zeitmessung bestimmter Tätigkeiten und Arbeiten
NFC	Near Field Communication, Kommunikation im Nahfeldbereich von wenigen Zentimetern
NMEA	National Marine Electronic Association, Datenstandard für eine GPS-Positionsmeldung
OCR	Optical Character Recognition, engl. für „Klarschriftlesung“
PDA	Personal Digital Assistant
RFID	Radio Frequency Identifikation, engl. Für “Identifikation durch (elektro-)magentischeFunkwellen”
SHF	Super High Frequency, engl. für Zentimeterwelle
SLG	Schreib-/Lesegerät(e) zum Auslesen und Beschreiben von RFID-Datenträgern
SWS	Schwellwertschalter, Relais zur Schaltung eines Stromkreises in Abhängigkeit vom eingestellten Grenzwert
UHF	Ultra High Frequency, engl. für Dezimeterwelle

UMTS	Universal Mobile Telecommunications Standard, Mobilfunkstandard der dritten Generation
XML	Extensible Markup Language, engl. für „erweiterbare Auszeichnungssprache“