

# RFID-Einsatz in der Baubranche

**Dipl.-Ing. O. Schneider, Prof. W. A. Günthner**

*Technische Universität München*

*Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik*

Die RFID-Technologie ist eine der am meisten diskutierten Auto-ID-Methoden der letzten Jahre und hat in vielen Industriebereichen bereits erfolgreich Einzug gehalten. Auf Grund der rauen Umgebungsbedingungen und der komplexen Prozesslandschaft konnte die Technologie jedoch in der Bauindustrie bisher kaum Fuß fassen. Um für diesen Industriezweig neue Nutzenpotenziale zu erschließen, beschäftigte sich das von der IGF (Industrielle Gemeinschaftsforschung) geförderte Forschungsprojekt 15288 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. Auch wurden verschiedene Identifikationspunkt-konzepte erstellt und in Form von Funktionsmustern umgesetzt.

## Einleitung

Die Bauindustrie ist seit Jahren durch einen immer stärkeren Wettbewerbsdruck geprägt, der einen harten Preiskampf zur Folge hat. Bedingt durch die historisch gewachsenen Prozesse und die zunehmende Vielfalt der für die verschiedensten Verwendungszwecke eingesetzten Betriebsmittel gestaltet sich deren Verwaltung und Abrechnung jedoch sehr personal- und kostenintensiv. Die bisher nahezu ausschließlich anzutreffende manuelle Buchung in Form von Lieferscheinen ist diesen Anforderungen nicht mehr gewachsen. Durch die steigende Zahl der Buchungsvorgänge unter hohem Zeitdruck nimmt der Anteil fehlerhafter Abrechnungen stark zu. Die damit verbundene eingeschränkte Datenqualität bedingt Schwund und Fehlmengen durch falsch oder nicht angelieferte Betriebsmittel, welche aufwändig nachträglich beschafft werden müssen. Um die Materialversorgung der Baustelle vor diesem Hintergrund zu gewährleisten und Bauverzögerungen zu vermeiden sind die Bauunternehmen gezwungen, in zusätzliche Betriebsmittel zu investieren und überdimensionierte Lagerbestände zu unterhalten. Es ist daher nicht verwunderlich, dass nach einer Studie der TU München im Umfeld der Bauindustrie ca. 67% die Materialverfügbarkeit durch Planungsfehler gefährdet sehen [1].

Unter diesen Voraussetzungen war das Ziel des Forschungsprojekts die Steigerung der Prozesstransparenz in der Materialversorgung und damit auch die Optimierung der Lieferqualität. Die Basis hierfür bildet eine zeitnahe, eindeutige und vollständige Dokumentation der Betriebsmittel und deren Nutzung in einer zentralen Datenbasis. Dabei stellt RFID eine geeignete Technologie dar, die verschiedenen Betriebsmittel auch unter den rauen Umwelteinflüssen und mitunter starken mechanischen Belastungen, wie sie in der Bauindustrie auftreten, zu identifizieren. Als Folge können

durch die Automatisierung der Buchungsvorgänge sowohl die Vollständigkeit und Korrektheit von Materialbewegungen aufwandsarm überprüft und kontrolliert als auch die Auslastung der Betriebsmittel gesteigert werden. Diese Potenziale lassen sich insbesondere auch von kleinen und mittelständischen Unternehmen umsetzen.

Nachdem Anwendungen von RFID in der Baubranche bisher kaum anzutreffen sind, galt es, im Rahmen des Forschungsprojekts Nutzenpotenziale und Einsatzszenarien für die Technologie zu identifizieren. Gemäß den vorherrschenden Anforderungen durch die Umgebungsbedingungen oder die Prozesslandschaft sollten Anforderungen an die Technologie abgeleitet und anhand ausgewählter Betriebsmittel Kennzeichnungslösungen ausgearbeitet werden. Eine weitere Zielsetzung bestand in der Entwicklung und Umsetzung geeigneter Identifikationspunkt-konzepte für den Einsatz auf der Baustelle und dem Bauhof und der Ausarbeitung der entsprechenden Systemarchitektur. Die erzielten Ergebnisse galt es, in Form eines Leitfadens, welcher den Anwender schrittweise bei der Einführung von RFID in der Bauindustrie unterstützt, zusammenzufassen.

## **Stand der Forschung**

Auf Grund seiner Vorteile gegenüber anderen Auto-ID-Technologien wie dem Barcode konnten sich RFID-Anwendungen in der Intra-logistik bereits erfolgreich etablieren. So findet RFID vermehrt Einzug im Warenein- und -ausgang zur Vollständigkeitskontrolle von Warensendungen oder wird zur Prozessdokumentation und -steuerung, Kommissionierung und das Lagerplatzmanagement verwendet.

In der Baulogistik konnte sich die RFID-Technologie jedoch wegen der anspruchsvollen Umgebungsbedingungen und der mitunter stark restriktiven Prozesseigenschaften bisher kaum durchsetzen. Bisherige Lösungen beschränken sich daher vorrangig auf die Kennzeichnung und Identifizierung einzelner Objekte. So wird RFID bereits zur Diebstahlsicherung von Werkzeugmaschinen wie Bohrmaschinen oder Bohrmeißeln eingesetzt. Auch findet RFID bei der Überwachung und Kontrolle von Betontragwerken Verwendung. Die einzelnen Betonteile werden dabei mit aktiven Transpondern bestückt und eindeutig gekennzeichnet. Des Weiteren verfügt der Transponder über einen Feuchtigkeitssensor, der die Trocknung und damit Aushärtung des Tragwerks überwacht und zeitnah kommuniziert. Darüber hinaus beschäftigen sich Forschungsaktivitäten mit der Definition RFID-fähiger Datenschichten oder Personenkontrollsystemen für die Zutrittskontrolle auf Baustellen.

Ein großes Problem für die RFID-gestützte Baulogistik stellt jedoch die enorme Vielfalt und Divergenz der verschiedenen Betriebsmittel dar. Ohne entsprechende Identifikationskonzepte können diese nicht hinreichend gekennzeichnet und die Prozesssicherheit gewährleistet werden. Auf Grund dessen hatte das Forschungsprojekt die Entwicklung von Kennzeichnungslösungen für verschiedene, ausgewählte Betriebsmittel und geeigneten Erfassungspunkt-konzepten zum Ziel, da diese die Grundlage für eine erfolgreiche Implementierung der RFID-Technologie in der Bauindustrie darstellen.

## Klassifizierung der Betriebsmittel und Ableitung von Einsatzszenarien

Um die möglichen Vorteile von RFID in der Bauindustrie zu bestimmen, wurden zu Anfang des Projekts im Rahmen eines Workshops und zahlreicher Gespräche mit den beteiligten Industriepartnern sinnvolle Nutzenpotenziale bestimmt. Durch die Einbeziehung von Unternehmen sowohl aus der Baubranche als auch RFID-Systemanbietern und Hardware-Herstellern wurden dabei sowohl Nutzenpotenziale aus Sicht der Baupartner als auch anderer Branchen eingebracht und vorab bewertet.

Die hauptsächlichen Nutzenpotenziale in der Bauindustrie liegen demnach in schnellen, fehlerfreien Waren- und Warenausgangskontrollen sowie aktuellen Bestandslisten durch eine zeitnahe Verbuchung. Darüber hinaus wurden ein geringerer Aufwand für die Verwaltung und Inventur der Betriebsmittel, aber auch eine zeitnahe Projektbewertung auf Grund aktueller Statusberichte genannt. In der Folge ergeben sich eine detaillierte Datenbasis und eine bessere Planbarkeit für spätere Projekte. Auch der Reduzierung von Schwund und Fehllieferungen und der daraus hervorgehenden geringeren Sicherheitsbestände wird eine große Bedeutung beigemessen.

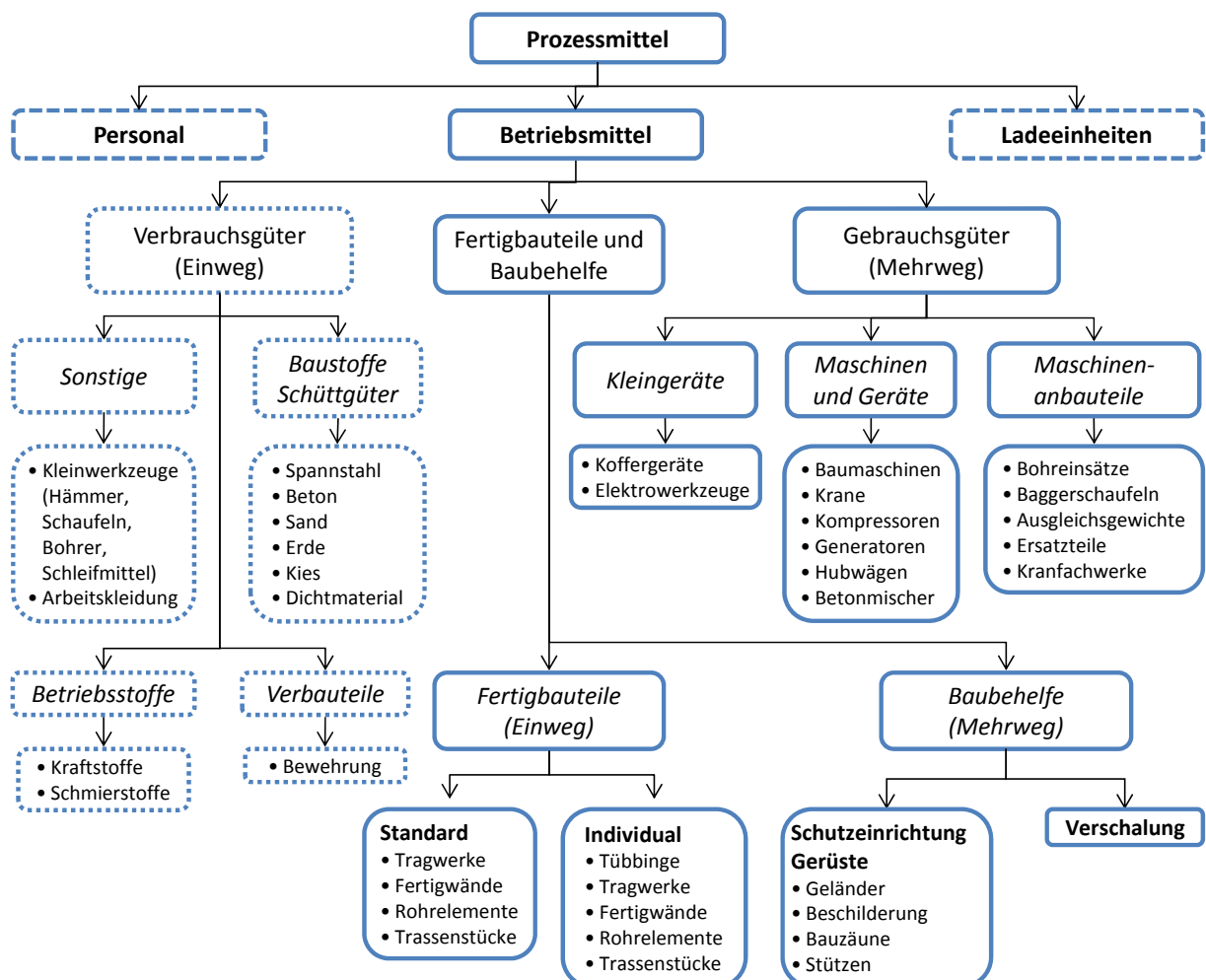


Abb. 1: Klassifizierung der Betriebsmittel

Bei der Ausarbeitung der Nutzenpotenziale und darauf basierender Einsatzszenarien fiel schnell auf, dass diese mitunter entscheidend von den jeweiligen Betriebsmitteln abhängig sind. Wegen deren großer Vielfalt musste daher zunächst eine sinnvolle Einteilung gefunden werden. Die Klassifizierung der Betriebsmittel orientiert sich dabei an gängigen Gruppierungen wie bspw. der Baugeräteliste, wurde jedoch im Hinblick auf einen späteren RFID-Einsatz angepasst (siehe Abb. 1).

Betrachtet wurden nur einzelne Betriebsmittel, die direkt gekennzeichnet werden können. Dabei wurde als erstes deren Wertigkeit betrachtet. Diese lässt sich qualitativ bspw. anhand des Investitionsumfangs, Folgekosten durch verzögerte Anlieferung auf der Baustelle oder der Dauer einer Wiederbeschaffung bewerten. Verbrauchsgüter stellen hierbei Betriebsmittel mit Einweg-Charakter und geringer Wertigkeit dar, weshalb sie nicht weiter betrachtet wurden. Im Fokus standen Fertigbauteile, Baubehelfe sowie Maschinen, Geräte und Anbauteile. Diese unterscheiden sich des Weiteren in ihren Eigenschaften wie Material, grober Geometrie oder Abmessung, die die Anbringung bzw. Integration von Transpondern beeinflussen sowie der Beanspruchung oder den Prozesseigenschaften.

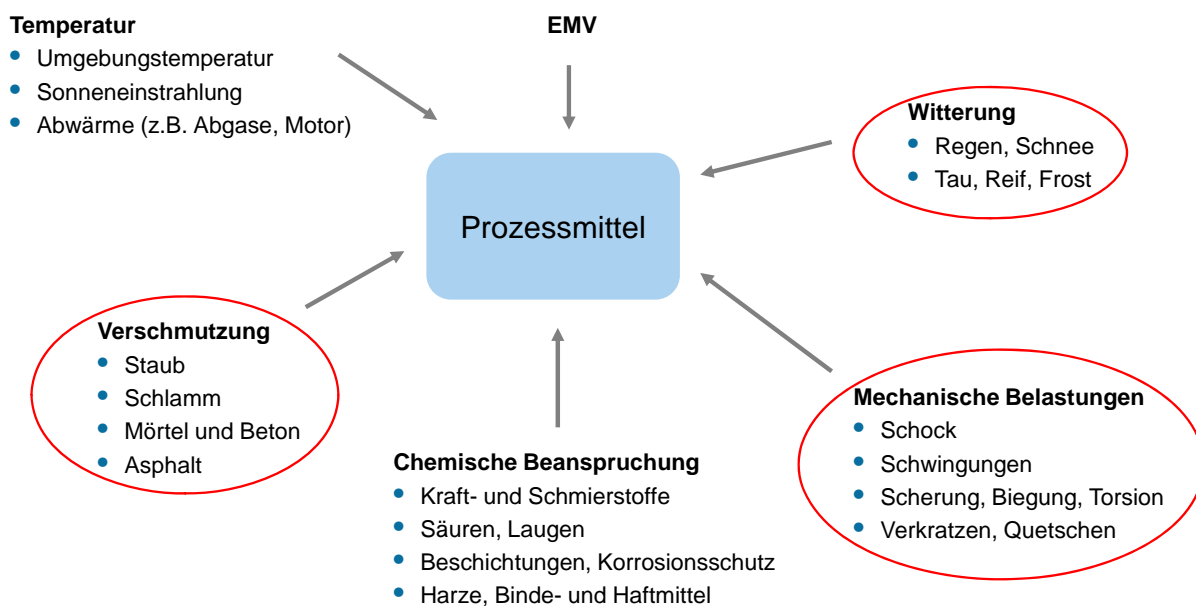
In einem weiteren Schritt wurden für die einzelnen Betriebsmittelgruppen auf Grundlage der Nutzenpotenziale Einsatzszenarien abgeleitet. Von allgemeinem Interesse ist dabei die Ortung und Verfolgung der Objekte, das so genannte Tracking und Tracing, wo das jeweilige Objekt mit dem Ort und der Zeit der Erfassung verknüpft wird. Insbesondere für Maschinen und Geräte ist die Erfassung der Mietdauer und automatische Rechnungsstellung von Interesse. Ähnliches gilt für Schutzeinrichtungen oder Verschalungen. Speziell die Einhaltung von Wartungsintervallen und die Dokumentation der Auslastung, Einsatzzeiten und Reparaturen spielt in erster Linie bei Maschinen, Geräte und Anbauteilen sowie Verschalungen eine Rolle. Durch die Verknüpfung mit den Maschinendaten können die Einsatzbedingungen klar erfasst und Wartungsintervalle und -umfänge angepasst werden. Dahingegen versprechen sowohl die Fertigungs- als auch die Lebenslaufdokumentation bei Fertigbetonteilen wegen deren hoher Lebensdauer einen großen Nutzen. Darüber hinaus ist durch den Einsatz von RFID eine Zuordnung zwischen Anbauteilen und den entsprechenden Maschinen, aber auch zwischen Fertigbetonteilen und deren Einbauort möglich.

## **Anforderungsanalyse**

Die Bauindustrie stellt an die RFID-Technologie deutlich andere Anforderungen als bspw. der Handel oder die Automobil- und Bekleidungsindustrie, die RFID bereits in zahlreichen Anwendungen nutzen (siehe Abb.2).

Diese resultieren zum Einen aus den direkten Umwelteinflüssen, die ein Outdoor-Einsatz mit sich bringt. Neben der Temperatur ist dabei insbesondere die Witterung für die Kommunikation zwischen Transponder und Schreib-/Lesegerät von Bedeutung. So absorbieren Flüssigkeiten durch ihr hohes Dämpfungsmaß einen Teil des elektromagnetischen Feldes und bewirken damit eine Reduzierung der Reichweite.

Auch Verschmutzungen durch Schlamm oder Beton können ähnliche Effekte zur Folge haben.



**Abb. 2: Anforderungen in der Bauindustrie**

Die größte Herausforderung stellt jedoch der hohe Anteil an metallischen Betriebsmitteln dar, da RFID hier an seine physikalischen Grenzen stoßen kann. So reflektiert jede Metalloberfläche auf Grund der hohen Dielektrizitätskonstante das auftreffende elektromagnetische Feld und kann bei ungünstiger Anbringung eines Transponders dessen Auslesen verhindern. Abhilfe schaffen speziell für die Anbringung auf Metall entwickelte Transponder sowie eine intelligente Anbringung oder Integration der Datenträger.

### **Definition einer RFID-Systemarchitektur für die Bauindustrie**

Nachdem RFID eine neue Technologie in der Bauindustrie nahezu ohne Umsetzungen und Erfahrungen darstellt, mussten in einer frühen Projektphase die erforderliche Systemarchitektur definiert und Anforderungen an die Datenhaltungs- und Datenübertragungsschicht abgeleitet werden.

Die zentrale Aufgabe eines RFID-Systems in der Bauindustrie besteht in der Verfolgung und Dokumentation der einzelnen Betriebsmittel. Dazu müssen das Objekt innerhalb des Materialflusses an fest vorgegebenen Punkten identifiziert und dessen Identifikationsnummer (EPC) zusammen mit den Orts- und Zeitinformationen des Erfassungsvorgangs an eine zentrale Datenverwaltung übergeben werden. Die zentrale Datenverwaltung ist vorzugsweise ein übergeordnetes Warenwirtschaftssystem, das die Daten der einzelnen Erfassungspunkte synchronisiert. Auf diese Datenplattform können vernetzte Rechner webbasiert und damit zeitnah zugreifen (siehe Abb. 3). Der Bauhof und die verschiedenen Baustellen sind die einzelnen Prozessstationen, die Betriebsmittel durchlaufen. Innerhalb der Prozessstationen existieren verschiede-

ne Bereiche wie Lager, Werkstatt, Montage, Verladezone oder Warenein- und -ausgang. Je besser diese voneinander abgegrenzt werden, desto genauer lässt sich der Materialfluss abbilden. Jeder Bereich bietet darüber hinaus weitere Tätigkeiten, die sich mit RFID unterstützen lassen, bspw. die Buchung, Kontrolle, Verladung oder Kommissionierung von Aufträgen.

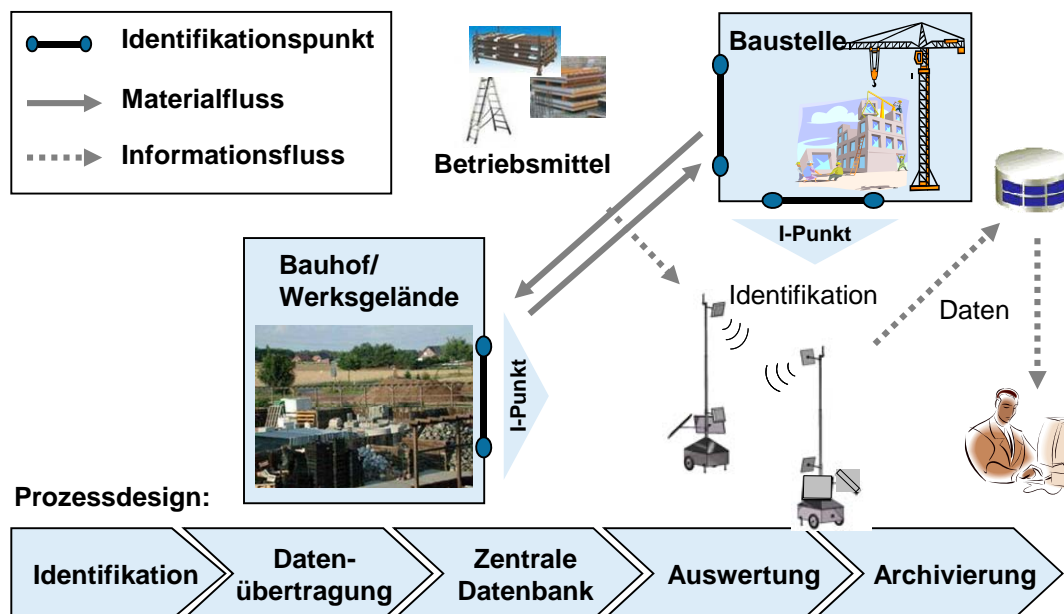


Abb. 3: RFID-Systemarchitektur

### Datenhaltung, -erfassung und -übertragung

Zentrale Fragestellungen sind in diesem Zusammenhang der erforderliche Informationsgehalt der Datenträger sowie die der Systemfunktionalität zu Grunde liegenden RFID- und Datenübertragungstechnologien. Prinzipiell können objektbezogene Daten dezentral auf dem mit dem Objekt verknüpften Transponder gespeichert werden. Diese Lösung erfordert jedoch hohe Speicherkapazitäten und Datenübertragungsraten sowie eine redundante Datenhaltung für den Fall des Verlusts oder der Zerstörung des Transponders. Die dezentrale Datenhaltung wird daher zumeist dort eingesetzt, wo keine durchgängige Verbindung zu einer zentralen Datenschicht vorhanden aber notwendig ist. Typische Anwendungen sind die Unterstützung von Wartungs- oder Montagearbeiten oder die Lebenslaufdokumentation eines Bauteils. Im vorliegenden Forschungsprojekt wurde daher in Rücksprache mit den Industriepartnern die Bevorratung der Daten in Form einer zentralen Datenbank gewählt. Auf dem Transponder wird folglich nur die eindeutige Identifikations- oder Seriennummer eines Betriebsmittels gespeichert. Durch diese Minimierung der Speicheranforderung kann zudem bei der späteren Hardware-Auswahl auf ein deutlich größeres Spektrum zugegriffen werden.

Als zielführende RFID-Technologie fiel die Wahl auf das UHF-Band. Neben der theoretischen Reichweite von mehreren Metern bietet es eine im Vergleich zu LF und HF hohe Datenübertragungsrate und Pulkfähigkeit. Diese sind für eine mögliche Automa-

tisierung der Erfassung von großem Vorteil. Auch sind in den letzten Jahren enorme Fortschritte mit dem EPCglobal-Protokoll enorme Fortschritte im Bereich der Standardisierung und beim Einsatz in metallischer Umgebung gemacht worden.

Für die Kommunikation zwischen Identifikationspunkt und zentraler Datenhaltungsschicht müssen auf Grund der auf Baustellen zumeist nicht ausreichenden LAN- oder WLAN-Infrastruktur Datenfernübertragungstechnologien eingesetzt werden. Diese müssen zudem in der Lage sein, die empfangenen Daten zeitnah weiterzugeben. Entscheidende Kriterien für eine Technologieauswahl sind dabei neben den Investitions- und Betriebskosten die maximale Rate der Datenübertragung und die Störanfälligkeit bzw. Übertragungszeit. Nach dem Vergleich und der Bewertung verschiedener Lösungen wurde für die Datenübertragung GPRS oder UMTS ausgewählt.

### Definition von Datenprotokollen

Eine weitere Fragestellung bestand in der Definition sinnvoller Datenprotokolle für den Datenaustausch zwischen Erfassungspunkt und zentraler Datenhaltungsschicht. Für die durchgängige Materialflusddokumentation müssen die Daten im Protokoll hierarchisch strukturiert werden, wofür XML-Dateien eine effektive und standardisierte Lösung sind. Hierbei wurden vier Hauptknoten definiert. Der erste Knoten enthält die einzelnen EPC der Betriebsmittel einer Erfassung, im zweiten Knoten sind Längen- und Breitengrad des Erfassungsortes und im dritten Knoten der Zeitstempel mit Datum und Uhrzeit hinterlegt. Im vierten Knoten kann die Bewegungsrichtung des Materialflusses als Warenein- oder -ausgang abgelegt werden (siehe Abb.4).

EPC/ID	Objekt	Ort	Datum	Zeitpunkt	Richtung
30F505D7DC05004000000002	Verschalung	Gate1 BauSt_27	02.02.2008	13:07:31	Wareneingang
30F505D7DC05004000000002	Verschalung	Gate1 BauSt_27	13.02.2008	05:23:10	Warenausgang
30F505D7DC05004000000002	Verschalung	Bauhof	15.02.2008	17:30:21	Wareneingang
30F505D7AD050040000000056	Bohrhammer	HH35 BauSt_3	17.03.2008	13:15:01	Warenausgang

**Abb. 4: Durchgängige Materialflusddokumentation**

Im Gegensatz zur Materialflusddarstellung können Ausleihe, Wartung und Reparatur, die einzeln für die Betriebsmittel dokumentiert werden und daher keine hierarchische Struktur erfordern, gut mit csv- oder Text-Dateien abgebildet werden. Auch dieses Dateiformat stellt eine neutrale Schnittstelle zwischen Erfassungspunkt und zentraler Datenschicht dar. Durch definierte Satzzeichen wie Kommata oder Strichpunkte lassen sich die einzelnen Positionen eines Datensatzes wie EPC, Projekt, Gerät, Liefer- oder Reparaturdetails klar zuordnen, interpretieren und in der Datenablage speichern.

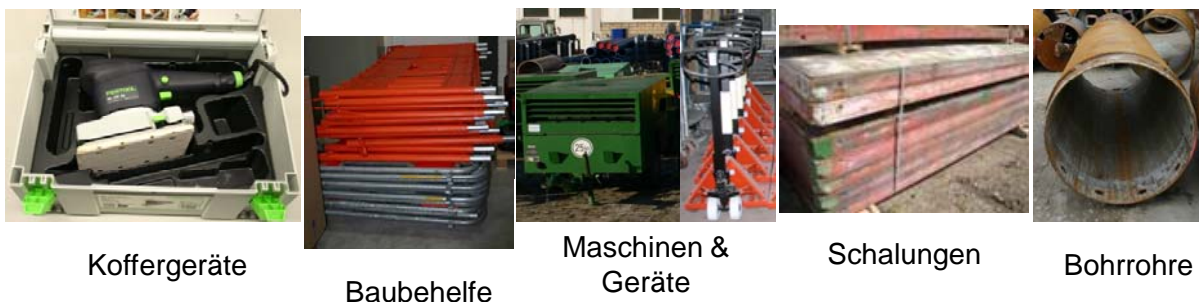
### Hardware-Auswahl und Kennzeichnungskonzepte für die Bauindustrie

Die aufgeführten Anforderungen bildeten die Grundlage für die Recherche von für das Bauumfeld geeigneter RFID-Hardware. Hierzu wurden in einem ersten Schritt Normen, Richtlinien und Standards sowie Datenblätter von Transpondern und Schreib-/Lesegeräten analysiert und mit den Anforderungen abgeglichen.

Zunächst wurden die für jedes Elektronikgerät geltenden Gehäuseschutzklassen (International Protection Class IP) nach EN 60529 herangezogen. Diese werden gerätespezifisch in Form einer zweistelligen Zahlenfolge angegeben und beschreiben die Widerstandsfähigkeit des Gehäuses gegen das Eindringen von Fremdkörpern oder Feuchtigkeit in das Gerät. Dabei gibt es am Markt zahlreiche Schreib-/Lesegeräte aber auch Transponder, deren Gehäuse Schutzklassen bis IP 69 erfüllen und demnach auch im Freien betrieben werden können. Auch die in der Bauindustrie gängigen Temperaturspektren stellen in der Regel keine großen Herausforderungen an die RFID-Hardware.

Eine wesentliche Herausforderung für Elektronikgeräte in der Bauindustrie sind mechanische Belastungen. Bei der Recherche von verschiedenen Datenblättern konnten typische Grenzwerte für Transponder zu Belastungen durch Stöße, Schock, Schwingungen und Vibrationen erarbeitet werden. Diese werden zumeist nach der Norm EN 60068-2 festgelegt, die Verfahren für Umweltprüfungen vorgibt. Die recherchierten Grenzwerte liegen dabei für die meisten Transponder deutlich über den üblicherweise auftretenden Beanspruchungen. Dabei muss jedoch berücksichtigt werden, dass gerade in der Bauindustrie oft unvorhersehbare mechanische Belastungen auf die Betriebsmittel wirken, die deutlich über den sonstigen Grenzwerten liegen und schlecht einzugrenzen sind. Auch fehlen bei vielen Betriebsmitteln funktionsneutrale Flächen für das Anbringen der Transponder auf deren Oberfläche, was die Ableitung intelligenter Integrationskonzepte erforderlich macht.

Weitere Beanspruchungen wie die elektromagnetische Verträglichkeit oder Druck können dagegen nur schwer quantifiziert werden. Zwar gibt es verschiedene Normen zur Beschreibung von Prüfverfahren, jedoch nicht zur Definition von zulässigen Grenzwerten für RFID-Geräte. Das Gleiche gilt für die langfristige chemische Beständigkeit gegenüber Schmiermitteln, Kraftstoffen oder Laugen. Nach Rücksprache mit Herstellern und Anbietern sind jedoch nach deren Erfahrung bei beiden Anforderungen kaum Beeinträchtigungen zu erwarten.



Koffergeräte

Baubehelfe

Maschinen & Geräte

Schalungen

Bohrrohre

**Abb. 5: Ausgewählte Betriebsmittel**

Insgesamt kann die verfügbare RFID-Hardware die Anforderungen der Bauindustrie erfüllen. Keine allgemein gültigen Aussagen können jedoch auf den Einfluss der metallischen Betriebsmittel und der Witterung auf die Kommunikation zwischen Schreib-/Lesegerät und Transponder getroffen werden. Erschwerend hinzu kommt das Fehlen



von hinreichenden Anbringungsflächen für die Transponder an den verschiedenen Prozessmitteln. Ein Schwerpunkt des Forschungsprojekts stellte daher die Entwicklung geeigneter Kennzeichnungskonzepte dar. Hierzu wurden repräsentative Betriebsmittel (siehe Abb. 5) auf Basis der getroffenen Klassifizierung ausgewählt, anhand derer umfassende Versuchsreihen für die praxisnahe Kennzeichnung durchgeführt und Identifikationsmöglichkeiten erarbeitet wurden. Durch die sinnvolle Auswahl können die Ergebnisse auch auf andere Prozessmittel übertragen werden.

### **Kennzeichnung von Schalungen**

Eine schwierige Anwendung stellen metallische Schalungen (siehe Abb. 6), wie sie für die Fertigung von Decken- oder Wandelementen verwendet werden, dar. Sie verfügen über keine funktionsneutralen Flächen, weshalb Transponder nicht direkt auf der Schalung angebracht werden können. Auch unterliegen sie beim Zusammenfügen und der Demontage der Schalflächen sowie der Reinigung starken Beanspruchungen. Die einzige Möglichkeit der Kennzeichnung besteht daher in der Integration der Transponder in die Schalung. In einer ersten Versuchsreihe wurde die Schalung mittels einer Schlitzantenne versehen. Dazu wurde in die metallische Trägerstruktur eine Aussparung gefräst, auf die eine geschlitzte Metallplatte als Modul aufgesetzt und verschraubt wird. In der Platte ist ein Schlitz angebracht, dessen optimale Länge abhängig von der zu Grunde liegenden Arbeitsfrequenz ist. Die Transponder wurden geschützt auf der Innenseite der Platte auf dem Schlitz befestigt. Die erzielbaren Reichweiten betragen dabei in Abhängigkeit vom gewählten Transponder und dessen Orientierung und Ausrichtung auf dem Schlitz bei optimaler Schlitzlänge mitunter deutlich über fünf Meter. Problematisch an der Lösung stellt sich jedoch nach Expertenaussagen die Praktikabilität dar, da ein Schlitz in der hoch beanspruchten Schalhaut eine Materialschwächung darstellt und zudem leicht verformt werden kann, wodurch die Identifikation negativ beeinflusst wird.



**Abb. 6: Versuchsreihe Schalung**

Aus diesem Grund wurde eine weitere Möglichkeit zur Schalungskennzeichnung erarbeitet, wobei die Transponder in einen Gummistopfen gegossen sind, der in eine zusätzliche Verbindungsbohrung eingebracht wurde. Diese dienen dem formschlüssigen Zusammenbau mehrerer Schalelemente und sind durch eine Metallhülse, die in das Hohl-Profil eingesetzt wird, verstärkt. Für die Versuchsreihen wurden speziell für den Einsatz in metallischer Umgebung konzipierte Transponder ausgewählt, die in

der kleinen Bohrung Platz finden. Bei den anschließenden Versuchsreihen konnte der Transponder bis zu einer Entfernung von etwa einem Meter ausgelesen werden.

Im Gegensatz zu metallischen Schalungen sind Systemschalungen aus Holz deutlich einfacher zu kennzeichnen. Diese werden in der betrieblichen Praxis zumeist im Bauhof montiert und mit einem Schild versehen, das die Bezeichnung und den geplanten Einbauort angibt. In oder an dieses Schild kann ein Transponder einfach ein- bzw. angebracht und ausgelesen werden. Da die Auslesbarkeit bei feuchtem oder nassem Holz in Folge der Dämpfung des elektromagnetischen Feldes stark vermindert werden kann, wurden für die Testreihen Kunststoffplatten verwendet. Bei entsprechender Dimensionierung bieten diese für den Transponder einen ausreichenden Abstand zum Holz.

### **Kennzeichnung von Bohrrohren**

Ebenfalls hohe Anforderungen an eine Kennzeichnungslösung stellen Bohrrohre als Beispiel für Anbauteile (siehe Abb. 7). Prinzipiell können dabei zwei Typen unterschieden werden. Für das Fördern von Erdaushub werden Rohre mit geringerem Durchmesser verwendet, die sich konisch nach dem Mutterstück verjüngen und an ihren Mantelflächen kaum beansprucht sind. Ein Erfassungskonzept besteht daher in Form einer ringförmigen Rohrmanschette, die nach der Verjüngung um das Rohr verschraubt wird. Wegen der geschützten Einbringung des Transponders in die Manschette und dem definierten Abstand zur metallischen Rohroberfläche konnten in den Versuchsreihen handelsübliche Labels eingesetzt und bis zu einer Entfernung von knapp zwei Metern während der Drehung des Rohres gelesen werden.



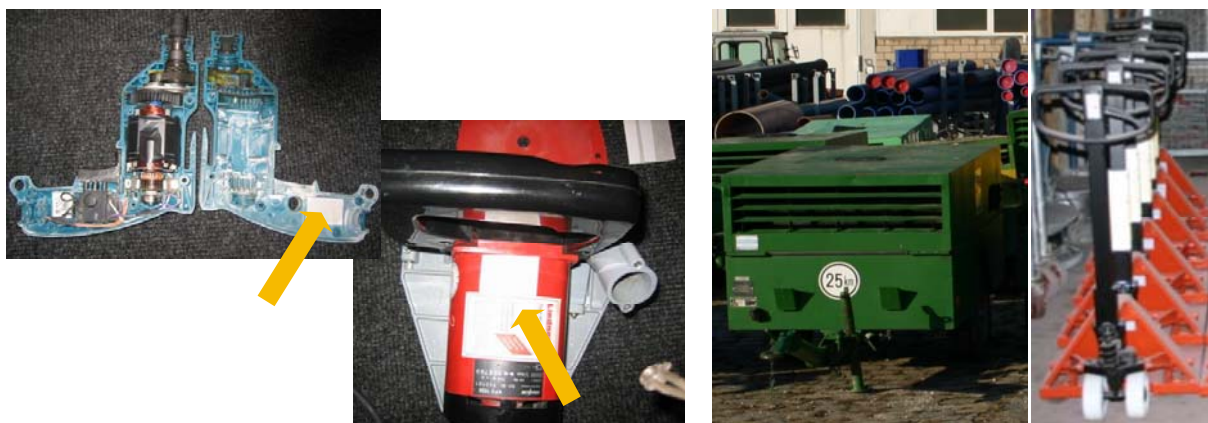
**Abb. 7: Versuchsreihe Bohrrohre**

Gegenüber den Förderrohren werden Bohrrohre direkt in den Untergrund getrieben und unterliegen dabei hohen mechanischen Belastungen, denen eine aufgesetzte Kennzeichnungslösung nicht gewachsen ist. In Form einer Bohrrohrschraube aus Kunststoff, in der sich der Transponder befindet, wurde daher eine Möglichkeit zur integrativen Kennzeichnung entwickelt. Gewöhnlich werden mit metallischen Bohrrohrschrauben Vater- und Mutterstück zweier Rohre zusammengefügt. Durch die deutliche Überdimensionierung der Verbindung können jedoch zwei Bohrungen für

die Integration der Rohrschraube verwendet werden. Diese hat die gleiche Wandstärke wie das Rohr selbst, wird in das Gewinde im Mutterstück geschraubt und damit dauerhaft mit dem Bohrrohr verbunden. Bei Testreihen auf der Baustelle und praxisnaher Befestigung der RFID-Antenne am Bohrgerät konnte das Rohr erfolgreich erkannt werden. Die Kunststoffschrauben waren auch nach der Ausbringung des Rohres aus dem Erdreich unbeschädigt und funktionsfähig im Gewinde verschraubt.

### **Kennzeichnung von Maschinen und Kleingeräten**

Als weitere Prozessmittel konnten Geräte und Maschinen erfolgreich mit Transpondern ausgerüstet werden. Durch die prinzipielle Möglichkeit der äußeren Anbringung gestaltet sich die Kennzeichnung von Großgeräten wie Hubwägen, Stromkästen, Kühlschränken oder Baumaschinen recht einfach. Sie verfügen in der Regel über ausreichende funktionsneutrale Flächen und Geometrien, an denen der Transponder geschützt befestigt werden kann. Optimal für diesen Einsatz sind Hardtags für Metall, so genannte On Metal Tags, geeignet.



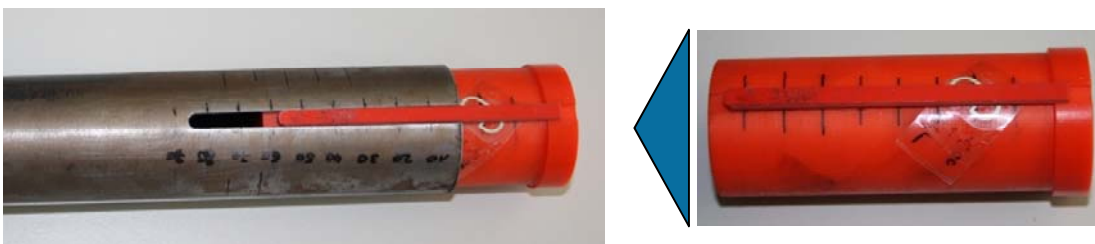
**Abb. 8: Versuchsreihe Geräte und Maschinen**

Bei Kleingeräten wie Bohrmaschinen, Handkreissägen oder Schleifgeräten, die über ein Kunststoffgehäuse verfügen, wurden sowohl Anbringungs- als auch Integrationskonzepte entwickelt (siehe Abb. 8). Bei der Befestigung auf dem Gehäuse darf der Transponder vom Benutzer nicht als Fremdkörper wahrgenommen werden und ihn bei der Handhabung des Geräts behindern. Eine gute Lösung hierfür ist das Aufkleben eines Labels direkt unter das Typenschild. Aber das Label kann auch in das Gerät integriert werden, wenn ausreichende Hohlräume, beispielsweise im Griffstück, vorhanden sind. Beide Kennzeichnungsmöglichkeiten konnten in den Versuchsreihen sogar im Kunststoffkoffer in Kombination mit der RFID-Theke (siehe Abb. 11) gut ausgelesen werden. Jedes Gerät erfordert jedoch eine genaue Prüfung des Anbringungsortes, da metallische Motoren, Spulen oder Schalter die Leserate stark beeinflussen können.

### **Kennzeichnung metallischer Rohrkörper**

Das Konzept der Schlitzantenne, das bei der Schalung bereits gute Ergebnisse geliefert hat, wurde im Rahmen einer weiteren Versuchsreihe genauer betrachtet (siehe

Abb. 9). Die Zielstellung war die Kennzeichnung von metallischen Rohrelementen, wie sie bei Absperrungen, Bauzäunen oder Baugerüsten Verwendung finden. Zunächst wurde in das Rohr an einem Ende ein offener Schlitz gefräst, dessen Schlitzlänge im Laufe der Testreihen stufenweise variiert wurde. Die eigentliche Kennzeichnungslösung bildet ein Kunststoff-Stopfen, der in das Rohr geschoben wird und in den ein kleines Label integriert ist. Bei einer optimalen Ausrichtung und Position des Transponders auf dem Schlitz kann dieser mit der Antenne koppeln. Eine Nase legt dabei die genaue Lage fest. Bei optimaler Kopplung zwischen Schlitzantenne und Transponder konnten in Abhängigkeit von der Schlitzlänge Leseentfernungen zwischen einem halben und mehreren Metern erreicht werden.



**Abb. 9: Versuchsreihe metallische Rohrkörper**

Die beschriebene Stopfenlösung wurde am Lehrstuhl unter praxisnahen Versuchsbedingungen bereits erfolgreich getestet. Bei der Durchfahrt von mit dem Stopfen gekennzeichneten Absperrvorrichtungen auf einer Palette durch ein stationäres Gate konnten die Betriebsmittel auch bei großzügiger Bemessung der Gate-Breite sicher identifiziert werden.

### **Entwicklung von Identifikationspunktkonzepten für die Bauindustrie**

Ein weiterer Projektschwerpunkt bestand in der Konzeption und Umsetzung von für die Bauindustrie geeigneten Identifikationspunkten in Form von Funktionsmustern. Zunächst wurden hierfür bereits bestehende Lösungen recherchiert und hinsichtlich eines Baustelleneinsatzes bewertet. Die gesammelten Erkenntnisse bildeten die Basis für die anschließende Konzeptfindung.

Eine gängige Lösung für die RFID-gestützte Objekterfassung stellt das Handheld dar. Deren Basis bildet eine Art erweitertes PDA-Modul, mit dem in Abhängigkeit von der gewünschten Arbeitsfrequenz verschiedene RFID-Module kombiniert werden können. Die Geräte verfügen zumeist über eigene Windows-Betriebssysteme und ausreichend Speicherkapazität, um eigene Anwendungen auszuführen und Daten zu speichern. Diese können über WLAN oder GPRS zeitnah versendet oder in stationären Docking-Stationen zyklisch ausgelesen und übertragen werden. Der große Vorteil solcher mobilen Geräte liegt in deren Flexibilität. Spezielle Ausführungen sind zudem auch für den Einsatz unter rauen Bedingungen ausgelegt und verfügen über GPS-Empfänger. Nachteilig kann sich zum Einen der Vorgang der Identifikation gestalten, da die Geräte nur über eine geringe Sendeleistung und damit Reichweite verfügen. Zum Anderen erfordert die Identifikation nach wie vor den Einsatz von Personal, die mit dem Gerät

umgehen und dafür geschult werden müssen. Dabei sind verbindliche Verantwortlichkeiten zu definieren, welcher Mitarbeiter in welchem Bereich der Baustelle die Erfassung der Betriebsmittel vornimmt und durchgehend über ein solches Gerät verfügt. Diese Einschränkung dürfte nach intensiver Diskussion mit den Forschungspartnern auf Grund der dynamischen Prozesslandschaft auf Baustellen das größte Problem darstellen. Deshalb wird die durchgängige Materialflussdokumentation mit solchen Geräten aktuell als nicht realisierbar erachtet.

In der Intralogistik werden seit einiger Zeit auch RFID-Lösungen für den Einsatz am Stapler angeboten, die einfach für den Betrieb am Radlader adaptiert werden können und damit auch für die Baustelle geeignet sind. Dabei werden die Antennen zur Erfassung von Ladungsträgern zwischen den Gabelzinken oder zur Identifikation des Inhalts eines Ladungsträgers seitlich abstehend am Hubmast befestigt. Im rauen Umfeld der Bauindustrie sind beide Konzepte jedoch sehr anfällig für Beschädigungen oder Zerstörung und dort daher nur bedingt einsetzbar. Aus diesem Grund integriert eine am Lehrstuhl fml entwickelte und patentierte Lösung die RFID-Antenne direkt in die Gabelzinke, um einzelne Ladungsträger sicher erfassen zu können. Durch die Kommunikation zwischen Schreib-/Lesegerät und Staplerterminal kann der Materialfluss jeder Ladeinheit durchgängig verfolgt werden. Eine Erfassung einzelner Objekte oder Betriebsmittel ist mit der Gabelzinkenantenne jedoch nur in Kombination mit deren Ladeinheit möglich.

Zur automatisierten, gleichzeitigen Erfassung von Objekten werden in der Intralogistik bspw. im Warenein- oder -ausgang häufig Gates verwendet. Dabei sind an einem torartigen Hilfsrahmen mehrere Antennen oder Schreib-/Lesegeräte verteilt, deren Felder sich überschneiden und Objekte bei einer Durchfahrt nahezu unabhängig von deren Lage identifizieren zu können. Bisherige Gate-Lösungen dienen hauptsächlich der Anwendung im Indoor-Bereich an stationären Materialflussstationen und sind nicht für einen Einsatz auf der Baustelle geeignet. Aus diesem Grund wurde im Rahmen des Forschungsprojekts ein mobiles Gate mit autarker Energieversorgung speziell für den Einsatz im Umfeld der Bauindustrie entwickelt und in Form eines Demonstrators umgesetzt. Dabei handelt es sich um eine beispielhafte Darstellung der Gesamtfunktionalität.

### **Konzeption und Umsetzung eines mobilen Baustellengates**

Zunächst wurden die Anforderungen wie Mobilität, autarke Energieversorgung, Datenübertragung, RFID-Erfassung und Umwelteinflüsse an ein mobiles Gate definiert und gewichtet. Diese bildeten die Basis für die Beschreibung von Teilproblemen wie Steuerung, Arbeitsfrequenz oder Energieversorgung, die paarweise verglichen und ebenfalls gewichtet wurden. Für die einzelnen Teilprobleme wurden anschließend Teillösungen abgeleitet und nach gewichteten Kriterien bewertet. In der Konzeptauswahl wurden die besten Teillösungen schließlich zu einem Gesamtsystem kombiniert, das in Abb. 10 dargestellt ist.



Die primäre Energieversorgung wird durch Akkus sichergestellt, die durch Solarmodule und einen Solarladeregler zur Anpassung der Ladespannung gespeist werden. Ein Benzingenerator mit Elektrostarter dient als Backup-Lösung für den Fall einer längerfristigen unzureichenden Solarladespannung und lädt die Akkus über einen eigenen Laderegler. Der Generator wird von einer Kompaktsteuerung in Abhängigkeit von der Batteriespannung zu- oder abgeschaltet. Dabei kann die Akku-Spannung als analoger Wert interpretiert werden. Der Steuerungsalgorithmus schaltet auf der Ausgangsseite drei Relais, die den Generator starten bzw. abschalten und den Choke regeln. Der 12V-Ausgang des Generators dient zu dessen Funktionskontrolle. Im Falle eines fehlgeschlagenen Startversuchs, bspw. auf Grund Benzinmangels, meldet ein Alarm optisch und akustisch dessen Fehlfunktion. Die Spannungsgrenzwerte sind dabei so bemessen, dass auch im Fall einer Generatorfehlzündung ein ausreichendes Zeitfenster für Gegenmaßnahmen zur Verfügung steht und dessen Betriebszeit trotzdem minimal ist. An die Akkus sind sämtliche Verbraucher des Gates angeschlossen. Ein vorgeschalteter Lastabwurf trennt beim Unterschreiten einer Tiefenentladeschwelle die Verbraucher von der Energieversorgung.



**Abb. 10: Mobiles Baustellengate**

Die eigentliche Funktionalität des Gates besteht in der Kombination von Erfassungs-, Ortungs- und Datenübertragungsmodulen, die ein auf dem Lokalrechner hinterlegter, modular aufgebauter Algorithmus realisiert. Das erste Modul steuert über die entsprechende serielle Hardware-Schnittstelle des Rechners die angeschlossenen Schreib-/Lesegeräte der Firma Deister an. Die innerhalb eines Leseintervalls erfassten EPC der Transponder werden im Gerätespeicher abgelegt und von dort vom Programmcode ausgelesen. Das zweite Modul kommuniziert ebenfalls über eine serielle Schnittstelle mit einer GPS-Maus. In Form einer NMEA-Datei gibt diese fortlaufend Längen- und Breitengrad sowie Datum und Uhrzeit der Lokalisierung aus. Durch die klare Struktur dieser Datei kann der Algorithmus diese Daten auslesen und im Ab-

gleich mit der Datenbank durch den Vergleich von Längen- und Breitengrad den aktuellen Ort des Gates bestimmen. Das dritte Modul integriert die erhaltenden RFID- und GPS-Daten in einer bereits zuvor erwähnten XML-Datei, die mittels WLAN-Verbindung oder Datenfernübertragung an das zentrale Warenwirtschaftssystem übermittelt wird.

Entscheidend für die vollständige Materialflusssdokumentation ist die Bestimmung der Bewegungsrichtung der erfassten Betriebsmittel, also ob es sich um einen Warenein- oder -ausgang handelt. Eine Möglichkeit hierfür bieten Bewegungsmelder oder Lichtschranken, die zusätzlich die Schreib-/Lesegeräte triggern, um den Energiebedarf zu reduzieren und Fehlerfassungen zu vermeiden. Deren exakte Auslegung ist jedoch auf Grund von Schmutz und Staub mitunter schwierig. Eine Alternative bieten softwareseitige Lösungen. Innerhalb eines bestimmten Zeitintervalls stellt eine Erfassung einen Wareneingang, im folgenden Zeitintervall einen Warenausgang dar.

### **RFID-Theke zur Unterstützung der Dokumentation von Mietgeräten**

Ein allgemeines Problem ist für viele Bauunternehmen die Verbuchung von Mietgeräten bei deren Ausgabe, Wartung oder Reparatur. Der Hauptgrund hierfür ist die fehlende eindeutige Identifizierbarkeit der Mietgeräte, die in der bauindustriellen Praxis in der Regel lediglich über ihre jeweilige Bauteilgruppe gekennzeichnet sind. Durch die mangelnde gerätespezifische Kennzeichnung ist weder eine Dokumentation der Ausleihhistorie noch der Wartungs- oder Reparaturhistorie möglich. In der Folge werden Reparaturkosten sowie Ersatzinvestitionen durch Schwund nicht projekt- oder kundenbezogen verbucht und die Geräteauslastung innerhalb einer Bauteilgruppe ist inhomogen. Zudem ist die bisherige manuelle Verbuchung der Geräte im Lager oder der Werkstatt sehr aufwändig und anfällig für Fehler, die sich in der Lieferqualität niederschlagen.

Im ersten Schritt wurde daher ein Konzept für eine RFID-Theke zur Unterstützung der Verbuchung von Mietgeräten im Lager und in der Werkstatt entwickelt. Diese ist in Form einer Bedientheke, wie sie üblicherweise für die Materialausgabe Verwendung findet, aufgebaut, in die die RFID-Hardware integriert wird (siehe Abb. 11). Deren Steuerung übernimmt ein in die Theke eingebauter Rechner, auf dem eine lokale Datenbank hinterlegt ist. Über eine LAN- oder WLAN-Schnittstelle können die dort gespeicherten Daten in Form einer neutralen Schnittstelle, bspw. einer Textdatei, mit dem übergeordneten Warenwirtschaftssystem ausgetauscht werden.

Während die seitliche Antenne für die Erfassung größerer Lagergüter wie Kühlschränke oder Hubwägen gedacht ist, werden Kleingeräte, die wie in Abb. 9 beschrieben gekennzeichnet sind, für die Identifizierung auf die obere Antenne aufgelegt. Dem Anwender zeigen sich auf dem Bildschirm die notwendigen Geräteinformationen als genaue Beschreibung mit Foto, Zubehör im Koffer und etwaige Kommentare zum vorangehenden Buchungsvorgang an. Dabei wird der Nutzer in der Thekensoftware durch verschiedene Formulare bei der Ausgabe, Rücknahme, Wartung oder

Reparatur unterstützt oder mit statischen Informationen über das Gerät versorgt. Beispielfähig wird hierfür der Rückgabeprozess eines entliehenen Gerätes beschrieben.

Bei der Übergabe wählt der Mitarbeiter die entsprechende Maske aus und legt den Koffer mit dem Gerät auf die obere Antenne. Die mit dem EPC des Transponders im Gerät über eine Datenbank verknüpften Informationen zeigen sofort, um welche Maschine es sich handelt, wer diese ausgeliehen hatte und welches Zubehör ausgegeben wurde. Nach Prüfung der Vollständigkeit der Rückgabe, gegebenenfalls durch Kommentare ergänzt, wird der Vorgang abgeschlossen und das Gerät wieder zurück in das System gebucht. Im Rahmen der Qualitätssicherung wird es weiter in die Werkstatt gebracht. Dort wird es nach Erhalt ebenfalls gebucht und der Status im System entsprechend aktualisiert. Treten bei der Wartung Defekte am Gerät auf, werden die nötigen Reparaturumfänge im entsprechenden Formular vom Mitarbeiter eingetragen. Nach erfolgreicher Wartung wird das Gerät wieder freigegeben und dessen Status aktualisiert. Zurück im Lager ist das Gerät im System wieder für die Ausgabe verfügbar.



**Abb. 11: RFID-Theke zur Unterstützung des Gerätemanagements**

Die Vorteile der RFID-Theke liegen zum Einen in der Unterstützung und Vereinfachung der Verwaltung des gesamten Mietgerätebestands. Durch die klare Definition der einzelnen Prozesse können fehlerhafte Buchungen minimiert und die Prozesssicherheit deutlich erhöht werden. Zum Anderen kann für jedes Gerät dessen Verleih-, Wartungs- und Reparaturgeschichte hinterlegt werden. Die Folgen sind neben einer gleichmäßigeren Auslastung und Steigerung der Qualität die exakte Identifizierung von Mängelgeräten sowie die Zuordnung der anfallenden Reparaturkosten zu konkreten Projekten. Darüber hinaus wird der Materialfluss des Geräteparks durch die ständige Aktualisierung des Status an den einzelnen Prozessstationen transparent.



## **Zusammenfassung**

Die RFID-gestützte Erfassung von Betriebsmitteln entlang der Wertschöpfungskette bietet auch in der Bauindustrie vor dem Hintergrund des steigenden Outsourcings vielfältige Einsatzszenarien, stellt jedoch völlig neue Anforderungen an die Technologie. Aus diesem Grund fehlen konkrete Anwendungen von RFID insbesondere zur Dokumentation des Materialflusses in der Baulogistik. Hier setzt die Zielsetzung des vorliegenden Forschungsprojekts an. Auf Basis der Klassifizierung der Betriebsmittel im Hinblick auf RFID wurden Einsatzszenarien und Anforderungsprofile erarbeitet. Anhand repräsentativer Betriebsmittel wurden Kennzeichnungslösungen entwickelt und im Industriebetrieb versuchsweise mit Erfolg eingesetzt. Die Definition einer sinnvollen Systemarchitektur stellt die Voraussetzungen für eine durchgängige Betriebsmittelverfolgung umfassend dar. Mit dem mobilen Gate und der RFID-Theke stehen darüber hinaus zwei Konzepte zur Verfügung, die die Funktionalität von Identifikationspunkten für verschiedene Einsatzbereiche und auch über die Bauindustrie hinaus gut aufzeigen. Abschließend werden die erzielten Ergebnisse in Form eines Leitfadens zusammengefasst, der auch mit der RFID-Technologie weniger vertraute Anwender aus der Bauindustrie dabei unterstützen soll, RFID-Anwendungen vorab zu planen und erfolgreich umzusetzen.

Die Voraussetzung für einen erfolgreichen RFID-Einsatz in der Bauindustrie ist jedoch nicht nur die Bewältigung der mitunter äußerst schwierigen, bauspezifischen Randbedingungen, sondern auch eine einsatzindividuelle, prozessorientierte Betrachtungsweise. Durch RFID können Prozesse lediglich unterstützt, nicht jedoch bestimmt werden, wodurch insbesondere bei der automatisierten Erfassung für eine ausreichende Prozesssicherheit eine klare und eindeutige Prozessdefinition erforderlich ist. In der Bauindustrie wird dieser Punkt historisch bedingt noch nicht konsequent genug umgesetzt. Ein weiteres Problem in der Bauindustrie stellt die schwierige monetäre Erfassung der tatsächlich anfallenden Kosten dar, da eine durchgängige Kostenzuordnung kaum vorhanden ist. Deshalb ist aktuell eine verlässliche quantitative Bestimmung von Kosteneinsparungen durch den Einsatz von RFID nicht gegeben.

Um RFID zukünftig gewinnbringend in der Bauindustrie einsetzen zu können, müssen wirtschaftliche Grundmodelle auf Basis von Standardprozessen entwickelt werden, wie sie in der stationären Industrie zunehmend zu finden sind. Hierauf aufbauend empfiehlt sich eine schrittweise Einführung von RFID in einzelnen abgegrenzten Anwendungen in Form von Pilotprojekten, die einfach wirtschaftlich und technologisch bewertet werden können. Auch stellen RFID-Lösungen Anforderungen an die Datenebene und erfordern klar definierte Schnittstellen und Datenformate, die eine intensive, frühe Zusammenarbeit mit kompetenten Partnern voraussetzen.

## **Quellenverzeichnis**

- [1] Günthner, W. A.; Zimmermann, J.; Eber, W.; Haas, B.; Lügger, M.; Sanladerer, S.; Schorr, M.: Logistik in der Bauwirtschaft – Status quo, Handlungsfelder, Trends und Strategien. Nürnberg 2008. ISBN: 978-3-9811819-8-2.

*Das Forschungsprojekt „RFID-Einsatz in der Bauindustrie“, in dessen Rahmen die hier vorgestellten Konzepte entstanden sind, wurde von der Forschungsvereinigung Bundesvereinigung Logistik e.V. (BVL) über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen "Otto von Guericke" e.V. (AiF) im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.*