

Kurzbericht zu FhG-Bericht RFID 01/2012

## **RFID, eine Schlüsseltechnologie für transparente Bauwerk- erstellung und nachhaltigen Gebäudebetrieb (RFID-Sensor: Energie-Hygiene-Sicherheit)**

Der Forschungsbericht wurde mit Mitteln der  
Forschungsinitiative Zukunft Bau des Bundesinstitutes für  
Bau-, Stadt- und Raumforschung gefördert.  
(Aktenzeichen: SF- 10.08.18.7- 09.27 / II 3 - F20-09-030)

Die Verantwortung für den Inhalt des Berichtes liegt bei  
den Autoren.

Stuttgart/Duisburg, im März 2013

N. König (IBP, Projektleitung)  
C. Philipp  
B. Hanisch  
K. Ebert  
T. Gier

G. vom Bögel (IMS)  
A. Hennig  
M. Lörcks

## 1. Ziel der Forschungsaufgabe

Im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“ fördert das Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) über das Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) Projekte der Arbeitsgemeinschaft (ARGE) zur Anwendung der elektronischen Identifikation von Bauprodukten und Bausystemen mit Hilfe der RFID-Technik [1]. In dieser Arbeitsgemeinschaft „RFID im Bau“ sind die Fraunhofer-Institute für Bauphysik (IBP) und Fraunhofer-Institut für Mikroelektronische Schaltungen und Systeme (IMS) Projektpartner zusammen mit dem Lehr- und Forschungsgebiet Baubetrieb und Bauwirtschaft der Bergischen Universität Wuppertal [2], der Fakultät Bauingenieurwesen, Professur Bauverfahrenstechnik, der Technischen Universität Dresden [3], dem Institut für Numerische Methoden und Informatik im Bauwesen der Technischen Universität Darmstadt [4] sowie diversen Industriefirmen, siehe gemeinsame Internetseiten unter [www.rfidimbau.de](http://www.rfidimbau.de) (Bild 1).



Bild 1: Logo der Projektgemeinschaft „ARGE RFIDimBau“

Das übergeordnete Ziel ist es, mit Hilfe der RFID-Technik eine Kostenoptimierung und Qualitätsverbesserung von Bauwerken zu erreichen. Jeder der Projektpartner untersucht dabei in Einzelprojekten die Potentiale der RFID-Technologien in seinem Kompetenzbereich und in gemeinsamer Abstimmung mit den heutigen Bauprozessen.

In einem ersten Projekt des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik (IBP) „RFID- Kennzahlen und Bauqualität“ stand vor allem die Bau- und Erstellungsphase im Vordergrund [5]. Dort waren die Grundlagen der RFID-Anwendung in der Bauphysik darzustellen und zu zeigen, wie durch eine elektronische Kennzeichnung mittels unterschiedlicher RFID-Transponder eine erhöhte Transparenz zu wesentlichen Parametern von Bauteilen und des Bauwerkes zu schaffen ist. Untersucht wurde die passive RFID-Transpondertechnik mit lokalen Datenstrukturen zur exemplarischen Kennwertermittlung aus einzelnen Komponenten am Beispiel der Fassade. Die Möglichkeiten einer automatisierten Baudokumentation mit der Beschreibung von bauphysikalischen Soll-Ist-Zuständen wurden dargestellt. So sollen Informationsdefizite zwischen den Baubeteiligten vermieden, Bauqualität erhöht und Kosten gesenkt werden.

Das zweite Fraunhofer-Projekt mit dem Kurztitel „RFID- Sensor: Energie – Hygiene - Sicherheit“ hat den Schwerpunkt in der Bau-Nutzungsphase. Anders als im ersten Fraunhofer-Projekt stehen hier die Aspekte der bauphysikalischen Nutzung von Bauteilen und deren Lebenszyklus im Vordergrund. So sollen mit Hilfe der RFID-Sensortechnik dynamische Informationen über den aktuellen Zustand einzelner Bauteile und Bausysteme erfasst und bewertet werden, um auch nach der Bauerstellung in der langjährigen Nutzungsphase eine Sicherung der Qualität durch ein „Hineinsehen“ in die Bauteile mit Hilfe der RFID-Funk- und Sensor-Technik erreichen zu können. Hierbei bearbeitete das Fraunhofer IBP die Teilthemen Kennwerte und Qualitätsmerkmale von Bauteilen zu exemplarischen Anwendungen im Bereich Energie, Behaglichkeit, Hygiene und Sicherheit von

Konstruktionen. Die Teilthemen des Fraunhofer IMS waren RFID-Technik und Sensortransponder, IT-Anbindung mit Standardisierung, hierarchische Verknüpfungen und IT-Zusatzfunktionen. Die Umsetzungsmöglichkeiten zu dynamischen Bauteil-/ Baukonstruktions-Daten für ein sog. „Gebäude-Monitoring“ wurden gemeinsam und zusammen mit der ARGE RFIDimBau untersucht.

In den letzten Jahren hat sich die Mikroelektronik rasant entwickelt, vor allem die Möglichkeit Daten dezentral auf Mikrochips zu speichern und mobil mit kleinen Handgeräten auszulesen. Übertragungsraten von einigen MB pro Sekunde sind heute Standard [6] und stellen die Basis für die möglichen Anwendungen im Bauwesen dar. Im Bereich der Waren- und Personallogistik hat Helmus in [7] die Grundlagen durch die Erarbeitung eines Bau-Logistikleitstandes dargestellt. Die Anwendung der RFID-Technik bei der Rohbau-Erstellung zum sog. „Intelligenten Bauteil“ mit dezentraler Datenhaltung untersuchte Jehle [8]. Hierbei waren jedoch noch keine Sensoren in die RFID-Transponder zur Zustandserfassung integriert. Da aber die Informationskette von der Bauproduktplanung über die Herstellung und Logistik bis zur Verwendung im Gebäude i.a. auf denselben Datensätzen beruht, war naheliegend, eine mögliche Zustandsänderung der Bauteile durch Sensoren in den Transpondern zu erfassen. Solche Sensortransponder-Systeme sind seit kurzem z.B. für das Reifendruck- oder Temperatur-Monitoring in der KFZ-Branche kommerziell im Einsatz [9].

Deshalb bestand auch die Aufgabe des Fraunhofer IMS in der Anpassung und Realisierung von RFID- Sensorsysteme für die in Kapitel 5 und 6 beschriebenen Anwendungen. Dabei sind Sensorlösungen für die folgenden Beispiele entstanden:

- Passiver Sensortransponder zur Messung von Temperatur und Innendruck in einem Vakuum Isolier Paneel (VIP) und somit zur Überwachung der Gebrauchstauglichkeit in eingebautem Zustand ohne drahtgebundenes Monitoring.
- Passiver Sensortransponder zur Messung von Feuchte und Temperatur z.B. in Decken und Wänden zur Kennzeichnung und Überprüfung von Bauteilen mit feuchtekritischen Bereichen und Zuständen.
- Aktiver Sensortransponder (Sensornetz) für die kontinuierliche Erfassung von verschiedenen physikalischen Messgrößen in Gebäuden. Beispiele hierzu sind die Temperatur- und Druckmessung in Steuerungen von Solaranlagen, die Bestimmung von Temperaturen und Tauwasser in Bauteilen der Gebäudehülle oder von Ablagerung in Lüftungsleitungen.

In dem Fraunhofer Bericht RFID 01/2012 werden die durchgeführten Arbeiten und erreichten Ergebnisse exemplarisch beschrieben. Im Kapitel 3 sind die Basis-Grundlagen zur RFID-Technik allgemein aufgeführt. Kapitel 4 erläutert die Grundlagen und Vorteile der Sensortransponder-Technologie. Allgemeine Anwendungen der RFID-Technik im Hochbau beschreibt Kapitel 5, während Kapitel 6 und 7 die von Fraunhofer IBP und IMS untersuchten Anwendungen der RFID-Technik mit Sensorik im Hochbau erläutert. Dabei werden jeweils die notwendige Technik, die Anforderungen für die Anwendung und die exemplarische Realisierung als modellhafte Demonstratoren beschrieben. Erste Ergebnisse aus der Praxis mit Hinweisen auf die Bautauglichkeit und zur Datensicherheit werden in Kapitel 7 präsentiert. Eine Abschätzung zum Qualitätsmanagement beim Umgang mit der RFID-Technik, den Kosten und die Integration in künftige Projekte sind in Kapitel 8 und 9 dargestellt.

## 2. Durchführung der Forschungsaufgabe

Innerhalb der ARGE RFIDimBau war vereinbart, dass jede Institution ihre Teilprojekte eigenständig bearbeitet und man sich gegenseitig über die wesentlichen Ergebnisse regelmäßig informiert. Dies erfolgte in den ARGE-Treffen, siehe in [1], Rubrik „Intern“, mit Koordination durch den Sprecher der ARGE und mit Information zum projektbegleitenden Lenkungsreis. Aus diesen Abstimmungen wurden die gemeinsamen Aktivitäten wie Präsentation der Projektergebnisse bei Messen und Tagungen und die Verknüpfung der Teilergebnisse zu einem gemeinsamen sog. „Schnittstellen-Projekt“ erarbeitet.

Die Ergebnisse aus dem ersten Fraunhofer-Projekt zeigten, dass die damals und zum Projektstart des zweiten Fraunhofer-Projekts verfügbaren RFID-Transponder mit Sensorik und die dazu gehörigen Lesegeräte nicht baugauglich waren. Deshalb waren eine aktuelle Recherche nach besser geeigneten Hardware-Bauteilen und die Adaption der IMS-Sensor-transponder-Systeme für die angedachten Anwendungen notwendig. Die ersten Erprobungen konnten in den Test- und Klimakammern des Fraunhofer IMS und später bei den bauüblichen Temperaturbereichen von – 25 °C bis + 40 °C in den Klimakammern und an Testfassaden des Fraunhofer IBP durchgeführt werden. Nach weiteren Recherchen zur Integration von Benutzerschnittstellen zwischen den RFID-Systemen und üblicher Bausoftware mit den Anforderungen an die Datenhaltung ließen sich mögliche Wege der Integration in Facility-Managementsysteme (FM) beschreiben. Daraufhin wurden am Markt vorhandene baugaugliche Lese- und Speichergeräte für die notwendigen Sensortags auf die Readerprotokolle abgestimmt.

Diese Hardware war exemplarisch für die Anwendungen in den Bereichen Energie/VIP, Hygiene/Lüftungsleitung und Sicherheit/Holzbausystem zu erproben u.a. durch:

- Konzeption und Aufbau von adaptierten Hardware-Modulen (Transpondern, Lesegeräten, Mess- und Kalibriereinrichtungen) und Funktionsmodellen,
- Konzeption und Aufbau von Kleindemonstratoren,
- Erprobung der Hardware am und im Gebäude,
- Aufbau von Probekörpern in der Testfassade,
- Mehrfachtests mit unterschiedlich geschulten Anwendern zur Erfassung von Verbesserungspotenzialen.

Zum Erreichen der Ziele nach mehr Transparenz und Nachvollziehbarkeit von bauphysikalischen Kenndaten konnten Ergebnisse aus dem Projekt „Sicherheitsbeiwerte im Wärmeschutz nach EnEV/BRL und EN-Standards (SiWaS)“ [10] gespiegelt werden. Dort werden mit mathematischen Methoden [11] Prognosewerte für Kennwerte wie den Wärmedurchgang durch Außenbauteile von Gebäuden untersucht. Diese Kennwerte sollten dafür aber mit deren Herkunfts- und Ident-Daten belegt sein, um qualitätsbezogene Aussagen machen zu können. Wie dies mit der RFID-Technik zu verknüpfen ist, wird im Fraunhofer Bericht RFID 01/2012 Kap. **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** theoretisch gezeigt; eine mögliche Umsetzung in der Praxis ist in Kap. **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** erläutert.

Aus Untersuchungen zur Softwareintegration auch in Gebäudeleittechnik- (GLT) oder Gebäudeautomations- (GA) Systemen konnten Erkenntnisse zur Weiterentwicklung in künftigen Projekten zusammen mit Umsetzern (Kap. 7) gewonnen werden.

### 3. Zusammenfassung der Ergebnisse

Die Wunschvorstellung von Bauherrn und Investoren ist es, Gebäude technisch hochwertig und fehlerfrei zu erstellen, diese langfristig schadensfrei und kostengünstig zu betreiben und darin behaglich zu Wohnen oder zu Arbeiten. Somit ist das Ziel des Projektes darauf ausgerichtet, nachhaltiges Bauen in technischer und ökologischer Qualität durch elektronische Kennzeichnungs- und Monitoringsysteme zu unterstützen. Hierzu sind zwei Gruppen von Einflussgrößen zu beachten. Zum einen gebäudebezogene Aspekte der Dauerhaftigkeit, der bestehenden Qualitätssicherungssystemen, der Baubetriebsqualität und der Gebäude-Effizienz (energieeffizientes Bauen/ effiziente technische Gebäudeausrüstung) . Damit lässt sich eine Verbesserung der Transparenz der Bauabläufe und der Gebäude selbst erreichen. Zum anderen waren die Verfügbarkeit der Geräte und Sensoren für eine Bauteilerfassung und Bauteilüberprüfung, deren Kosten und die Handhabung und Akzeptanz in der Bauwirtschaft im Rahmen des Projekts zu untersuchen. Die eingeführten Instrumente der öffentlichen Vergabe wie Präqualifizierung, Erkennen der wirtschaftlichen Qualität (d.h. eine Prozessoptimierung als Bauen und Betreiben im Zeit- und Kostenrahmen) sind heute noch wenig technisch ausgerichtet und kaum nachvollziehbar. Vor allem Daten zur Ausführungsqualität unterschiedlicher Bauweisen mit verschiedenen Bauprodukten sind über den Betriebs- und Lebenszyklus von Räumen und Gebäuden wenig vorhanden und den meisten Planern und Ausführenden unbekannt. Damit kann kein Bewusstsein für bessere Bauqualität entstehen und der Mehrnutzen von höherwertigen Bauprodukten und Bauweisen den meist kleinen und mittleren Unternehmen am Bau sowie den Bauträgern (auch öffentliche Hand!) aufgezeigt werden.

Doch gerade die statischen Informationen (wie der Aufbau eines Bauteils mit seinen Grundkomponenten) zusammen mit den dynamischen Informationen (wie die zum Trocknungs- oder Feuchteverhalten) sind die Daten, die sich im Laufe der Nutzung einer Baukonstruktion stark unterscheiden. Je nach Materialart und Qualität ändern sich durch Verschleiß, Alterung, Verwitterung, Feuchtebelastung oder Verschmutzung die ursprünglichen Eigenschaften gegenüber dem Neuzustand wesentlich.

Nur mit eindeutig zuordenbaren Informationen zu den wesentlichen tatsächlich eingebauten Produkten und dem daraus ermittelten Soll-Ist-Vergleich der geplanten Daten mit den realisierten Ergebnissen lassen sich über Datenbanksysteme solche Nachweise wie z.B. zum Energiebedarf/-verbrauch führen. Die Technik der RFID-Ident-Kennzeichnung bietet hierzu nutzbringende und praxistaugliche Lösungen an. Auch liegen bereits technische Systeme zur Erfassung von Bauteil- oder Baukonstruktions-Zustände für die Messung von Temperatur, Druck, Feuchte durch Funk-Sensortechnik mit RFID-Identifizierung vor. Prototypen sind in Labormodellen verifiziert und in realen Gebäuden an Testfassaden untersucht oder in der Validierung (IBP Stuttgart, IMS Duisburg/ inHaus1). Testanwendungen für Sensor-RFID-Transponder für die Bauteileigenschaften wie Kraft, Dehnung lassen sich realisieren, erste Messsysteme sind aufgebaut und befinden sich im Labortest. An konkreten bauphysikalischen Anwendungen für den Gebäudebetrieb konnten die Vorteile und Chancen der RFID-Technik im Zusammenwirken mit der Nachrüstung von Gebäuden z.B. bei Sanierungen aufgezeigt werden.

Die Untersuchungsmethodik war, in den 3 Beispielbereichen Energie, Hygiene, Sicherheit bauphysikalisch-technische Anwendungen zu zeigen.

Im **Bereich Energie** wird dies am Beispiel einer Fassade mit einem Glaspaneel mit VIP-Dämmung als Musterszenario dargestellt. Die VIP-Innendruck-Messmethode wird statt wie bisher mit einer Hilfsmethode nun mit einem Direkt-Messverfahren integriert in die LF-Funktechnik drahtlos als Monitoring-Verfahren dargestellt. Dies stellt somit ein Qualitäts-Sicherungsverfahren dar und lässt eine in-situ Bauteilüberprüfung über lange Zeiträume zu. Dabei werden Zeiträume deutlich größer als 10 Jahre angestrebt, im Rahmen des Projekts wurden bereits Langzeittests über 2 Jahre durchgeführt. Der Einsatz eines solchen Systems sorgt somit für eine höhere Produktsicherheit. Hieraus ergeben sich Vorteile für Hersteller der VIPs, Nutzer/Investor und Bauaufsicht durch nachprüfbarere Ergebnisse zum Zustand der VIP-Dämmung. Daraus lassen sich mittelfristig durch ein geringeres Vorhaltemaß in der Bemessung der Sicherheit zum Wärme- und Feuchteschutz solcher Baukonstruktionen mit VIP-Dämmung wirtschaftliche Vorteile gewinnen.

Der LF-Drucksensor-Prototyp ist im IMS weiter durch Tests in Druckkammern optimiert worden. Der Kalibrierprozess bei der Herstellung von VIP-Drucksensor-Transpondern und der VIP-Bauteile selbst mit integrierten Sensortags konnte marktreif gemacht werden, Ergebnisse hierzu werden vorgestellt.

Zur Erzielung von höheren Reichweiten für das Monitoring von Gebäudezuständen z.B. in Dächern und Fassaden stehen drahtlose Sensornetz-Systeme zur Verfügung. Im Frequenzbereich der Mobilfunktechnik bei 2,4 GHz erreichen diese Reichweiten von über 5 Metern. Diese sog. aktiven Sensor-Transponder in der Netzwerk-Knotentechnik benötigen eine eigene Batterie und wurden als Prototypen getestet. Sie stehen seit einigen Monaten auch als kommerzielle Systemkomponenten zur Verfügung. Damit lassen sich die Bauprodukteigenschaften Temperatur, Licht, Feuchte, Rauch, Anwesenheit und Luftdruck erfassen und überprüfen.

Erste Beispiele für die Anwendung zum **Themenbereich Hygiene** sind aufgezeigt: Turnusmäßige Überwachung des Zustandes von Lüftungsleitungen oder Anlagen zur kontrollierten Wohnungslüftung wie Außenwandlüfter oder Wärmetauscher hinsichtlich ihres Hygienezustandes sind erfassbar mit der RFID-Sensortechnik, z.B. Tauwasseranfall, Verschmutzung etc. Daraus können die Einhaltung von Wartungs- und Reinigungsintervalle oder die Überwachung der Tauwasserbildung an Wärmbrücken automatisiert ablaufen.

Im **Themenbereich Sicherheit** wurden Systeme untersucht zur Überprüfbarkeit des Ursprungs und der Qualität von Bauprodukten, zur Zustandskontrolle von automatisierten Fassadenkomponenten insbesondere RWA-Elemente und Brandschutzelementen und zum präventives indirektes Erkennen von Verschleißgrenzen aufgrund übermäßiger Erwärmung oder zu hoher Bauteilfeuchte, insbesondere bei Holzkonstruktionen an unzugänglichen Stellen. Damit wäre eine automatisierbare Zustandskontrolle bei Holzbausystemen, wie Dächern möglich (Monitoringsystem). Beispiele dazu werden aufgezeigt. Dazu kann die passende RFID-Sensortechnik mit dem LF-Feuchte-Sensor-Tag (als IMS-Prototyp verfügbar) genutzt werden. Die Tests des VIP-Drucksensor- und Feuchtesensor-Transponders am Demonstrator „InHaus-1“ in Duisburg zeigen die Funktionsweise über ein Jahr.

Die innerhalb einer bauphysikalischen Anwendung notwendigen Datenfluss- und Verknüpfungsmodelle mit den vielschichtigen Daten, können in dem Projekt nur angedeutet werden und sind

zusammen mit Software-Firmen zu entwickeln. Insellösungen für Bauteil- und Bausystem-Überwachungen mit Funksensorik werden vorgestellt und bereits seit über einem Jahr kommerziell angeboten.

Welche Potenziale in der Integration von schlanken Überwachungssystemen von Gebäudekomponenten mit RFID-Tags mit nachgeschalteten Software-Modulen stecken ist im ersten Fraunhofer-RFID-Projekt „Kennzahlen und Bauqualität“ aufgezeigt. Vor allem der modulare Aufbau durch standardisierte Protokolle und Schnittstellen auf dem Informationsweg vom RFID-Tag bis zum Anwender ermöglicht eine Vielzahl von Nutzungen dieser Daten durch neue Dienstleistungen. In den Bereichen Facility Management (FM), Gebäudeleittechnik (GLT) oder Gebäudeautomation (GA) werden dazu Ideen vorgestellt. Die automatisierte Erstellung des Gebäude-Energieausweises ist ein gutes Beispiel wie mit der drahtlosen RFID-Sensor-Technik integriert in Baukonstruktionen wie Fassaden oder Dächer künftig für innovative Entwickler neue Mehrwert-Dienste anbieten können. Dies vor allem im Umfeld, in denen keine MSR-Technik vorhanden ist und einfache Erfassungssysteme für eine Hausautomation nachgefragt sind (z.B. für Sensoren an Heizungskomponenten, Umwälzpumpen, Brandschutzeinrichtungen, Fenstern). Diese lassen sich dann in Sensornetze zu FM-Systemen integrieren; Vorschläge dazu werden beschrieben. Zur Umsetzung der Anwendungsideen wurden leicht verständliche, einfach aufzubauende Demonstratoren beispielhaft entwickelt.

Damit sind einige Möglichkeiten der derzeit verfügbaren RFID-Sensor-Hardware in der Bauanwendung und mit deren Verbesserungspotentiale aufgezeigt. Die Impulse für Bedarfseinschätzungen zur weiteren bauspezifische Hardwareentwicklung lassen sich daraus abschätzen. Weitere Untersuchungen zur Leistungsfähigkeit und Verwendbarkeit der daraus zu entwickelnden Serienmodelle für Sensor-RFID-Transponder sollten im geplanten Schnittstellenprojekt in der ARGE RFIDimBau stattfinden. Darin kann dann der Nachweis erbracht werden, dass unter bauüblichen Randbedingungen (Handhabung, Baumilieu wie Staub, Wasser, Feuchte, Temperatur, Stöße etc.) die Qualität der Sensordaten (Genauigkeit, Drift, Reproduzierbarkeit) den gestellten Anforderungen auch über die lange Zeit der Bauteil-Betriebsdauer ausreichend ist. Qualitative Hinweise werden durch die Gegenüberstellung bisheriger Erfassungs-Systeme in einer QFD-Analyse mit Bewertung aufgezeigt zusammen mit Abschätzungen zur Kostenreduktion über Serieneffekte und zu batterielosen Systemen.

Leider standen erst 2011 kurz vor Projektende die ersten kommerziellen RFID-Sensor-Bauteile für die Datenerfassung über größere Entfernung von einigen Metern (aktive Transponder mit Speicher und Controller sowie Lesegeräte) zur Verfügung. Diese sollen 2013 in Zusammenarbeit mit der VIP-Herstellern und weiteren Industriepartnern erprobt und die RFID-Sensor-Daten in das Softwarepaket „RFID-Kiosk“ komplett integriert werden. Damit lässt sich dann diese RFID-Technik im Gebäudebetrieb umsetzen und die „intelligente“ Sensorik mit der Bauproduktebene vernetzen. So kann das langfristige Forschungsziel erreicht werden, die gewonnenen Informationen über den Bauteilzustand und somit den Qualitätsstandard dem Entscheidungsträger, Investor und Nutzer der Räume drahtlos zur Verfügung zu stellen. Der Ausblick zu den derzeit laufenden Projektfortsetzungen und zu Projektideen zeigt das weitere Umsetzungspotential aus dem Projekt „RFID-Sensor: Energie-Hygiene-Sicherheit“.

- [1] Arbeitsgemeinschaft ARGE RFIDimBau: Forschungscluster im BMVBS-Förderprogramm „Forschungsinitiative Zukunft Bau“ mit gemeinsamer Internetseite unter [www.RFIDimBau.de](http://www.RFIDimBau.de), seit Januar 2007.
- [2] Helmus, M., Meins-Becker, A., Laußat, L.: „InWeMo“, Integriertes Wertschöpfungsmodell mit Radio Frequency Identification in der Bau- und Immobilienwirtschaft mit dem Fokus Baulogistik, Forschungsbericht Lehr- und Forschungsgebiet Baubetrieb und Bauwirtschaft, BU Wuppertal, 2008, siehe in [www.baufachinformation.de/artikel.jsp?v=229833](http://www.baufachinformation.de/artikel.jsp?v=229833) und in „RFID in der Baulogistik“, 748 S., Vieweg+Teubner 2009.
- [3] Jehle, P., Seyffert, S., Wagner, S., Netzker, M.: „RFID-IntelliBau“, Optimierungspotenziale im Lebenszyklus einer Bauwerks durch den Einsatz der Radio Frequency Identification Technologie, Forschungsbericht Fakultät Bauingenieurwesen, Professur Bauverfahrenstechnik, TU Dresden, 2008, siehe in <http://www.baufachinformation.de/literatur.jsp?bu=2009119005687>
- [4] Rüppel, U., Stübbe, M., Zwinger, U.: Kontextsensitives RFID-Leitsystem zur Navigation und Ortung von Einsatzkräften in Gebäuden, Forschungsbericht, TU Darmstadt, Institut für Numerische Methoden und Informatik im Bauwesen, 2010, siehe Seite 46-47 in [http://www.forschungsinitiative.de/PDF/Broschuere\\_Zukunft\\_Bau-2.pdf](http://www.forschungsinitiative.de/PDF/Broschuere_Zukunft_Bau-2.pdf) und RFID-Wartungs-Leitsystem Brandschutz, IRB-Bericht F 2804 (2012) in <http://www.irbnet.de/daten/rswb/12029020336.pdf>
- [5] König, N., Würth, M., vom Bögel, G.: „RFID-Kennzahlen“, Potenziale von RFID-Technologien im Bauwesen - Kennzahlen und Bauqualität, Forschungsbericht GB 183/2008, Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP, Stuttgart und Fraunhofer-Institut für Mikroelektronische Schaltungen und Systeme IMS, Duisburg, 2008, IRB-Bericht F 2743 siehe in <http://www.irbnet.de/daten/rswb/09119019866.pdf>
- [6] Finkenzeller, Klaus: RFID Handbuch - Grundlagen und praktische Anwendungen von Transpondern, kontaktlosen Chipkarten und NFC, Carl Hanser Verlag, München, 2008 und 2012.
- [7] Helmus, M., Kelm, A., Laußat, L., Meins-Becker, A.: RFID-Baulogistikleitstand , RFID-unterstütztes Steuerungs- und Dokumentationssystem für die erweiterte Baulogistik am Beispiel RFID-Baulogistikleitstand für die Baustelle, Forschungsbericht Lehr- und Forschungsgebiet Baubetrieb und Bauwirtschaft, BU Wuppertal, 2010, 156 S., Vieweg+Teubner, 2011. Siehe in <http://www.baufachinformation.de/forschungsbericht/RFID-Baulogistikleitstand/236349>
- [8] Jehle, P., Michailenko N., Seyffert, S., Wagner, S.: IntelliBau-2, Das intelligente Bauteil im integrierten Gebäudemodell, Schriften zur Bauverfahrenstechnik, Vieweg+Teubner, 2013, und in [http://www.rfid-saxony.de/logic/downloads/207\\_Wagner\\_Bauen%20mit%20RFID%20Technik.pdf](http://www.rfid-saxony.de/logic/downloads/207_Wagner_Bauen%20mit%20RFID%20Technik.pdf)
- [9] Michelin, TPMS-Reifendruck-Messsystem, siehe in [http://news.michelin.de/de/news/news\\_detail\\_popup.jsp?id=29404&codeRubrique=1080](http://news.michelin.de/de/news/news_detail_popup.jsp?id=29404&codeRubrique=1080) und <http://www.krafthand.de/aktuell/details/article/mehr-infos-vom-reife.html>
- [10] König, N.: Festlegung von Bemessungswerten für die Wärmeleitfähigkeit, Bericht GB 116/1994 für DIBt, Berlin, Fraunhofer-Institut für Bauphysik, 1994. Siehe [www.baufachinformation.de/artikel.jsp?v=5591](http://www.baufachinformation.de/artikel.jsp?v=5591)
- [11] König, N.: Sicherheitsbeiwerte im Wärmeschutz nach EnEV/BRL und EN-Standards (SiWaS), IBP- Bericht GB 185/2012, mit Förderung durch DIBt, Berlin, Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Stuttgart, 2012. Siehe [http://www.dibt.de/de/data/Newsletter/01\\_2013.pdf](http://www.dibt.de/de/data/Newsletter/01_2013.pdf), S. 8.