

Anhang zu:

Intelligente Straßen- verkehrsinfrastruktur durch 3D-Modelle und RFID-Tags

von

Jan Tulke
Rainer Schäfer
Arthur Brakowski
Jan-Derrick Braun

HOCHTIEF Solution AG
Engineering Solutions
Consult Infrastructure
Essen

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Brücken- und Ingenieurbau Heft B 130 – Anhang

bast

Anhänge

Anhang A:	Tools und Prozesse im Straßenwesen	33
Anhang B:	Stand der Forschung und Entwicklung zum Themengebiet „Intelligente Bauwerke“	41
Anhang C:	Modellbasiertes Arbeiten und 3D-Modelle	59
Anhang D:	RFID Technologie	68
Anhang E:	Prozessbeschreibung Betrieb und Erhaltung	109
Anhang F:	Versuchsauswertung – Sensoren im BW 90 der BAB A 8	120

Anhang A: Tools und Prozesse im Straßenwesen

Inhalt

A. Tools und Prozesse im Straßenverkehr	34
A.1 Prozesse	35
A.2 Softwaresysteme (SIB-BW, BMS, BISSTRA, PMS)	37
A.2.a Straßeninformationsbank-Bauwerke (SIB-BW)	37
A.2.b Bauwerks-Management-System (BMS)	38
A.2.c Bundesinformationssystem Straße (BISStra)	39
A.2.d Pavement-Management-System (PMS)	39
A.3 Fazit	39
B. Literatur und Links	40

A. Tools und Prozesse im Straßenwesen

Um ein Intelligentes Straßeninfrastruktur Informationssystem (kurz: ISIS) aufzusetzen, wurden im Rahmen dieses Forschungsprojekts zunächst die vorhandene IT-Infrastruktur und die damit verbundenen Prozesse genauer betrachtet und festgehalten. Dieser Anhang soll einen kurzen Überblick über die im Straßenwesen eingesetzten Tools und Prozesse geben.

Allgemein kann man die eingesetzten Softwaretools, auf die das Systemkonzept ISIS aufbaut, in drei verschiedene Softwaresystemgruppen einteilen: Informationssysteme, Optimierungs- und Erhaltungssysteme, sowie Betriebsdatenerfassungssysteme:

- Informationssysteme:

Um die vielfältigen Informationen von Infrastrukturbauwerken und -straßen zu sammeln und an zentralen Stellen allen beteiligten zur Verfügung zu stellen, kommen Informationssysteme zum Einsatz. Diese Systeme stellen eine Sammlung aus Bauwerks- und Straßenbestandsinformationen sowie Prüfungsergebnissen bereit und liefern Schnittstellen, um die vorhandenen Informationen auslesen und somit weiterverwenden zu können.

Das von den Ländern eingesetzte Informationssystem für Infrastrukturbauwerke lautet SIB-BW (Straßeninformationsbank-Bauwerke). In dem „Handbuch der Bauwerksdokumentation (Stand 06/2009)“ steht hierzu als Begriffserläuterung: „Das Programmsystem SIB-Bauwerke dient der einheitlichen Erfassung, Auswertung und Verwaltung von Bauwerksdaten und zur Durchführung der Bauwerksprüfung nach DIN 1076“(1).

Im Bereich der Infrastrukturstraßen ist das Äquivalent zu SIB-BW mit BISStra bezeichnet (Bundesinformationssystem Straße). Hierzu ist auf der Seite der BASt zu lesen: „Der Bestand an Bundesfernstraßen, Brücken und Tunneln, deren Alter und Zustand ist heute ebenso informationstechnisch erfasst, wie die Belastung der Straßen und Bauwerke durch den Verkehr oder die Zahl der Verletzten und Getöteten. Um all diese Daten für die Planung, Verwaltung und Forschung koordiniert nutzen zu können, wurde das „Bundesinformationssystem Straße“, kurz BISStra entwickelt. BISStra unterstützt das BMVBS und die BASt bei der Lösung der vielfältigen Verwaltungs- und Forschungsaufgaben“(2).

- Optimierungs- und Erhaltungssysteme:

Um die Daten aus den Informationssystemen für die Erhaltungsplan- und Budgetoptimierung nutzen zu können, werden bei der BASt Managementsysteme eingesetzt. Hier kommen ebenfalls zwei separate Systeme zum Einsatz. Im Bereich der Bauwerkserhaltung wird das BMS (Bauwerks-Management-System) und im Bereich der Straßenerhaltung das PMS (Pavement-Management-System) verwendet.

Allgemein heißt es auf der Internetseite der BASt über das BMS: „Um den Bestand von Brücken und Tunneln zu gewährleisten, sind Erhaltungsmaßnahmen erforderlich. Die Alterung der Bauwerke und die zunehmende Verkehrsbelastung erfordern einen erhöhten Bedarf für die Substanzerhaltung. Da nur begrenzte Geldmittel zur Verfügung stehen, ist eine bundesweit optimierte Erhaltungsplanung notwendig. Hierfür entwickelt die BASt ein Bauwerks-Management-System, kurz BMS. Es soll die Maßnahmenplanung und den Finanzeinsatz optimieren und als Controlling-Instrument eingesetzt werden“(3).

Bezüglich des Pendant im Straßenbereich PMS heißt es: „Das PMS kann die Zustandsentwicklung der Fahrbahnoberfläche und der Fahrbahnsubstanz auf der Grundlage bekann-

ter Verhaltenskurven und aktueller Zustandsergebnisse in Abhängigkeit vom eingesetzten Budget netzweit abschätzen. [...] Auf diese Weise ist eine Abschätzung der Zustandsentwicklung über mehrere Jahre (Prognose) und eine entsprechend ausgerichtete, netzweite optimierte Erhaltungsplanung möglich“(4).

- Betriebsdatenerfassungssysteme:

Eine leistungsfähige Straßeninfrastruktur stellt die Voraussetzung für den Güter- und Personenverkehr dar.

Um diesen Verkehr laufend und uneingeschränkt aufrecht zu erhalten und die Infrastruktur verfügbar zu halten, ist der Straßenbetriebsdienst als unmittelbarer Erhalter unabdingbar. Der Mitteleinsatz, also der effektive und effiziente Einsatz des Budgets für den Betriebsdienst, erfordert transparente Aufzeichnungen, Auswertungen und Kontrollen der erbrachten betrieblichen Leistungen.

Um diese Prozesse des Straßenbetriebsdienstes transparent zu steuern und zu dokumentieren, werden immer häufiger GPS-gestützte und automatisierte Erfassungs- bzw. Managementsysteme zur Erhebung der Leistungsdaten auf den Straßen der Bundesländer, Landkreise, Städte, Kommunen und privaten Betreibern eingesetzt.

Hierbei werden auf Grundlage der Straßendaten (z.B. TT-SIB) Datenverschneidungen zur Planung und Nachweisführung von betrieblichen Leistungen vorgenommen. Dafür werden dem jeweiligen Nutzer maßgeschneiderte Softwareanwendungen zur Verfügung gestellt, welche mit den Erfassungsgeräten in den Betriebsdienstfahrzeugen kommunizieren.

Die Leistungserfassung umfasst dabei Örtlichkeiten, Durchführungszeiten, Feststellungszeiten sowie Mengen- und Verlaufsdaten im Winter- und Sommerdienst. Dies bildet die Grundlage für alle weiteren Anwendungen und Auswertungen, wie z.B. der Verwaltung von Arbeitsberichten, den Streckenkontrollberichten und den Winterdienstnachweisen. Die Darstellung bzw. Auswertungen der Betriebsdienstdaten können entweder tabellarisch oder in visueller Form erfolgen.

Solche Erfassungs- bzw. Managementanwendungen im Straßenbetriebsdienst ermöglichen somit eine Output-orientierte Leistungssteuerung sowie ein effizientes Betriebscontrolling.

A.1 Prozesse

Um die eingesetzten Softwaresysteme genauer erläutern zu können, soll zunächst der Informationsfluss und die damit verbundenen Prozessschritte veranschaulicht werden. Das nachfolgende Schaubild zeigt den groben Prozess des Informationsflusses von der abgeschlossenen Bauphase (bzw. Erhaltungsmaßnahme), über regelmäßige Prüfungsvorgänge, bis hin zum Abruf der verfügbaren Informationen zwecks Optimierung der Budgetplanung für zukünftige Erhaltungsmaßnahmen. Die Erläuterung erfolgt beziehungsweise auf die Prozessschritte der Bauwerkserhaltung.

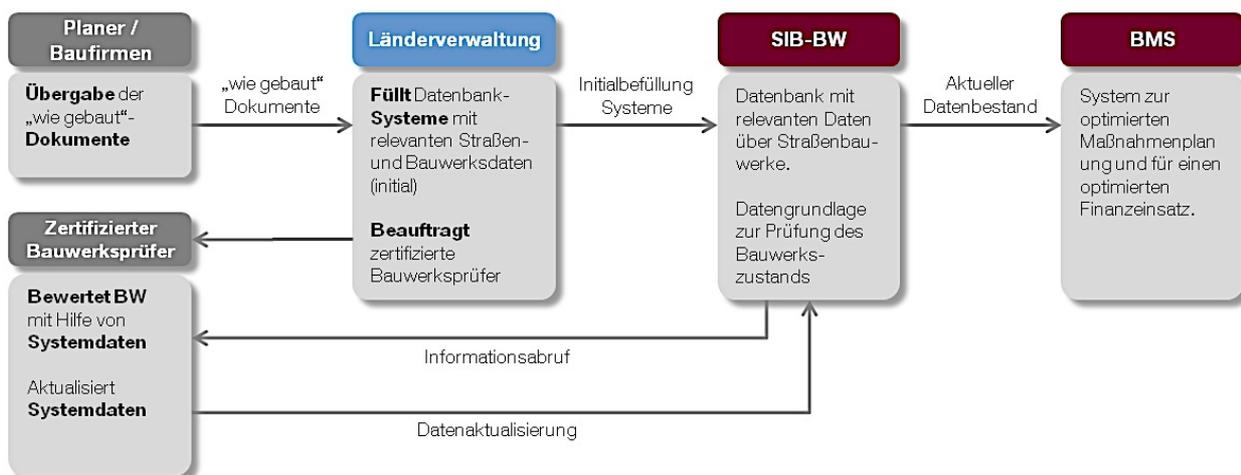


Abb. 1: Prozessübersicht

1. Dokumentationsübergabe (Technische Dokumentation / Wie-gebaut-Dokumentation)

Nach Abschluss einer Baumaßnahme (Neubau oder Erhaltungsmaßnahme) eines Infrastrukturprojektes werden die vorhandenen „wie gebaut“-Planunterlagen und Dokumentationen an die zuständige Länderverwaltung übergeben. Viele der übergebenen Dokumente werden jedoch in herkömmlicher Form (sprich: in Papierform) übergeben und können nur mit erheblichem Aufwand oder gar nicht weiterverwendet werden.

2. Initialbefüllung Informationssystem (SIB-BW)

Die erhaltenen Informationen werden durch die Länderverwaltung in die Informationsbank „SIB-BW“ eingetragen. Hierin sind die wesentlichen Grundwerte für Brückenbauwerke enthalten, die gleichzeitig die Grundlage sowohl für spätere Prüfungen, als auch als Eingangsdaten für Optimierungsberechnungen dienen. Desweiteren dienen diese Daten der Beantwortung von Anträgen von Schwer- und Sondertransporten.

3. Bauwerksprüfung

Für die regelmäßigen Bauwerksprüfungen (Haupt- und Nebenprüfungen) gemäß DIN 1076 werden durch die Länderverwaltungen zertifizierte Bauwerksprüfer beauftragt, die Bauwerksprüfungen durchzuführen. Hierzu informieren sich die Bauwerksprüfer mittels SIB-BW über die Bauwerke und die letzten Zustandsmeldungen bzw. Prüfungsergebnisse. Nach Durchführung der Prüfung werden wiederum die Ergebnisse durch den Bauwerksprüfer in das System SIB-BW eingepflegt und somit der Datenbestand aktualisiert.

4. Maßnahmenplan

In regelmäßigen Abständen (Halbjahrestakt) werden die SIB-BW der einzelnen Bundesländer an die BAST übergeben und dort vorgehalten. Die aktuellen Datensätze der Länder dienen hier als Eingangsdaten in das sogenannte BMS, das Bauwerks-Management-System der BAST, mit dessen Hilfe eine optimierte Maßnahmenplanung und somit ein optimierter Finanzeinsatz zur Erhaltensplanung erstellt werden kann.

A.2 Softwaresysteme (SIB-BW, BMS, BISSTRA, PMS)

Im Folgenden wird genauer auf die bereits kurz aufgeführten Softwaretools eingegangen.

A.2.a Straßeninformationsbank-Bauwerke (SIB-BW)

SIB-BW (Straßeninformationsbank-Bauwerke)

Anwendungsbereich:
Bauwerksinformationen, Prüfungsergebnisse

Eingangsdaten durch:
manuelle Eingaben, Prüfergebnisse



Abb. 2: Kurzinformation SIB-Bauwerke

„Das Programmsystem SIB-BAUWERKE ist eine Entwicklung der Straßenbauverwaltungen von Bund und Ländern, die die Eigentümer dieses IT-Produktes sind. Die fachtechnische Betreuung erfolgt durch die Bund/Länder-Dienstbesprechung „IT-Koordinierung im Straßenwesen“, Projektgruppe „Bauwerke“, in dem die Bundesanstalt für Straßenwesen mitarbeitet“(5).

Da in SIB-BW alle relevanten Daten gespeichert werden, die für die Prozesse der Bauwerksprüfung und der Erhaltungsplanoptimierung (im BMS) momentan verwendet werden, ist dieses System der wichtigste Ausgangspunkt, an den das Zielkonzept von ISIS anknüpft. In der Werbeschrift für SIB-BW von der Firma WPM-Ingenieure, die diese Software zusammen mit der BAST entwickelt hat, sind die Leistungen der Software wie folgt aufgeführt:

- Erfassung von Bauwerks- und Schadensdaten,
- Erstellung von Bauwerksbüchern und Bauwerksprüfberichten,
- Verwaltung und Archivierung von digitalen Bildern, Plänen, Statiken, Einbauprotokollen
- Auswertung von beliebigen Konstruktionsdaten und Schäden,
- Erstellung der vom Bund geforderten Statistiken.

Die in der SIB-BW abgelegten Bauwerksdaten sind im OKSTRA-Format abgelegt. Für das zu konzipierende System sind die wesentlichen Informationen die Bauwerksdaten und die Bauwerkprüfungen bzw. deren Ergebnisse. Zu diesen beiden Themengebieten heißt es in der Werbeschrift für SIB-BW von WPM-Ingenieure:

„Die Struktur und der Umfang der Bauwerksdaten wird durch die Anweisung zur Straßeninformationsbank, Teilsystem Bauwerksdaten (ASB-ING) definiert, die die Voraussetzung für eine IT-gestützte Datenverwaltung darstellt. Mit dem Programmsystem SIB-BAUWERKE ist die ASB-kompatible Erfassung, Verwaltung und Auswertung der Bauwerksdaten im maskengestützten, plausibilitätsgeprüften Dialogbetrieb realisiert. Jede Tabelle der ASB-ING wird in einer eigenen Maske dargestellt. Die Zuordnung der Masken erfolgt analog des Hierarchiesystems (Bauwerk, Teilbauwerk, Bauwerksart, Konstruktionsteile, Sachverhalt) der ASB-ING“(6).

„SIB-BAUWERKE ermöglicht die Durchführung der Bauwerksprüfung nach DIN 1076 in Verbindung mit der RI-EBW-PRÜF Ausgabe 2007. In der Bauwerksdatenbank ist für bereits erfasste

Bauwerke der aktuelle Bauwerkszustand (gegenwärtig dokumentierte Schäden) gespeichert. Er wird für die Bauwerksprüfung mit den übrigen Bauwerksdaten ausgelesen und dem Prüfer auf seinem Notebook zur Verfügung gestellt. Dort bildet er die Grundlage für die neu durchzuführende Prüfung (Schadensübersicht)“(6).

A.2.b Bauwerks-Management-System (BMS)



Abb. 3: Kurzinformation Bauwerks-Management-System

Wie bereits in der Einleitung zu diesem Kapitel aufgeführt, dient das BMS zur Optimierung der Erhaltensplanung von Infrastrukturbauwerken. Auf der Internetseite der BAST heißt es weiter: „Grundlage des BMS sind Daten über den Bestand und den Zustand der Bauwerke. Die Daten werden routinemäßig im Rahmen der Bauwerksprüfungen mit dem Programmsystem SIB-Bauwerke durch die Straßenbauverwaltungen der Länder erhoben. Umfang und Struktur dieser Bauwerksdaten sind in der „Anweisung Straßeninformationsbank“ festgelegt. Die Schäden und der Bauwerkszustand werden einheitlich nach DIN-Vorgaben dokumentiert. Alle Bauwerks- und Prüfdaten werden in das Programmsystem Straßeninformationsbank, kurz SIB genannt, eingegeben“(3).

Eine Analyse der vorhandenen Informationen kann sowohl auf Objekt- als auch auf Netzebene erfolgen.

A.2.c Bundesinformationssystem Straße (BISStra)

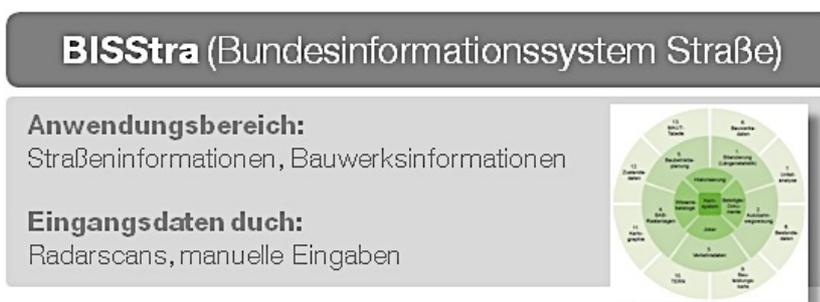


Abb. 4: Kurzinformation Bundesinformationssystem Straße

Neben dem Informationssystem SIB-BW für Infrastrukturbauwerke gibt es ein weiteres System, welches sich auf Infrastrukturstraßen fokussiert: das Bundesinformationssystem Straße. „BISStra ist ein geographisches Informationssystem, das auf der Basis von marktgängiger Software erstellt wurde. Es besteht im Wesentlichen aus dem Kernsystem und den verschiedenen Fachsystemen.

Alle Fachsysteme, die einen Bezug zum Bundesfernstraßennetz haben, sind hier in einer Softwareanwendung integriert. So können Informationen auf der Basis eines einheitlichen Raumdefinitionssystems abgerufen und mit den Werkzeugen des Fachsystems „Kartographie“ visualisiert werden. Alle Informationen sind mit Hilfe des Datenbankmanagementsystems verknüpfbar”(2).

A.2.d Pavement-Management-System (PMS)

PMS (Pavement-Management-System)

Anwendungsbereich:
Straßenerhaltung, Optimierung Budgetplan

Eingangsdaten von:
BISStra



Abb. 5: Kurzinformation Pavement-Management-System

Wie das Bauwerks-Management-System dient das Pavement-Management-System ebenfalls zur Optimierung der Erhaltungsplanung, jedoch bezugnehmend auf Infrastrukturstraßen, d.h. dem Straßenoberbau. Auf der Internetseite der BAST ist zu lesen: „Der Einsatz des PMS ermöglicht daher eine weitere Optimierung der Erhaltungsplanung, welche im Wesentlichen auf der Berücksichtigung verschiedener Eingabedaten beruht: Bestandsdaten, Zustandsdaten, Aufbaudaten, Erhaltungsgeschichte, Verkehrsdaten, Daten der Verkehrssicherheit und weitere nutzerrelevante Daten werden in die Auswertung mit einbezogen. Insbesondere durch den Substanzwert Bestand ist es bei den Rechenläufen des PMS möglich, neben dem Substanzwert Oberfläche, auch das Alter und die Dicke der Schichten zu berücksichtigen. Dies bietet die Möglichkeit, die Substanz bei der Erhaltung stärker zu wichten“(4).

A.3 Fazit

Es ist zu erkennen, dass sich im Laufe der letzten Jahre eine IT-Umgebung im Straßenwesen entwickelt hat, der umfassende Prozesse zu Grunde liegen. Die ständige Weiterentwicklung der einzelnen Tools weist deutlich darauf hin, dass enormes Entwicklungspotential vorhanden ist und somit die Ausarbeitung eines Systemkonzepts für ISIS einen naheliegenden nächsten Schritt darstellt. Hierbei stellen die anwachsenden Informations- und Datenmengen die größte Herausforderung dar. Ziel dieses Forschungsprojekts ist ein Systemkonzept, das diese Datenmengen effektiv konsolidiert und dem User effektiv zur Verfügung stellt.

B. Literatur und Links

1. **Landesamt für Bau und Verkehr.** *Handbuch der Bauwerksdokumentation.* Freistaat Thüringen : s.n., 06/2009. http://www.thueringen.de/imperia/md/content/tlsb/service/bauwerksdokumentation/handbuch_bauwerksdok_thueringen_stand_29_06_2009.pdf
2. **BAST.** Bundesinformationssystem Straße (BISStra). [Online]
http://www.bast.de/cln_030/nn_42256/DE/Aufgaben/abteilung-v/referat-v2/bisstra/bisstra.html?__nnn=true
3. Bauwerk – Management – System (BMS). [Online]
http://www.bast.de/cln_030/nn_42256/DE/Aufgaben/abteilung-b/referat-b4/bms/bms.html?__nnn=true
4. Pavement Management System (PMS). [Online]
http://www.bast.de/cln_030/nn_42256/DE/Aufgaben/abteilung-s/referat-s4/pms/pms.html?__nnn=true
5. Bauwerksdaten (SIB-Bauwerke). [Online]
http://www.bast.de/cln_030/nn_42256/DE/Aufgaben/abteilung-b/referat-b4/bauwerksdaten/bauwerksdaten.html?__nnn=true
6. **WPM – Ingenieure.** *SIB-Bauwerke Werbeschrift 1.8.* Neunkirchen – Heinitz : s.n., 2008.
http://www.wpm-ingenieure.de/downloads/sib_bauwerke/allgemein/sib_bauwerke_werbeschrift_v18.pdf

Anhang B: Stand der Forschung und Entwicklung zum Themengebiet „Intelligente Bauwerke“

Inhalt

A.	Forschungsansätze für die „virtuelle Baustelle“	42
A.1	Forschungsverbund ForBAU	42
A.1.a	ForBau – Beschreibung der TU München	45
A.1.b	Literatur Hinweis	45
A.2	Mefisto – Management Führung Information Simulation im Bauwesen	46
A.2.a	MEFISTO – Beschreibung der TU Dresden	47
A.2.b	Methoden von MEFISTO	47
A.3	AutobauLog	48
A.3.a	AutoBauLog – Beschreibung der RIB Information Technologies AG	48
A.3.b	Zielsetzung von AutoBauLog	49
B.	Datenformate	50
B.1	OKSTRA	50
B.2	OpenDrive und OpenCRG	51
C.	Stand der Hardware-Technik	52
C.1	Mobile Hardware	52
C.2	Einführung in die RFID-Technik	53
D.	Literatur und Links	58

A. Forschungsansätze für die „virtuelle Baustelle“

In Kapitel A dieses Anhangs wird zunächst auf verschiedene Forschungsprojekte zum Thema „virtuelle Baustelle“ eingegangen. Eine Internetrecherche hat gezeigt, dass es bereits einige Ansätze gibt, verschiedenste Informationen und Planungsgrundlagen eines Bauvorhabens zu konsolidieren, zur Verfügung zu stellen und über den gesamten Projektverlauf zu nutzen. Einige dieser Forschungsprojekte werden im Folgenden aufgeführt und erläutert.

A.1 Forschungsverbund ForBAU

Der Forschungsverbund ForBau startete am 01. Januar 2008 und beschäftigt sich mit dem durchgängigen Einsatz von EDV-Hilfsmitteln um Prozessabläufe eines Bauprojekts zwischen Planern, Konstrukteuren und den ausführenden Firmen effektiver zu gestalten. Motiviert ist dieses Vorhaben durch den Grundgedanken, gegenüber anderen EU-Mitgliedsstaaten, die mit einem erheblich geringeren Lohnniveau arbeiten können, durch Innovationen in der Bauprozessgestaltung und der Qualität der Bauabwicklung wettbewerbsfähig zu bleiben. Analog zu anderen Industrien (wie z.B. dem Schiffs- und Anlagenbau) sollen standardisierte digitale Werkzeuge verwendet werden (2).



Abb. 1: ForBAU Vision

Während die Konzeption von ISIS (Intelligente Straßeninfrastruktur) vorsieht, Informationen aus Planung und Bau zu konsolidieren und für die Prozesse der Bauwerksprüfung bereitzustellen, zielt ForBau im Wesentlichen auf die Planungs- und Ausführungsphase eines Bauvorhabens ab. Hierbei liegen die gleichen Überlegungen zu Grunde wie bei der Konzeptgestaltung für ISIS: es sollen alle vorhandenen Informationen, die während der Planungs- und Bauphase erstellt werden in einem gemeinsamen Pool (ein Produktdatenmanagementsystem) konsolidiert und allen beteiligten Personen zur Verfügung gestellt

werden. Es sollen jedoch nicht nur die herkömmlichen Daten wie beispielsweise 2D-Zeichnungen und Vertragswerke zusammengetragen werden, sondern innovative Technologien verwendet werden.



Abb. 2: Struktur der ForBAU-Verbundes

Wie bei ISIS sollen 3D-Modelle bei ForBAU eingesetzt werden. Hier dienen die Modelle jedoch nicht als Informationsbasis, an die alle weiteren Informationen angehängt werden, sondern vielmehr als Planungsgrundlage, um den Konstrukteuren frühzeitig Mängel in der Planung aufzuzeigen und diese noch während der Planung zu korrigieren.

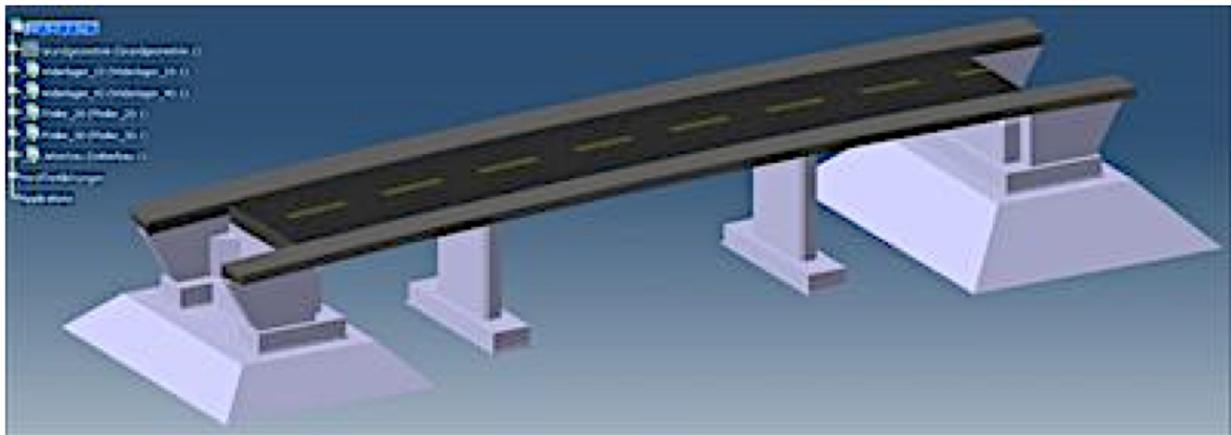


Abb. 3: Parametrisches 3D-Modell einer Brücke

Auch RFID wird bei ForBAU eingesetzt. RFID findet bei der Nachverfolgung von Bauteilen Einsatz, so dass beispielsweise Betonfertigteile von der Fertigung bis zum schlussendlichen Einbau vor Ort nachverfolgt und überwacht werden können.



Abb. 4: Gekennzeichnetes Betonteil

Neben diesen aufgeführten Technologien werden desweiteren Simulationen von Baustellenabläufen, Laserscanning im Vermessungswesen und Augmented Reality (Einblendung virtueller Modelle in die reale Welt) aufgeführt, die nicht dem Systemkonzept von ISIS korrespondieren.

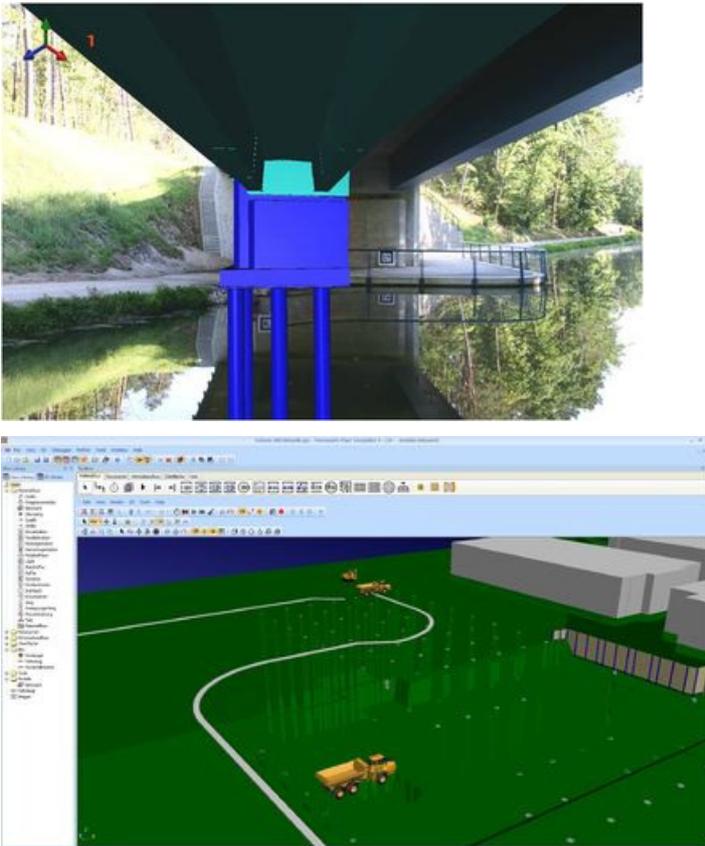


Abb. 5: Weitere ForBAU-Themen – Augmented Reality und Simulationen

A.1.a ForBau – Beschreibung der TU München

Auf der Internetseite von ForBAU wird das Projekt wie folgt beschrieben:

„Bei ForBAU handelt es sich um einen Zusammenschluss von 7 Lehrstühlen der TU München, der Universität Erlangen-Nürnberg, der Hochschule Regensburg und vom Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrttechnik (DLR). Unterstützt wurde die Forschungsstelle von 37 Industriepartnern, die sich aus Bauunternehmen, Planungs- und Ingenieurbüros, Baumaschinenherstellern und IT-Partnern zusammen.

Ziel des Forschungsverbundes ist die Erarbeitung eines Konzeptes zur ganzheitlichen Abbildung eines komplexen Bauvorhabens in einem digitalen Baustellenmodell. Es soll sämtliche Daten hinsichtlich der Planung, Vermessung, Arbeitsvorbereitung, Buchhaltung sowie dem Fortschritt der Baustelle selbst berücksichtigen und in einer integrativen Plattform zusammenführen. Digitale Werkzeuge bilden die Basis für dieses ganzheitliche Konzept

Die Hauptaufgaben des Forschungsverbundes lauten:

- durchgängige 3D-Modellierung und des Bauwerks, der Baustelle und der Bauprozesse mit Nutzung der Modelldaten über alle Prozessstufen,
- zentrale Datenverwaltung und Entwicklung von Strategien zur modellbezogenen Datenhaltung und kontextabhängigen Aufbereitung für die verschiedenen Nutzer des Modells (PDM),
- dynamische Ablaufsimulation der Bauprozesse zur Validierung der statischen Projektpläne,
- ganzheitliche Optimierung der Prozessabläufe auf der Baustelle unter Berücksichtigung der Subunternehmereinbindung,
- Integration von Realdaten der Baustelle in das Modell.

Zur Realisierung dieser Aufgabenstellung ist ein Kerngedanke des Projektes die frühzeitige Integration vorhandener innovativer Techniken mit wissenschaftlichen Methoden in ein standardisierbares Prozessmodell der Baustellenabwicklung, das über den gesamten Projektverlauf genutzt und weiter bearbeitet wird.

Bisher sind derartige Ansätze nur wenig verbreitet und auch nur unzureichend in den gesamten Bauablauf integriert. Vor allem im Bereich der CAD-Modellierung würden sich durch eine prozessübergreifende Nutzung über den gesamten Lebenszyklus eines Bauwerks deutliche Optimierungspotenziale ergeben“ (1).

A.1.b Literatur Hinweis

Weitere Ergebnisse des Forschungsprojektes ForBAU sind in „Digitale Baustelle – innovativer Planen, effizienter Ausführen: Werkzeuge und Methoden für das Bauen im 21. Jahrhundert“ nachzulesen, herausgegeben von Willibald Günthner, André Borrmann im Springer Verlag (auch nachzulesen in Google books).

Darüber hinaus sind zwei Studien entstanden die käuflich erworben werden können. Zum eine „Datenmanagement im Bauwesen“ und zum anderen „CAD-Modellierung im Bauwesen“.

A.2 Mefisto – Management Führung Information Simulation im Bauwesen

Das Forschungsprojekt MEFISTO (Management – Führung – Information – Simulation im Bauwesen) lief im Zeitraum von April 2009 bis März 2012. Angetrieben von dem Gedanken Abstimmungsprobleme bei Bauvorhaben zwischen den Projektbeteiligten zu reduzieren und eine einheitliche Sichtweise auf das Bauvorhaben zu erzeugen, ist der Grundgedanke des Forschungsprojekts, eine gemeinsame Arbeitsplattform zu konzipieren.

Hierbei werden die einzelnen bestehenden Fachplanungen zusammengeführt und zum gemeinsamen Controlling bereitgestellt. Anders als bei ISIS wird somit nicht ein 3D-Modell verwendet, an das alle vorhandenen Informationen angefügt werden, sondern es werden alle Fachmodelle betrachtet und die gebündelten Informationen weitergeleitet.

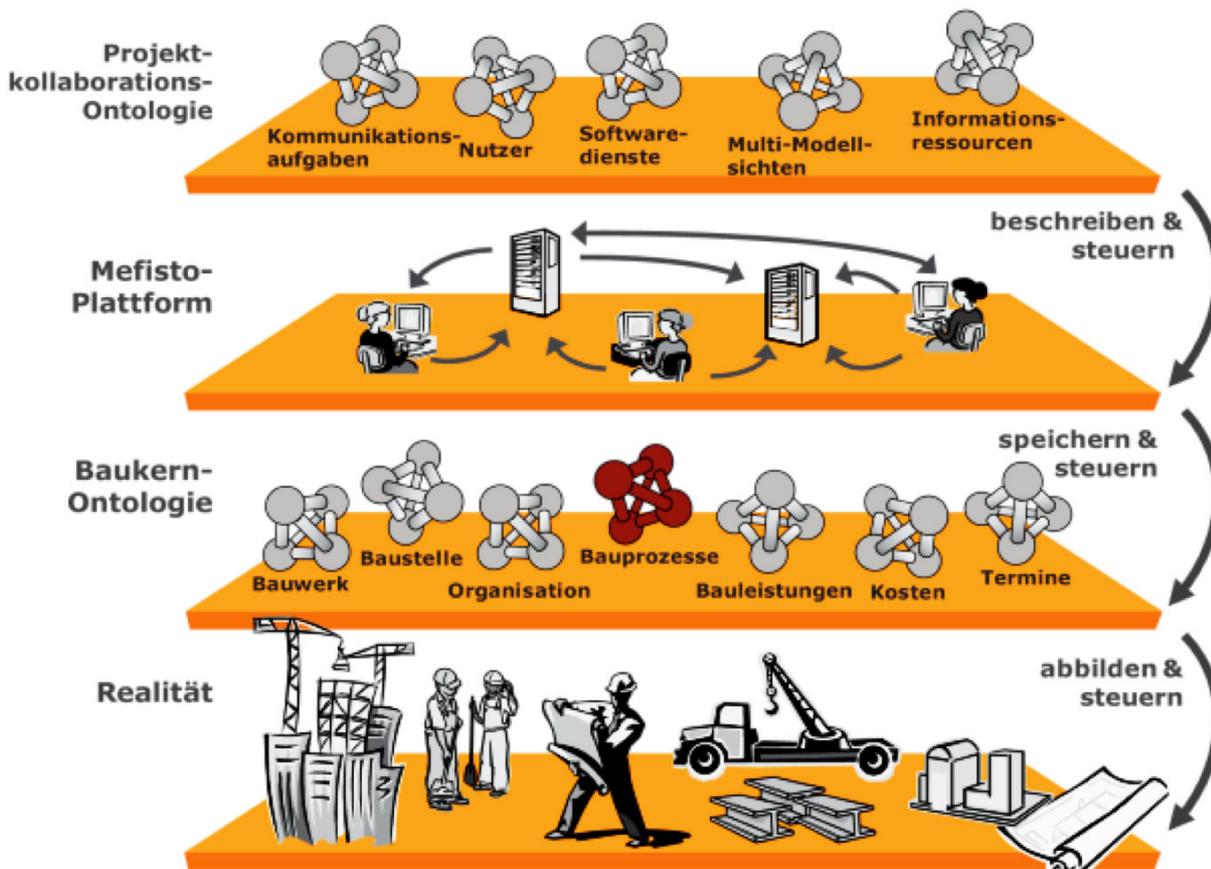


Abb. 6: Abbildung der realen Bauprozesse in Modellierungsbereichen und Informationsverwaltung bei MEFISTO

Wie auch bei ISIS werden bei MEFISTO alle vorhandenen Informationen zu einem konsolidierten Datenspeicher zusammengefahren. Jedoch werden nicht nur die Ergebnisse und Exporte aus den Fachsystemen verwendet, sondern die Expertensysteme werden mit Webservice-Schnittstellen direkt auf der MEFISTO-Plattform miteinander vernetzt.

A.2.a MEFISTO – Beschreibung der TU Dresden

Auf der Internetseite von MEFISTO wird das Projekt wie folgt beschrieben:

Das Ziel des BMBF Leitprojekts MEFISTO ist die Entwicklung einer Plattform für die Abwicklung von Bauprojekten. In Form eines Managementführungssystems ermöglicht dieses zeit-nah aktuelle Projektdaten zusammenzuführen und Simulationen auf unterschiedlichen Abstraktionsebenen zu erstellen. Hierdurch werden komplexe Zusammenhänge visuell verständlich gemacht und ein dynamisches Risikomanagement ermöglicht. Die daraus resultierende hohe Transparenz schafft zusammen mit der Möglichkeit, zurückliegende Entscheidungsgrundlagen sichtbar zu machen, eine gemeinsame Verständnisebene zwischen den Projektpartnern. In der Zusammenarbeit wirkt dieses Vorgehen vertrauensbildend, vermeidet Missverständnisse und fördert Synergien und Wissensakkumulation zwischen den beteiligten Fachleuten.

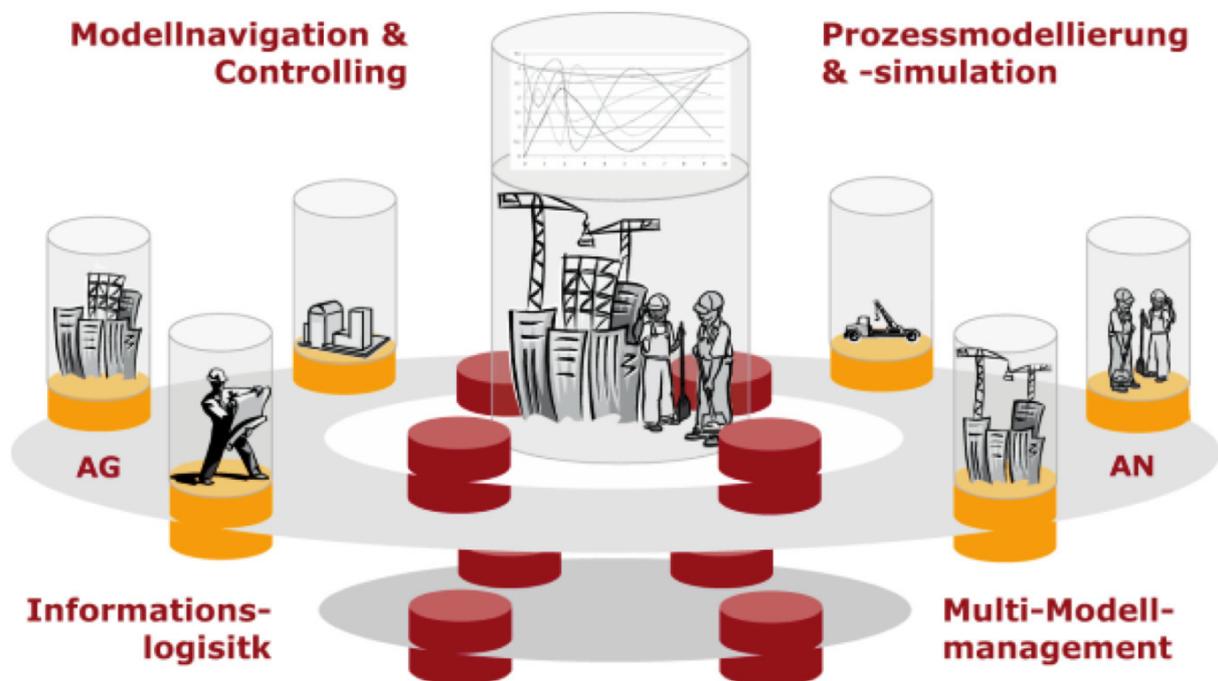


Abb. 7: Zusammenführung der Fachanwendungen von AG und AN über Web-Services bei MEFISTO

A.2.b Methoden von MEFISTO

Die zu entwickelnde Plattform besteht aus einem hierarchisch strukturierten Modellsystem von Prozess-, Produkt- und Logistikmodellen, in dem Informationsquellen, Datenbanken und existierende Softwarewerkzeuge zur Modellbildung, Analyse, Simulation und Evaluation integriert werden können. Es wird ein Planungs-, Steuerungs- und Entscheidungssystem geschaffen, das Prozesse und ihre Interaktionen transparent macht.

Wesentliche Merkmale der Plattform sind:

- Eine integrale, an den Benutzer angepasste Sicht auf die verschiedenen Arbeitsprozesse und Arbeitsweisen.

- Wissensmanagement, das sich auf ein hierarchisches Ontologiemodell für den Bau abstützt und es ermöglicht, die semantischen Beziehungen zwischen Bau- und Prozesselemente zu beschreiben und zu nutzen.
- Die Verfolgung von Steuerungsgrößen und Kennwerten mit grafischen Inspektions- und Navigationswerkzeugen.
- Ein dynamisches Risikomanagement, das Projektzustände kontinuierlich und zeitaktuell analysiert und durch Simulation sichere Prognosen ermöglicht.
- Vertikale Verdichtung und Expansion der Modelle über die unterschiedlichen Führungs- und Abstraktionsebenen hinweg.
- Unterstützung der kooperativen Zusammenarbeit verschiedener am Bauprozess beteiligter Akteure
- durch neue modellbasierte und kollaborative Werkzeuge.
- Zusammenführen unterschiedlichster am Bauprozess beteiligter Gruppen und Personen durch Benutzerschnittstellen, die individuelle und kontextabhängige Sichten auf den gemeinsamen Arbeitsprozess ermöglichen (2).

A.3 AutobauLog

Ebenfalls die Verbesserung des Baustellenmanagements strebt das Projekt AutoBauLog an. Hierfür werden Baumaschinen mit Computern und Sensorik ausgestattet, um untereinander zu kommunizieren und automatisiert Aufgaben abzuarbeiten. Geländedaten und Veränderungen des Geländes werden hierfür direkt mit einem zentral gesteuerten 3D-Modell abgeglichen, um sich der jeweiligen Bausituation anzupassen.

Zwar zielt AutoBauLog auf ein anderes Zielgebiet hin, als es für ISIS angestrebt wird, jedoch kann dieses Forschungsprojekt interessante Aufschlüsse zur Auftragsverwaltung für den Straßenbetrieb geben. Dieses Themengebiet soll während der Konzeption als Ausblick behandelt werden.

Insbesondere die Kommunikation zwischen Maschinen bzw. mobilen Endgeräten und einem Datenserver wird bei der Auftragsverwaltung im Straßenbetrieb eine große Rolle spielen.

A.3.a AutoBauLog – Beschreibung der RIB Information Technologies AG

Auf der Internetseite von AutoBauLog wird das Projekt wie folgt beschrieben:

Das AutoBauLog-Projekt strebt grundlegende, wirtschaftlich nachhaltige und durchgreifende Lösungen zur signifikanten Verbesserung des Baustellenmanagements an.

Die Projekt-Ergebnisse werden wesentliche Beiträge leisten zur Beherrschung der Komplexität großer Infrastrukturvorhaben, zur Reduzierung des für große Tiefbauprojekte benötigten Zeitbedarfs und, bei mindestens gleichbleibender Qualität, zur nennenswerten Verringerung der Kosten großer Bauprojekte.

Das Konsortium autobauLog, bestehend aus den Partnern RIB, Topcon, Drees&Sommer, Züblin, KIT, VDC und der Universität Hohenheim, haben sich mit dem Projekt folgendes Ziel gesetzt:

Zielsetzung des Vorhabens ist die Erforschung und Gestaltung eines ganzheitlichen IT-basierten Baustellenleitstandes zur Unterstützung der Planung und Steuerung der Baustelle. Abweichungen des Soll-Zustands sollen dabei möglichst früh erkannt werden, damit Gegenmaßnahmen (mit Hilfe einer Entschei-

dungsunterstützung) ergriffen und somit die Einflüsse von Störungen verhindert oder minimiert werden können.

A.3.b Zielsetzung von AutoBauLog

Hinsichtlich der Zielsetzung heißt es auf der AutoBauLog-Homepage:

Zielsetzung des Vorhabens ist die Erforschung und Gestaltung eines ganzheitlichen IT-basierten Baustellenleitstandes zur Unterstützung der Planung und Steuerung der Baustelle. Abweichungen des Soll-Zustands sollen dabei möglichst früh erkannt werden, damit Gegenmaßnahmen (mit Hilfe einer Entscheidungsunterstützung) ergriffen und somit die Einflüsse von Störungen verhindert oder minimiert werden können.

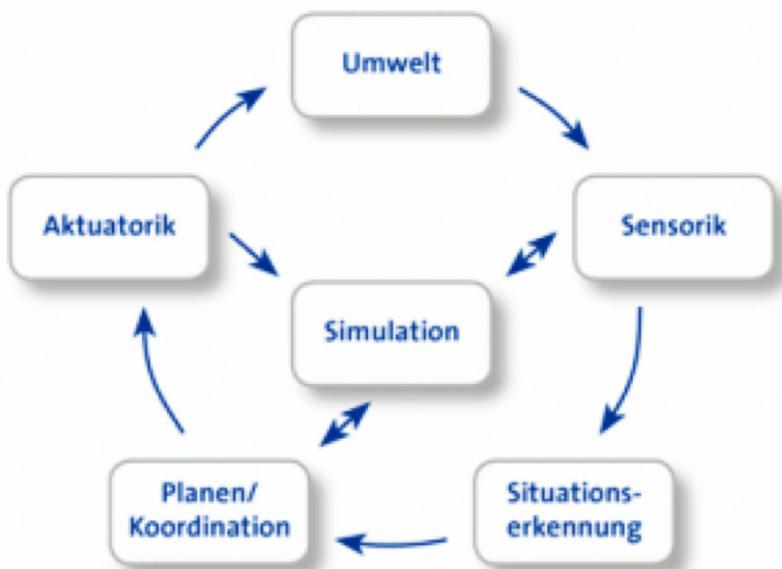


Abb. 8: AutoBauLog – Regelkreis(3)

Die Verbesserungen sollen insbesondere durch folgende Punkte erreicht werden:

- Rollenorientierte Informationsbereitstellung
- Leitstand basierte Koordination und Visualisierung
- Übertragung von geeigneten Konzepten der Digitalen Fabrik in die Bauwirtschaft
- Schnellere Erkennung von Soll-/Ist-Abweichungen
- Entscheidungsunterstützung

Die Ergebnisse des Projekts werden auf einer realen Großbaustelle auf ihre Praxistauglichkeit überprüft (3).

B. Datenformate

Ein wesentlicher Punkt, der bei der Erstellung eines Systemkonzepts für ein Informationssystem betrachtet werden muss, sind die Austausch- bzw. Datenformate. Alle zusammengetragenen Informationen wie beispielsweise 2D-Zeichnungen, Tabellen, Statiken, Vertragsgrundlagen, 3D-Modelle usw. müssen in einem System konsolidiert werden und gemeinsam verwaltet werden. Dies setzt voraus, dass all diese Daten erkannt werden und durch das System gelesen werden können. In der Forschung gibt es Ansätze, Datenformate zur Verfügung zu stellen, die auf Elementen des Straßenwesens basieren und die Möglichkeiten bereitstellen, auf vielfältige Weise Straßen und Infrastrukturelemente zu beschreiben. Allerdings ist es für den Einsatz von solchen Datenformaten notwendig, dass die Expertensysteme, aus denen die Informationen, die konsolidiert werden sollen, ihre generierten Daten in diesem Format abspeichern können.

In dem Systemkonzept von ISIS wird auf solche Datenformate nur beim Datenimport eingegangen. D.h. dass Daten wie beispielsweise aus SIB-Bauwerke, die im OKSTRA-Format vorliegen, von ISIS eingelesen und verwaltet werden können. Eine Exportschnittstelle ist jedoch in ISIS noch nicht vorgesehen, da die Konvertierung aller integrierten Informationen in ein solches übergreifendes Datenformat den Rahmen des Forschungsprojekts überschreitet. Für zukünftige Forschungsprojekte ist die Konzeptionierung einer solchen Schnittstelle unbedingt empfehlenswert. Daher sollen an dieser Stelle verfügbare Datenformate, die auf dem Straßenwesen beruhen genannt werden.

B.1 OKSTRA

Bei dem *Objektkatalog für das Straßen- und Verkehrswesen* (kurz OKSTRA) handelt es sich um eine Strukturierungsvorgabe für die Daten bzw. Objekte, die das Straßen- und Verkehrswesen betreffen. Ziel des Objektkataloges ist es einheitliche standardisierte Informationenstruktur in den verschiedenen IT-Anwendungen des Straßen- und Verkehrswesens zu verwenden. Dies soll den Daten- und Informationsaustausch optimieren. Dabei wird z.B. festgelegt wie die einzelnen Informationen benannt, formatiert und strukturiert sein müssen, um sie leicht auffindbar zu machen.

Der OKSTRA® wurde mit dem Allgemeinen Rundschreiben Straßenbau 12/2000 des Bundesverkehrsministeriums für den Bereich der Bundesfernstraßen offiziell eingeführt. Seit dieser Einführung wird der Objektkatalog kontinuierlich verändert und erweitert, um ihn an die aktuelle technische Entwicklung anzupassen. Bei Bedarf werden deshalb neue OKSTRA® – Versionen veröffentlicht. Da es sich um einen offenen Standard handelt, kann jeder einen Änderungsantrag stellen, auf dessen Grundlage Änderungen und Erweiterungen vorgenommen werden.

Die Modellierung des OKSTRA® erfolgt in zwei Schritten: Zunächst werden die OKSTRA®-Objekte grafisch dargestellt, wobei NIAM-Diagramme zum Einsatz kommen. Die grafische Modellierungssprache NIAM ermöglicht eine sehr intuitive Darstellung von Objekten und ihren Beziehungen untereinander. Das eigentliche Referenz-Datenschema des OKSTRA® wird dann textlich formuliert. Dazu wird EXPRESS (ISO 10303-11) verwendet, ein lexikalischer Standard zur Modellierung von Objektklassen mit ihren Eigenschaften und Beziehungen untereinander.

Zur genauen Definition werden die OKSTRA®-Objekte mit ihren Attributen und Relationen formal in einem Datenschema beschrieben. Dieses Datenschema ist in mehrere Teilbereiche gegliedert, die in der folgenden Abbildung aufgeführt sind (dargestellt ist die OKSTRA®-Version 1.009):

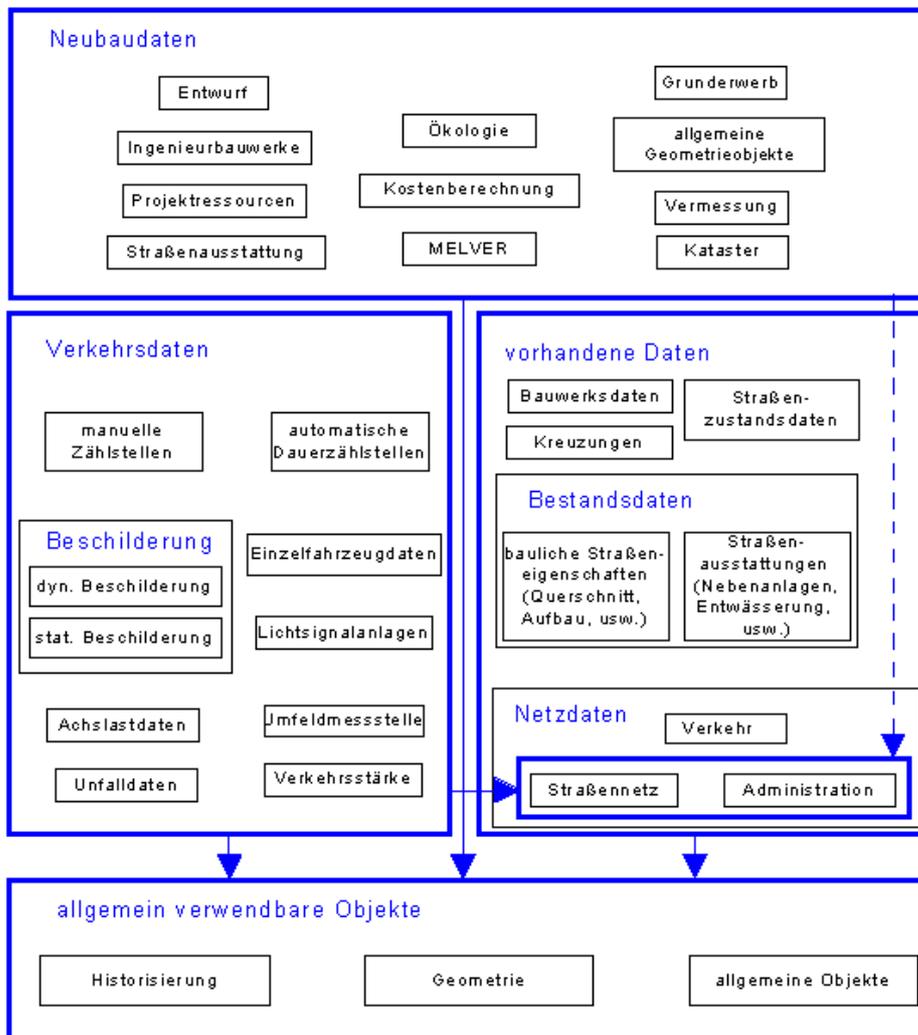


Abb. 9: Datenschema OKSTRA (siehe <http://www.okstra.de/>)

B.2 OpenDrive und OpenCRG

Das Datenformat OpenDrive ist ein weiteres Datenformat aus dem Bereich des Straßenwesens und wurde hauptsächlich durch die Automobilindustrie entwickelt. Ausgangsbasis für die Ausarbeitung des Datenformats war die Feststellung, dass alle Straßeninformationen, die für die verschiedensten Simulationen zusammengetragen und als Ausgangsdaten verwendet wurden, nahezu die gleichen Informationen enthielten, jedoch ständig in anderen Datenformaten bereitgestellt wurden. Hieraus entstand das Datenformat OpenDrive.

Bei OpenDrive geht es hauptsächlich um die Oberflächenbeschaffenheit und die Zusammensetzung der Straße. Dies als Grunddaten nutzend werden die Daten mit Echtzeitdaten (z.B. Verkehrsaufkommen) ergänzt, um Simulationen zu erstellen. Die für die Bauindustrie nötigen Bauteilinformationen sind dabei nicht enthalten oder gehen verloren.

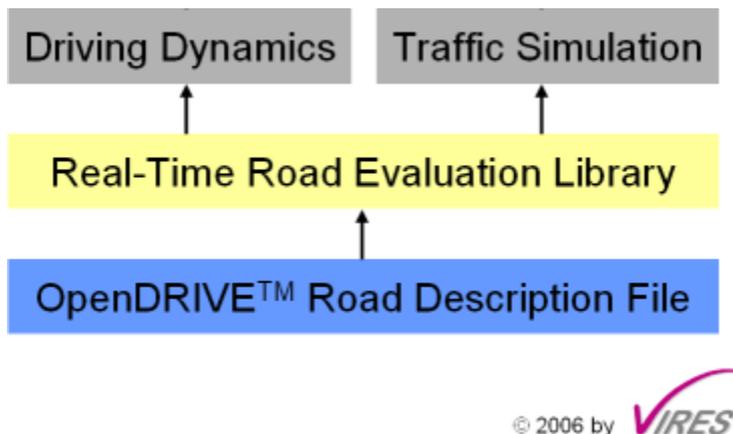


Abb. 10: OpenDrive-Daten und Echtzeitdaten (siehe <http://www.opendrive.org/>)

Bei dem OpenCRG Format geht es um eine noch genauere Beschreibung der Oberflächenbeschaffenheit um z.B. eine exakte Simulation von dem Verhalten von Fahrzeugreifen auf dem jeweiligen Untergrund zu ermöglichen.

C. Stand der Hardware-Technik

Neben den Prozessabläufen und der verwendeten Software, sowie Datenschnittstellen, ist noch ein letzter wesentlicher Punkt bei der Konzeption von ISIS relevant: die Hardware, die zur Datenerfassung vor Ort am Bauwerk verwendet werden sollen. Hierbei sind sowohl tragbare Computer (z.B. Notebooks oder iPads) als auch RFID-Technik im Allgemeinen von Interesse.

C.1 Mobile Hardware

Um zu ermöglichen, dass Schäden an Bauwerken direkt in das System eingespeist werden können, werden mobile Endgeräte wie Tablet PCs oder Handhelds benötigt, die es ermöglichen, Schadensinformationen vor Ort festzuhalten und in strukturierter Form an das Informationssystem weiterzuleiten. Neben der Mobilität fallen hier Faktoren wie Gewicht, Anwenderfreundlichkeit, Datensicherheit, Akkulaufzeit, Aufnahmequalität der integrierten Kamera, Robustheit für den Outdoor-Einsatz und Ähnliches ins Gewicht.

„Ein Tablet-Computer (englisch tablet ‚Schreibtafel‘, US-engl. tablet ‚Notizblock‘) oder Tablet-PC ist ein tragbarer, flacher Computer in besonders leichter Ausführung mit einem Touchscreen-Display, anders als beim Notebook PC ohne ausklappbare Tastatur. Der Begriff ist nicht markenrechtlich geschützt.

Aufgrund der leichten Bauart und der Touchscreenbedienung zeichnen sich Tablet-PCs durch eine einfache Handhabung aus, die eine Bedienung ähnlich wie bei einem Handy ermöglicht.

Der berührungsempfindliche Bildschirm wird mit dem Finger oder mit einem Stift bedient. Zur Eingabe von Text erscheint wo notwendig eine Tastatur auf dem Display.

Diese Geräteklasse hat oft proprietäre Ein-Chip-Systeme mit Embedded-Betriebssystemen.

Konzepte für diese Gerätegattung existieren bereits länger, eines der ersten Geräte dieser Art war 1993 das Newton MessagePad von Apple, das allerdings keine große Marktbedeutung erringen konnte. Das

erste Gerät dieser Gattung, welches in größeren Stückzahlen verkauft wurde, ist das 2010 vorgestellte Apple iPad.

Tablet-Computer bestehen aus einer Kombination einer geschlossenen (proprietären) Hardwarearchitektur und einem angepassten Embedded-Betriebssystem.

Als Hardware kommen damit verschiedene Prozessorarchitekturen, wie die x86- oder die ARM-Architektur in Frage. Durch die angepassten Betriebssysteme ist der Bedarf an Speicherplatz und Hauptspeicher geringer als bei vergleichbaren Netbooks. Anstelle einer Festplatte haben Tablet-PCs Flashspeicher als Massenspeicher. Als Betriebssysteme kommen dabei etwa das iOS von Apple, oder angepasste Linux-Systeme wie Android von Google oder MeeGo zum Einsatz.

Vom Funktionsumfang entsprechen diese Geräte eher einem Smartphone als einem Netbook/PC, da sich in der Regel ausschließlich speziell freigegebene Software nutzen lässt und beispielsweise iOS für iPad derzeit nur in engen Grenzen mehrere Anwendungen parallel laufen lassen kann (Multitasking).

Der Funktionsumfang der Tablet-Computer kann durch Zusatzprogramme (kurz Apps von engl. Application) erweitert werden.“ (4)

C.2 Einführung in die RFID-Technik

Der folgende Abschnitt gibt einen groben Überblick über die RFID-Technologie. Weitergehende Informationen sind in Anhang D zusammengestellt.

Die automatische Identifikation (Auto-ID) ist aus Gründen der stark wachsenden Anforderungen nach schneller, kostengünstiger und integrierter Datenerfassung für die Bereiche Verwaltung, Logistik und die zugehörige gesamte Beschaffungskette unverzichtbar geworden. (4)

Die Auto-ID-Technologie unterteilt sich je nach Anwendungsgebiet in:

- **Barcode-Systeme**
Insbesondere im Einzelhandel hat sich die vor 30 Jahren eingeführte Europäische Artikelnummerierung (EAN) mittels Strichcode durchgesetzt. (4)
- **Klarschriftleser**
Diese können mit Hilfe der Optical-Character-Recognition-Technologie (OCR) spezielle und zunehmend auch allgemeine Schriften auswerten und nahezu fehlerfrei in ein EDV-System übertragen. (4)
- **Biometrische Systeme**
Diese Technologie wird explizit nur im Zusammenhang mit Lebewesen eingesetzt. Dabei werden spezifische und einzigartige Merkmale wie Fingerabdruck, Augeniris oder Gesichtszüge mittels entsprechender Sensoren elektronisch erfasst, analysiert und ausgewertet. (4)
- **Chipkarten**
Bei dieser Anwendung dienen ein in eine Plastikkarte – meist im Kreditkartenformat – eingebauter Datenspeicher und ein kleiner Mikrocontroller als zentrale Elemente. Zum Betrieb werden Chipkarten in ein Lese-/Schreibgerät eingesteckt, das mit Kontaktfedern eine elektrische Verbindung zu den Kontaktflächen der Chipkarte herstellt und Daten austauscht. (4)
- **RFID**

Die Abkürzung **RFID** steht für **R**adio-**F**requenz-**I**dentifikation. Diese Technologie ermöglicht es, ruhende oder bewegte Objekte berührungslos und ohne Sichtkontakt unter Nutzung hochfrequenter Funkwellen eindeutig zu identifizieren. RFID sind im strengeren Sinne Transponder-basierte Systeme, welche resul-

tierend aus vielfältigen Anforderungen der einzelnen Einsatzgebiete sich in verschiedene Techniken und Technologien unterteilen lassen.

Bauformen können sein: Disk, Münze, Glaskapsel, Plastikgehäuse, Chipkarte, Coil-on-Chip, Uhr etc.



Abb. 11: RFID-Chips (<http://www.rfid-webshop.com>)

Die RFID-Technik ist zum Beispiel in den folgenden Anwendungsgebieten, häufig auch ohne Kenntnis, anzutreffen:

- Zugangskontrollen
- Zeiterfassung
- Waren- und Bestandsmanagement
- Containerlogistik
- Mautsysteme
- Tieridentifikation
- Personenidentifikation

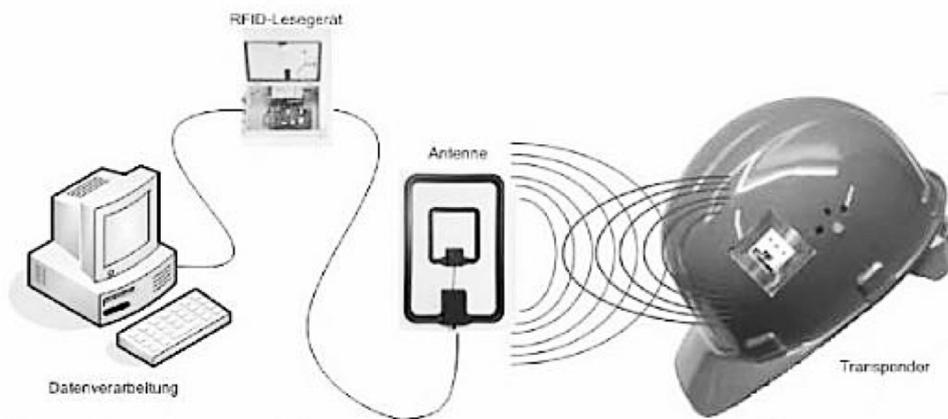


Abb. 12: Beispiel für RFID-Elemente, Personenerkennung (5)

Die über die reine Identifikation hinausgehenden technischen Möglichkeiten haben sehr unterschiedlich ausgeprägten RFID-Systeme entstehen lassen, die in vielen Bereichen bereits heute ältere Identifizierungs-Technologien, wie z. B. Bar-Code-Systeme, abgelöst haben.

Es lassen sich vier wesentliche Aspekte nennen, um den Vorteil der RFID-Technik gegenüber anderen Auto-ID-Techniken zu beschreiben (6):

1. RFID-Tags können, anders als die Kennzeichnungsträger anderer Auto-ID-Systeme, **sichtkontaktfrei** ausgelesen werden. Durch die hieraus folgende Möglichkeit des verkapselten Einbaus eines RFID-Tags können Beschädigungen des Systems verhindert werden. Außerdem ist ein RFID-System aus diesem Grund unempfindlich gegenüber einer Verschmutzung des Kennzeichnungsmittels. Hieraus ergibt sich, dass RFID-Systeme auch für den Einsatz im Baubereich geeignet sind.
2. Ein weiterer Vorteil eines RFID-Systems ist die Möglichkeit der gleichzeitigen Erkennung mehrerer Transponder (**Pulkerfassung**) in stärkerem Ausmaß als in anderen Auto-ID-Systemen. So kann eine Vielzahl von Objekten nahezu zeitgleich und ggf. ohne manuellen Aufwand erfasst werden.
3. Ferner können **Daten** je nach Chip auf RFID-Transpondern gespeichert und in den Prozessen **verändert oder ergänzt** werden. So können autonome Systeme entwickelt werden, die selbstständig, d. h. unabhängig von EDV-Netzwerken, reagieren und entscheiden können.
4. Schließlich bietet die RFID-Technik die Möglichkeit, zusätzlich zur reinen Identifikation über an den RFID-Tag angeschlossene bzw. dort integrierte Sensoren bei der Erfassung auch **Sensordaten** zu berücksichtigen.

Die RFID-Technologie wird seit Mitte des letzten Jahrhunderts (7) aus damaliger Notwendigkeit der Freund-Feind-Erkennung von Flugzeugen kontinuierlich in verschiedensten Anwendungsbereichen weiterentwickelt.

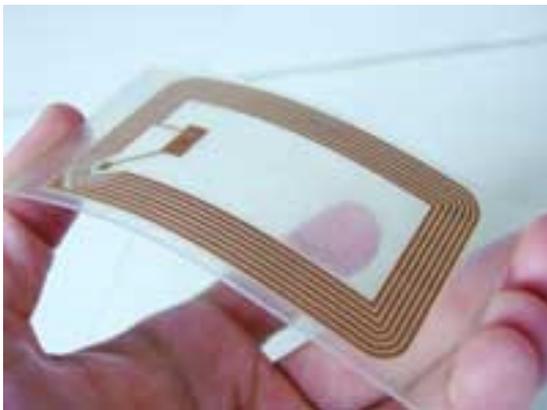


Abb. 13: Transparenter RFID-Transponder (www.rfid-ready.de)

Bereits in den 60er Jahren kamen erste Vorläufer der heutigen Technik auf den Markt, z.B. einfache Etiketten zur Diebstahlsicherung (1-Bit-Tags). Der Durchbruch für eine Vielfalt weiterer Anwendungen kam jedoch erst nach weiterer technischer Entwicklung in den 80er Jahren. Standardisierungen und damit die Öffnung eines weltweiten Marktes setzte im Laufe der 90er Jahre ein. RFID ist also eine noch verhältnismäßig junge Technologie, deren technische Entwicklung und Verbreitung erst vor relativ kurzer Zeit begonnen hat. (8)

Wissenschaft und Forschung arbeiten daran, die Leistungsfähigkeit von RFID-Technik weiter zu verbessern und neue Einsatzmöglichkeiten zu identifizieren.

Im Bauwesen werden seit einigen Jahren die Verbesserungspotenziale einzelner Prozessketten untersucht und so die Entwicklung der eingesetzten Technologie weiter vorangetrieben.

Die Forschungsprojekte des Clusters „RFID-Technologie im Bauwesen“ (ARGE RFIDimBau) befassen sich seit 2006 mit der langfristigen, nachhaltigen Qualitätsverbesserung und Kostenoptimierung von Bauwerken. Entlang der Wertschöpfungskette der Bau- und Immobilienwirtschaft werden zur Prozessoptimierung neue IT- sowie Auto-ID-unterstützte Methoden zur echtzeitfähigen und medienbruchfreien Erfassung, Kontrolle, Steuerung und Dokumentation von Prozessen entwickelt. Ein Fokus liegt hierbei beim Einsatz der RFID-Technik. (6)

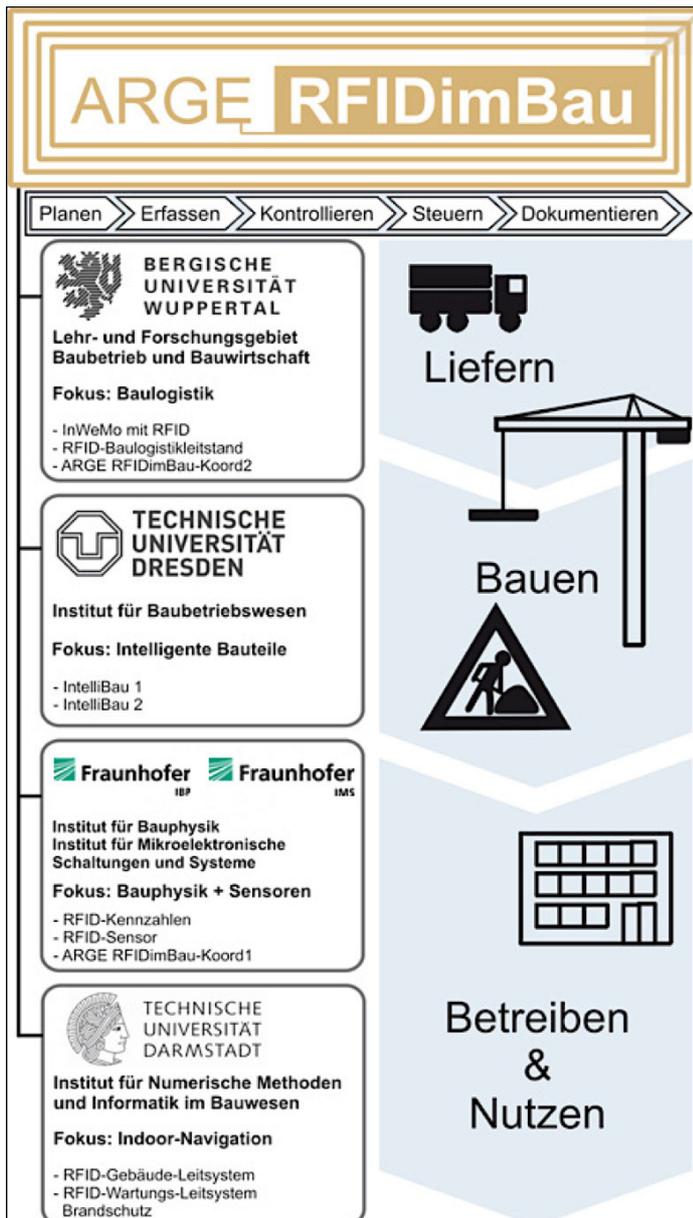


Abb. 14: Forschungspartner der Arge „RFIDimBau“ (6)

Die Technische Universität München hat im Rahmen eines Forschungsprojektes den RFID-Einsatz in der Baubranche (Titel der Arbeit: *Entwicklung eines RFID-Systems mit mobilen Gates auf Baustellen zur schnellen Identifikation und Verfolgung von Betriebsmitteln zwischen Baustellen und Werken*) die ver-

schiedenen Möglichkeiten des Einsatzes von RFID im Baubetrieb wissenschaftlich untersucht und mit dem Fazit abgeschlossen, die RFID-Technik biete umfangreiche Potenziale für die Bauindustrie. (9)

Wegen der rauen Umgebungsbedingungen und der komplexeren Prozesslandschaft kann von einem flächendeckenden Einsatz der RFID-Technik in der Baubranche jedoch noch nicht gesprochen werden. (9)



Abb. 15: Intelligente Bauprozesse mit RFID (news.directindustry.de)

Andererseits steht aufgrund des starken Wettbewerbs sowie dem starken Preiskampf im Bausektor und der Verwendung von veralteten EDV- und Logistikprozessen die Bauwirtschaft vor einem tiefgreifenden Strukturwandel. Die RFID-Technologie bietet hierbei großes Optimierungs- und Wertschöpfungspotential. Die klassischen Identifikationsmethoden mittels Barcode oder Lieferscheindaten sind sehr personalintensiv, oft nicht hinreichend aktuell, fehleranfällig und deshalb hier nicht geeignet. (9)

D. Literatur und Links

1. **ForBAU**. Forschungsverbund Virtuelle Baustelle (ForBAU). [Online]
http://www.fml.mw.tum.de/forbau/index.php?Set_ID=18. (www.ForBAU.de)
„Datenmanagement im Bauwesen“ (http://www.fml.mw.tum.de/forbau/index.php?Set_ID=495)
„CAD-Modellierung im Bauwesen“ (http://www.fml.mw.tum.de/forbau/index.php?Set_ID=496).
2. **TU Dresden, Institut für Bauinformatik**. Mefisto-Bau. [Online] <http://www.mefisto-bau.de/objective>. (www.mefisto-bau.de)
3. **Konsortium autobalog**. autobalog – Autonome Steuerung in der Baustellenlogistik. [Online]
<http://www.autobalog.de/>. (www.autobalog.de)
4. **Wikipedia**. http://de.wikipedia.org/wiki/Tablet_PC. [Online]
5. **Axel Sikora, Prof. Dr.** RFID – Die technischen Grundlagen. [Online] 5. April 2006.
http://www.tecchannel.de/test_technik/grundlagen/431196/rfid_die_technischen_grundlagen.
6. **Manfred Helmus, Selcuk Nisancioglu, Berit Offergeld, Oliver Sachs**. *Arbeitsschutz im Bauwesen mit RFID (Forschungsbericht)*. 2010. Erhältlich bei Google Books.
7. **Arge RFID-Technologie im Bauwesen**. [Online] [Zitat vom: 6. September 2011.]
<http://www.rfidimbau.de>.
8. **Roberti, Mark**. The History of RFID Technology. [Online]
<http://www.rfidjournal.com/article/view/1338>.
9. **Michaelis, Dipl.-Ing. Wolfgang**. FGF Newsletter online 1/2009, "RFID – Funktion und Bedeutung". [Online] http://www.fgf.de/publikationen/newsletter/einzel/NL_09-01/FGF-NL-online_1-09_RFID.pdf.
10. **Günther, W.A. / Schneider, O.** *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*.

Anhang C: Modellbasiertes Arbeiten und 3D-Modelle

Inhalt

A.	Modellbasiertes Arbeiten und 3D-Modelle	60
A.1	Grundlagen des modellbasierten Arbeitens	60
A.2	3D-Modell	60
A.3	4D-Modell	61
A.4	Building Information Modeling	61
A.5	Detaillierungsgrad von 3D-Modellen	62
A.6	Datenschnittstellen	64
A.7	Datenauswertung mit Bauwerksinformationssystemen	64
A.8	Kommunikation	65
A.9	Visualisierung	65
A.10	Videofilm	65
A.11	360°-Bilder	65
A.12	3D-Modelle und Google Earth	66
B.	Literatur und Links	67

A. Modellbasiertes Arbeiten und 3D-Modelle

A.1 Grundlagen des modellbasierten Arbeitens

Das modellbasierte Arbeiten beinhaltet alle Arbeitsweisen, deren Grundlage ein 3D-Modell bildet. Darüber hinaus kann das Modell mit zusätzlichen Aspekten, die im weiteren Zusammenhang als Bauwerksinformationen bezeichnet werden, behaftet sein. Somit beschreibt das modellbasierte Arbeiten die 3D- und 4D-Modellierung sowie das „Building Information Modeling“. Die Basis bildet das Zeichnen in der dritten Dimension. Um ein Bauwerk in einer zweidimensionalen Ansicht darzustellen, muss es in den nur zwei vorhandenen Richtungen als Projektion in Ansichten und Grundrissen gezeigt werden, damit eine Betrachtung von allen Seiten ermöglicht wird. Mit der zugefügten dritten Dimension, der Höhe, wird aus den Flächen ein Volumen, welches in der entsprechenden Darstellung von allen Seiten betrachtet werden kann. Durch die Erstellung eines Modells am Computer wird etwas, das Realität werden soll, nachgebildet. Dies fällt unter den Begriff virtuelle Realität. Die virtuelle Realität beschreibt die Darstellung einer künstlichen Welt am Computer. Heutzutage gelingt diese Nachbildung schon so exakt, dass oftmals die virtuelle Realität nicht von der Wirklichkeit zu unterscheiden ist. Objekte werden in ihrem natürlichen Maßstab und äußerem Erscheinen nachgebildet. Im virtuellen Raum kann mit diesen Objekten agiert und manipuliert werden (1).

A.2 3D-Modell

Vielfach wird in der Literatur von einer Ablösung des 2D-Zeichnens durch das Erstellen von 3D-Modellen gesprochen. Bisher ist das Arbeiten mit 3D-Modellen eher als Unterstützung innerhalb der Planung zu sehen. Die konventionelle Planungspraxis verläuft in den meisten Unternehmen zeichnungsorientiert, also mit 2D-Darstellungen. Die Prozesse sind über Jahre eingespielt und ein Wechsel auf neue Arbeitsmethoden, die das modellbasierte Arbeiten erfordert, setzt sich nur langsam durch. Das modellbasierte Arbeiten verlangt eine exakte Koordination von Beginn an, so dass alle Projektbeteiligten mit den Daten arbeiten können. Jedoch gibt es für diese Position oftmals niemanden, der sich dafür verantwortlich fühlt. Des Weiteren fehlt in vielen Fällen das Vertrauen in eine geeignete Schnittstelle, durch die allen Beteiligten die erforderlichen Informationen zur Verfügung gestellt werden können. Bisher besteht die Notwendigkeit, Schnitte, Ansichten und Grundrisse, die automatisiert aus einem 3D-Modell generiert werden können, mit 2D-Elementen nachzubearbeiten. So wird immer noch vermehrt angenommen, dass das 3D-Modellieren einen zu hohen Aufwand erfordert. In der Regel müssen die Modelle umso mehr nachgearbeitet werden, je detaillierter der Planmaßstab wird, also besonders für die Baustellenpläne der Ausführungsplanung. Derzeit werden für das Arbeiten auf der Baustelle nur 2D-Pläne benötigt, so dass kein Nutzen darin gesehen wird, diese mit der Unterstützung von 3D-Modellen zu erzeugen. Das heißt, für das Zeichnen differenzierter Pläne setzt sich das 3D-Zeichnen bisher nicht durch. Dennoch gibt es vielfältige Einsatzmöglichkeiten des 3D-Modells, die für dessen Erstellung sprechen. Ein 3D-Modell wird somit i.d.R. anhand von vorliegenden zweidimensionalen Zeichnungen erstellt. Je nach genutztem CAD-Programm werden die 2D-Pläne mit 3D-Körpern nachgezeichnet oder die vorhandenen 2D-Linien werden in die Höhe extrudiert, wie in der folgenden Abbildung beispielhaft dargestellt wird.

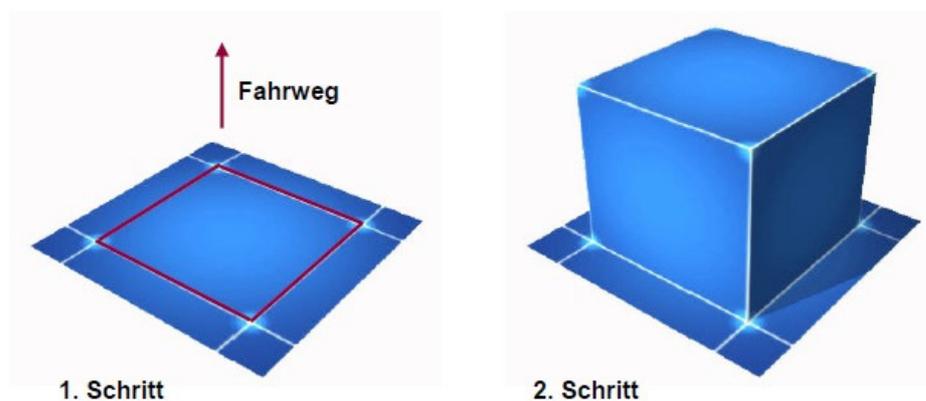


Abb. 1: Extrudieren von 2D-Linien

Ein 3D-Modell setzt sich aus Volumen zusammen, dessen Körper aus unterschiedlichen Elementen konstruiert werden können. Einige CAD-Programme, z.B. AutoCAD®, bieten eine 3D-Modellierung anhand von Grundelementen wie beispielsweise Quader, Kugeln, Zylinder und Pyramiden an. Andere Programme wie Nemetschek Allplan® ermöglichen eine Gebäudeerstellung aus Architekturbauteilen, wie z.B. Wand, Decke, Stütze und Treppe. In einem Animationsmodus kann das Modell interaktiv erkundet und „begangen“ werden. Es besteht die Möglichkeit, den 3D-Elementen Farben und Oberflächentexturen zuzuweisen, um die Elemente ihrem realen Aussehen näher zu bringen. Mit der Darstellung eines 3D-Modells werden überwiegend Informationen zur Architektur und zu Geometrien transportiert. Bauvorhaben setzen sich aus komplexeren Informationsgefügen zusammen, wovon nur ein Teil mit einem 3D-Modell räumlich dargestellt werden kann. Aus diesem Tatbestand resultiert, dass ein 3D-Modell den Anforderungen, sämtliche Bauwerksinformationen zu integrieren, nicht gerecht wird. Erweiterte Darstellungstiefen werden benötigt, die in den folgenden Unterkapiteln „4D-Modell“ und „Building Information Modeling“ weitergehend erläutert werden (1).

A.3 4D-Modell

Ein 4D-Modell baut sich aus einem 3D-Modell mit dem zusätzlichen Faktor Zeit auf, um den zeitlichen Ablauf eines Projektes abbilden zu können. Die Darstellung der Bauzustände mittels 4D ermöglicht die vollständige Vorwegnahme des Bauens in einem nahezu realistischen zeitlichen Kontext. Das ermöglicht den Entscheidungsträgern, das geplante Gebäude als animiertes 3D-Modell mit seinen Veränderungen im Verlauf der Zeit auf einem Computerbildschirm anzeigen zu lassen, um den geplanten und aktuellen Status überprüfen zu können (2). Der gesamte Bauablauf wird vor der Ausführung visualisiert, so dass er optimiert und koordiniert werden kann. Dieser Aspekt des 4D-Modellierens wird erst im fortgeschrittenen Projektverlauf eine differenzierte Rolle spielen. Der Faktor Zeit hängt allerdings im weitesten Sinne mit jeder Form der bewegten Darstellung zusammen. Bei der Erstellung von Filmen oder interaktiven 3D-Modellen fließt die Zeit ebenfalls mit ein.

A.4 Building Information Modeling

Ein Building Information Model (BIM) setzt sich aus einem dreidimensionalen Datensatz zusammen, dessen Objekte die Gebäudeteile nicht nur geometrisch, sondern auch alphanummerisch (z.B. Material, Preis, etc.) beschreiben (1). Bei diesen alphanumerischen Daten kann es sich um Komponenten wie Zeit, Kosten, Mengen und Raumnutzung handeln. Über den Faktor Zeit (4D-Modell) hinaus kann eine Vielzahl von Informationen mit einem Modell verknüpft werden, worauf sich diese Arbeit im weiteren Verlauf be-

zieht. Um ein BIM zu bilden, müssen Architekturbauteile zum Zeichnen verwendet werden. Es wird vom objektorientierten Zeichnen mit intelligenten Bauteilen gesprochen. Diesen Bauteilen sind diverse Eigenschaften wie Gewerke, Material, Abrechnungseinheiten oder Kostenfaktoren zuzuweisen. Anhand dieser beigefügten Informationen ist das Modell für weitere Aufgaben nutzbar, beispielsweise zur Unterstützung der Mengen- und Kostenermittlung. Mit einem BIM gelingt es, die Bauwerksinformationen durch das Modell in einen räumlichen Zusammenhang zu bringen. Die Verknüpfungen eines BIM werden in der anschließenden Grafik veranschaulicht.

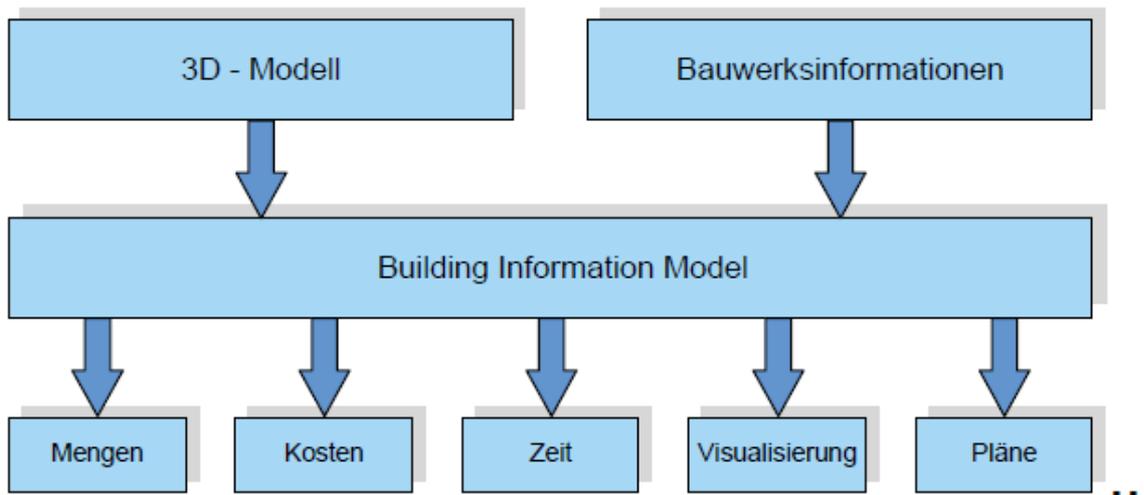


Abb. 2: Funktionsweise Building Information Model

Building Information Modeling beschreibt einen Gesamtprozess, der die Planung, den Bau und den Betrieb von Bauwerken innovativ verändern soll. Diese Methode zeichnet sich durch die Verwendung koordinierter, konsistenter und berechenbarer Informationen für ein Bauprojekt während dessen gesamten Lebenszyklus aus. Darunter ist die Integration und Übergabe planungs-, ausführungs- und nutzungsrelevanter Bauwerksdaten zu verstehen. Durch das BIM werden im internationalen Raum Effizienzsteigerungen, Risikominimierungen und Qualitätsverbesserungen erwartet (1).

A.5 Detaillierungsgrad von 3D-Modellen

Bei der Erstellung von 3D-Modellen muss immer die angestrebte Zielsetzung für die Verwendung berücksichtigt werden, um die Kosten für die Erstellung der 3D-Daten adäquat zum Detaillierungsgrad zu halten. Beispielsweise wäre es unwirtschaftlich für ein 3D-Modell, welches zur Lokalisierung eines Bauwerks auf einer globalen Karte verwendet werden soll, jede Schraube separat zu modellieren. Andererseits wäre ein kostensparendes Platzhaltermodell, bestehend aus einem Würfel mit den maximalen Ausmaßen des gesamten Bauwerks, nutzlos, wenn hiermit eine Mengenermittlung durchgeführt werden sollte. Die folgende Auflistung beschreibt verschiedene Detaillierungsgrade für 3D-Modelle (hier am Beispiel eines Gebäudes):

Detailierungsgrad 1

Das gesamte Bauwerk wird als ein Volumenkörper modelliert. Hierbei werden die maximalen Ausmaße des Gebäudes verwendet. Das Modell kann als Platzhalter verwendet werden.



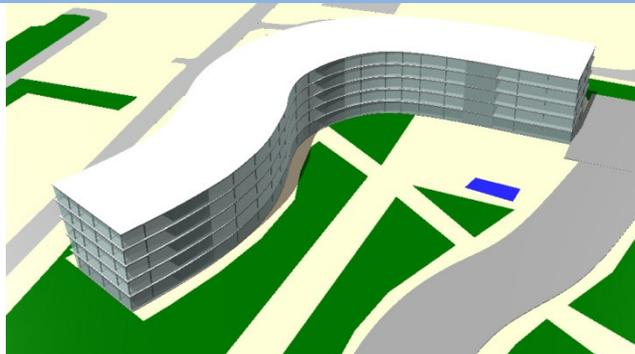
Detailierungsgrad 2

Das Bauwerk wird geschoss- bzw. losweise aufgeteilt und als einfache Volumenkörper modelliert. Gebäude erhalten eine vereinfachte Fassadendarstellung. Informationen können maximal an Teilbereiche angebunden werden.



Detailierungsgrad 3

Bei Gebäuden werden Dächer, Decken, tragende Wände, Treppen, Räume, Flächen und Fassaden gemäß der 2D-Planunterlagen dargestellt. Das Tragwerk des Bauwerks wird geometrisch modelliert. Hierdurch können Informationen an einzelne Bauteile oder Bauteilgruppen angefügt werden.



Detailierungsgrad 4

Das Modell der Detaillierungsstufe 3 wird um weitere Gewerke ergänzt. Weitere Informationen können mit dem 3D-Modell verbunden werden. Durch den Detailreichtum wird allerdings das Modell langsamer und die Kosten für die Modellierung steigen. Ein solches Modell kann beispielsweise für die Koordination von Planungen für die Technische Gebäudeausstattung dienen (TGA-Planung).

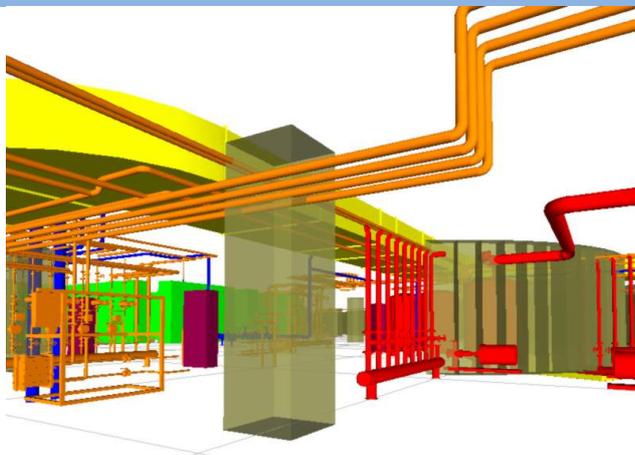


Abb. 3: Detaillierungsgrade

A.6 Datenschnittstellen

In dem Prozess der Projektentwicklung kommen viele verschiedene Projektbeteiligte zusammen. Dabei sind Datenschnittstellen ein wichtiges Instrument, um die Kommunikation aufrecht zu erhalten. Damit diese interdisziplinäre Arbeit effizient funktionieren kann, müssen alle Beteiligten auf ein erstelltes Datenmodell zugreifen können. Die Modelle müssen von allen betrachtet und, wenn notwendig, bearbeitet werden können. Vielfach genutzte Datenformate, wie z.B. dxf (Drawing exchange Format) und dwg (Drawing), eignen sich nicht, um ein mit Informationen versehenes Modell auszutauschen, da sie die Daten nur zeichnungsorientiert übertragen. Als Ergebnis erhält der Anwender nur noch Geometrien, aber Eigenschaften und Informationen von Bauteilen wie Materialität und Kostenfaktoren gehen verloren. Bereits 1995 hat der Ausschuss Industriallianz für Interoperabilität (IAI) sich zum Ziel gesetzt, ein Basismodell für das modellbasierte Arbeiten im Bauwesen zu entwickeln, um die Vision einer durchgängigen Datenkommunikation verwirklichen zu können (3). Entstanden ist die Datenschnittstelle Industry Foundation Classes (IFC). Diese IFC-Schnittstelle folgt dem Prinzip, alle am Bauwerk existierenden Bauteile als Objekte zu beschreiben. Alle Programme, die diesen Standard unterstützen, sollen diese Objekte bei einem Import wieder als eben solche interpretieren. Mit der Einführung der IFC-Schnittstelle wird versucht, ein programmübergreifendes „intelligentes“ Datenmodell zur Verfügung zu stellen.

Die Abbildung zeigt den optimalen Datenverlauf, der mit der Verwendung der IFC-Schnittstelle erreicht werden soll. Alle Projektbeteiligten greifen auf die gleichen Daten zu und im Verlauf des Projektes steigt das Datenvolumen stetig an.

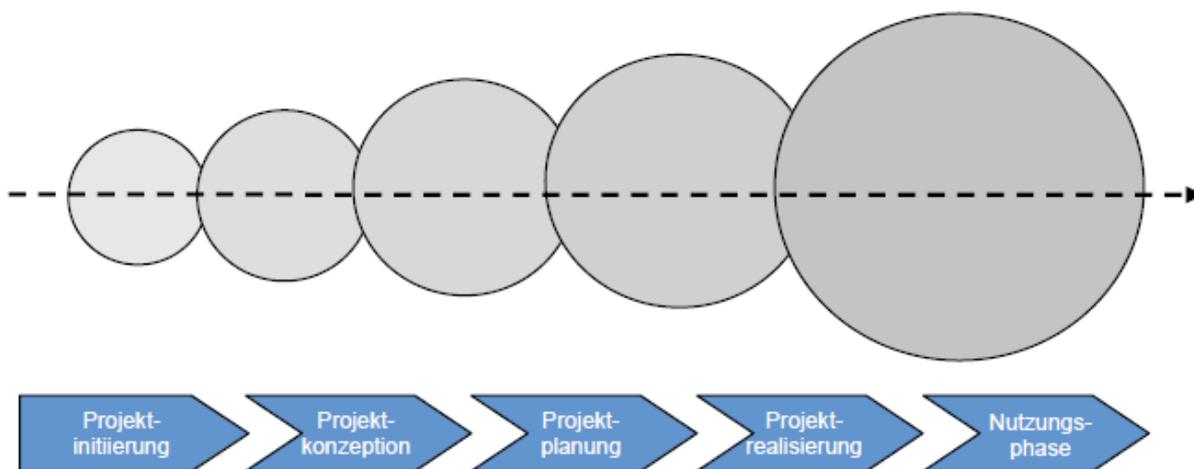


Abb. 4: Zunahme der gemeinsamen Daten während des Prozessverlaufs (1)

A.7 Datenauswertung mit Bauwerksinformationssystemen

Ein Bauwerksinformationssystem dient dazu eine Vielzahl von unterschiedlichen Informationen zum Projekt abzubilden. Beispielweise Daten aus einem Building Information Model, wie Mengenermittlungen, Bauwerksbüchern oder Vertragsunterlagen. Der Nutzer erhält eine Zusammenstellung dieser Informationen in Form von Grafiken, Tabellen und weiteren Dokumentformaten. Zum anderen können zusätzliche Informationen, die nicht aus dem Modell abzuleiten sind, abgerufen werden, wie beispielsweise Daten zu den Projektbeteiligten, Fotos, DIN-Normen oder Gesetzestexte. Zur visuellen Unterstützung ist es außerdem sinnvoll, die Pläne und ein 3D-Modell des Bauwerks in dieses System zu integrieren, so dass der Nutzer alle notwendigen Informationen gebündelt vorliegen hat. Alle relevanten Daten sind in ein gemeinsames Informationssystem einzupflegen, wobei projektbezogen festzulegen ist, welche Daten benötigt

und ausgewertet werden. Bei der Bereitstellung aller Bauwerksinformationen ist zu Beginn zu bestimmen, wem diese Informationen zur Verfügung gestellt werden dürfen und ob ein Zugriff auf die Daten gewährleistet werden soll. Vor allem muss geprüft werden, ob die Daten nur dargestellt und nicht modifiziert werden dürfen, bzw. welche Informationen zugefügt oder gar abgeändert werden dürfen. Denn die Möglichkeit der Veränderung der Zahlen im Bauwerksinformationssystem birgt die Gefahr einer großen Fehlerquelle und kann eine Diskrepanz zwischen dem Modell und der Auswertung hervorrufen.

Das System kann allen Anwendern und Beteiligten mittels eines Viewers einfach zur Verfügung gestellt werden. So kann der Projektentwickler sein Projekt kompakt präsentieren und mit den Projektbeteiligten kommunizieren. Für den Nutzer dieses Bauwerksinformationssystems sind keinerlei Datenbankankenntnisse notwendig. Der Anwender kann die Informationen einfach und nach Belieben filtern. Die Oberflächen des Bauwerksinformationssystems sind im Laufe des Projektes immer wieder anzupassen und zu aktualisieren. Mit einem zunehmenden Detaillierungsgrad des Projektes müssen weitere Informationen eingepflegt bzw. aktualisiert werden, um eine effiziente Nutzung des modellbasierten Arbeitens zu sichern.

A.8 Kommunikation

Unter Kommunikation wird in erster Linie das Übermitteln von Informationen verstanden. Die Kommunikationswege der Projektbeteiligten sind konkret festzulegen. Jeder am Prozess Beteiligte muss mit den für ihn relevanten Informationen versorgt werden können und die Informationen müssen für alle Projektteilnehmer verständlich dargestellt sein. Modellbasiertes Arbeiten liefert einen wesentlichen Beitrag zur Kommunikation innerhalb eines Projektes, zum einen durch die visuelle Betrachtungsmöglichkeit des modellierten Gebäudes, zum anderen aber durch die Auswertungsmöglichkeiten der Bauwerksinformationen (vgl. D 1.2), die einem Modell beigelegt werden können. Die Kommunikationsmöglichkeiten der Projektbeteiligten werden dadurch gefördert. Durch den Einsatz eines digitalen Bauwerksmodells können im Prozess der Entwicklung frühzeitig detaillierte Aspekte des Projektes diskutiert werden. Im folgenden Teil wird näher auf die Möglichkeiten der visuellen und informativen Methoden eingegangen.

A.9 Visualisierung

Der Begriff Visualisierung beschreibt das Erzeugen eines zweidimensionalen Bildes anhand eines 3D-Modells. Mit diesen Bildern bzw. Renderings soll ein möglichst realistischer Eindruck des Modells wiedergegeben werden, wofür diverse Einstellungen an diesem vorzunehmen sind. Dem Modell können beispielsweise realistische Oberflächen zugewiesen werden, die das dargestellte Bauwerk mit seinen geplanten Materialien zeigen.

A.10 Videofilm

Zusätzlich zu der Anfertigung von Renderings kann aus einem 3D-Modell ebenso ein Film erstellt werden. Dieser spiegelt eine Abfolge von gerenderten Bildern wieder, wobei sich sowohl das Auge des Betrachters als auch die dargestellten Objekte bewegen können. Der Fahrweg der Kamera wird durch einzelne Positionen festgelegt und mittels Interpolation selbstständig erstellt.

A.11 360°-Bilder

Ein weiteres Medium für Präsentationszwecke stellen so genannte 360°-Bilder bzw. Panoramabilder dar. Mit diesem System werden Bilder durch das Hinzufügen von Interaktivität und Navigierbarkeit um Funktionen erweitert. Diese Bilder ermöglichen einen Rundumblick von einem festen Standpunkt aus. Für die Herstellung eines Panoramabildes muss eine Serie von sich überlappenden Bildern produziert werden.

Diese Serie von Bildern kann zu einem einzigen Panoramafoto umgerechnet werden. Dem Betrachter steht zusätzlich zur Navigation in jede gewünschte Blickrichtung eine Zoomfunktion des Betrachtungsausschnittes zur Verfügung. Für die Bilder können Fotos oder Renderings verwendet werden. Diese Technik ist von Apple unter der Bezeichnung Quicktime VR® im Jahre 1995 auf den Markt gebracht worden. Zusätzlich zu Panoramen können Objekte und Szenen dargestellt werden. Bei der Objektdarstellung bewegt sich der Betrachter um das Objekt herum. Bei einer Szene können Panoramen, Objekte und andere Daten verknüpft werden. Das heißt, der Anwender kann interaktiv agieren und beispielsweise durch eine Linkverknüpfung von einem Panoramabild in das nächste gelangen oder zu anderen Informationen bzw. Programmen springen (1).

A.12 3D-Modelle und Google Earth



Abb. 5: Einfaches Volumenmodell in Google Earth

Die Einsatzmittel von Google Earth® können durch das Nutzen von modellbasierten Arbeitsmethoden erweitert werden. Mittlerweile besteht die Möglichkeit, dass 3D-Modelle in Google Earth® implementiert werden. Es gibt bereits ganze Stadtteile einzelner Städte, die als Gebäudemodelle in Google Earth® integriert sind. Für die Standortanalyse sind Gebäudekörper in einem entsprechenden Programm dreidimensional zu erstellen und in Google Earth® zu importieren. So kann der Baukörper, in Bezug auf seine Form und Stellung auf dem Grundstück und auf die Einbindung in die Umgebung, überprüft werden. Der visuelle Eindruck der Umgebung kann noch verstärkt werden, wenn ebenfalls die Nachbargebäude als rudimentäre Baukörper nachgebaut werden.

B. Literatur und Links

1. **Pollmann, Sandra.** Diplomarbeit: *Nutzen des modellbasierten Arbeitens für die Projektentwicklung.* Dortmund : s.n., 2008
2. **Fischer/Kunz.** *CIFE Center for Integrated Facility Engineering [Online].* <http://www-leland.stanford.edu/group/CIFE/online.publications/TR156.pdf> : s.n., 2004
3. **building smart.** http://www.buildingsmart.de/pdf/intern_2005-02.pdf. [Online] http://www.buildingsmart.de/pdf/intern_2005-02.pdf

Anhang D: RFID Technologie

Inhalt

A.	Einführung in die RFID Technologie	69
A.1	Grundlegende Funktionsweise	69
A.2	Unterscheidungsmerkmale der RFID-Technologie	69
A.2.a	Hardware	72
A.2.b	Lesegerät (Reader) und Antenne	73
A.3	Datenübertragung	74
A.3.a	Lastmodulation	75
A.3.b	Subharmonische	75
A.3.c	Backscatter	75
A.3.d	Oberflächenwellen	75
A.3.e	Einflussfaktoren auf die Datenübertragung	76
A.4	Codierung und Modulation	77
A.5	Zeitlicher Ablauf der Datenübertragung	77
A.6	Datenträgersysteme	77
A.7	Komplexität und Abmessungen von RFID-Systemen	78
A.8	Normen und Gremien / EPCglobal-Standard	78
A.8.a	Funktionsweise des EPCglobal-Netzwerks	81
B.	RFID Anwendungs- und Forschungsansätze für die Bauindustrie	82
B.1	Datenschutz und Umweltaspekte	85
B.2	RFID-Systemtechnik	85
B.3	Klassifikation der RFID-Technologie	86
B.4	Vor- und Nachteile verschiedener Frequenzbänder	87
B.5	Auswahlmatrix für die RFID-Technologie	89
B.6	RFID Sensortechnik	90
B.7	Schlussfolgerungen und Empfehlung für Einsatz der RFID-Technik im Bauwesen	92
B.7.a	Allgemeines	92
B.7.b	Einsatzmöglichkeiten von RFID im Bauwesen (allgemein)	93
B.7.c	Empfehlungen für den Einsatz von RFID in ISIS (speziell)	93
C.	RFID-Technik in der Praxis	94
C.1	Tracking und Tracing	94
C.2	Lebenszyklusphasen im Bauwesen	97
C.3	Fernabfragung – über RFID zu ZigBee und Rubee	99
C.4	Hardwarekomponenten	99
C.5	Praxistests RFID	101
C.5.a	Stahlbetonkorrosion	101
C.5.b	Überwachung der Betonaushärtung	104
C.5.c	Überwachung der Abdichtung mittels Feuchtsensor	105
C.6	Fazit	105
D.	Literatur und Links	107

A. Einführung in die RFID Technologie

A.1 Grundlegende Funktionsweise

Ein RFID-System besteht aus 2 Komponenten:

- einem „Funketikett“, dem sog. Transponder (engl. Tag = Etikett) und
- einem speziellen Erfassungs- oder Lesegerät, das die gespeicherten Informationen oder die jeweilige ID erfasst und verarbeitet.

Die sogenannte Sende-Empfangs-Einheit erzeugt ein magnetisches oder elektro-magnetisches Feld, welches für die Kommunikation zwischen beiden Einheiten erforderlich ist. Der Transponder sendet hierbei eine oder mehrere Informationen zurück an das Lesegerät.

Von dem Lesegerät wird die Information erfasst und zum Beispiel an ein Datenverarbeitungssystem weitergeleitet, wo diese entschlüsselt und ggf. mit weiteren Informationen verknüpft und schließlich für die Prozessunterstützung oder Dokumentation genutzt wird. (1)

A.2 Unterscheidungsmerkmale der RFID-Technologie

Die Unterscheidung der RFID-Technologie kann nach

- Betriebsart
- Datenmenge
- Programmierbarkeit
- Energieversorgung
- Frequenzbereich
- Reichweite
- Datenübertragung
- Kopplung

entsprechend der im Weiteren dargestellten Übersichtstabelle aus (2) erfolgen. Zugehörige Erläuterungen befinden sich im Anschluss an die Tabelle.

Betriebsart:	FDX Vollduplex	HDX Halbduplex	SEQ Sequentiell
Datenmenge:	1 Bit (EAS)	> 1 Bit	> 1 Bit
Programmierbarkeit:	ja	nein, (ja)	nein, (ja)
Energieversorgung:	aktiv	passiv	passiv
Frequenzbereich (typisch):	< 30 MHz (HF)	<135 KHz (LF), 13,56 MHz (HF)	868 MHz (UHF), 915 MHz (UHF), 2,45 GHz (SHF)
Reichweite:	Close Coupling (0 bis 1 cm)	Remote Coupling (bis 1 m)	Long Range (1 bis 10 m) Einzelfall 1 km
Datenübertragung:	Backscatter	Lastmodulation	Puls-Verfahren
Kopplung:	magnetisch/ induktiv	elektro-magnetisch	elektrisch/ kapazitiv

Tab. 1: Unterscheidungsmerkmale/Begriffe der RFID-Technologie (2)

Betriebsart: Bei der Betriebsart sind zwei grundsätzliche Verfahren zu unterscheiden: Bei dem Voll- und dem Halbduplexverfahren (FDX beziehungsweise HDX) wird die Antwort des Transponders bei eingeschaltetem HF-Feld des Lesegeräts übertragen, während bei dem sequenziellen Verfahren (SEQ) das Feld vom Lesegerät während der Antwort vom Transponder abgeschaltet wird. (2)

Für weitere Informationen siehe A.5.

Datenmenge: Die Datenmenge kann von einem Bit bis zu mehreren KBytes reichen – derzeit handelsüblich sind Kapazitäten von ca. 90 kByte. Ein-Bit-Transponder werden im Einzelhandel schon seit Jahren zur elektronischen Artikelüberwachung (Electronic Article Surveillance, EAS) eingesetzt. Hierzu wird beim Verlassen des Kaufhauses lediglich das Vorhandensein eines Transponders überprüft, um nicht bezahlte Waren zu identifizieren. (2)

Beschreibbarkeit: Bei sehr einfachen Systemen wird der Datensatz des Transponders schon während der Chipherstellung integriert. Dagegen werden die spezifischen Informationen programmierbarer Transponder zu einem späteren Zeitpunkt in den Speicher des „Tags“ mit einem entsprechenden Gerät geschrieben. Diese größere Flexibilität des Verfahrens geht aber meist einher mit höheren Kosten und höherem Energiebedarf. Als Speicher in RFID-Tags kommen meist EEPROM-Speicher zum Einsatz. Dieser nicht flüchtige Speicher lässt sich durch Anlegen einer elektrischen Spannung mehrmals löschen und programmieren.

Mehr technische Vorteile gegenüber EEPROMs bieten FRAM-basierte Systeme. Dieser ferroelektrische Speicher kommt mit geringerem Stromverbrauch aus und kann Daten schneller speichern und lesen. Allerdings konnte sich die FRAM-Technologie bedingt durch hohe Kosten bislang nicht durchsetzen. (2)

Wegen des niedrigeren erforderlichen Induktionsstroms bieten FRAM-Speicherchips Vorteile im Hinblick auf fernauslesbare Systeme für zukünftige Anwendungen. Zudem können für das Auslesen von FRAM-Chips kleinere Lesegeräte mit geringeren Leistungsdaten verwendet werden.

Energieversorgung: Passive Transponder besitzen keine eigene Energieversorgung. Ihr gesamter Energiebedarf muss deshalb aus dem elektrischen Feld des Lesegeräts übernommen werden. Im Gegensatz dazu enthalten aktive Transponder eine eigene Energiequelle. Hierbei handelt es sich meist um eine im Tag integrierte Mini-Trockenbatterie. Zunehmend kommen aber auch Energiewandler wie z.B. Solarzellen oder Bewegungsgeneratoren zum Einsatz. (2)

Frequenzbereich: Je nach Anwendung können RFID-Systeme in verschiedenen festgelegten Frequenzbereichen arbeiten. Zusammen mit den damit verbundenen physikalischen und elektrischen Restriktionen wie Größe des Transponders oder Sendereichweite haben diese RFID-Systeme unterschiedliche Eigenschaften und werden deshalb entsprechend eingesetzt.

Es stehen verschiedene Frequenzen zur Nutzung von RFID-Systemen zur Verfügung. Im Frequenzbereich über 135 KHz werden bevorzugt die lizenzfreien, so genannten Industrial-Scientific-Medical (ISM)-Bänder verwendet, die auch für andere Anwendungen zum Einsatz kommen. Insbesondere das 2,4-GHz-Band wird auch von anderen Technologien wie Bluetooth oder WLAN eingesetzt. (2)

Bei den im Frequenzbereich von 100 kHz bis 27,125 MHz arbeitenden RFID-Systemen liegen die in einem Abstand von 10 m erlaubten magnetischen Feldstärken um den Faktor 2500 unterhalb der dafür geltenden ICNIRP-Empfehlungen (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection). Lediglich im Abstand von wenigen cm können die Grenzwerte erreicht oder überschritten werden. Da die Exposition in der Regel sehr kurz ist, besteht laut Bundesamt für Strahlenschutz keine gesundheitliche Gefährdung für die allgemeine Bevölkerung. (Bundesnetzagentur)

RFID-Frequenz	Erläuterung	Übertragungsart
<135 KHz	Weltweit verfügbar; wird vor allem in kostengünstigen passiven Transpondern zur Identifikation von Tieren eingesetzt.	induktive Kopplung
6,78 MHz	Weltweite ISM-Frequenz laut ITU-Frequenzplan, die Zulassung darf nicht weltweit genutzt werden.	induktive Kopplung
13,56 MHz	Weltweit verfügbar; wird vor allem in kostengünstigen passiven Transpondern zur Identifikation von einzelnen Objekten und Artikeln eingesetzt.	induktive Kopplung
27,125 MHz	Nur für Sonderanwendungen	induktive Kopplung
400 MHz	Einsatz zum Beispiel bei den Zentralverriegelungssystemen im Auto	elektromagnetische Wellen
868 MHz	Europäisches Frequenzband, das für aktive und passive Transponder in der Logistik Einsatz findet.	elektromagnetische Wellen
915 MHz	US-amerikanisches Frequenzband, das für aktive und passive Transponder in der Logistik Einsatz findet.	elektromagnetische Wellen
2,45 GHz	Weltweit verfügbar; wird für die verschiedenartigsten RFID-Systeme mit aktiven Transpondern eingesetzt.	elektromagnetische Wellen

Tab. 2: RFID-Frequenzen, Erläuterung, Übertragungsart

Die im UHF- und Mikrowellen-Bereich betriebenen RFID-Systeme werden in der Regel nicht körpernah betrieben. Die erlaubten Sendeleistungen liegen unterhalb der Grenze von 10 W EIRP (Equivalent isotropically radiated power), ab der der Betreiber einer ortsfesten Station gegenüber der BNetzA (Bundesnetzagentur) den Nachweis zu erbringen hat, dass andere Personen, die sich in Wohnungen, Gärten, auf öffentlichen Straßen und Plätzen befinden, durch die Strahlung seiner Sendeanlage nicht gefährdet werden. (3)

Im folgenden Bild sind die Grenzwerte der elektrischen Feldstärken für RFID innerhalb der ISM-Bänder, d.h. abhängig von der Frequenz, dargestellt:

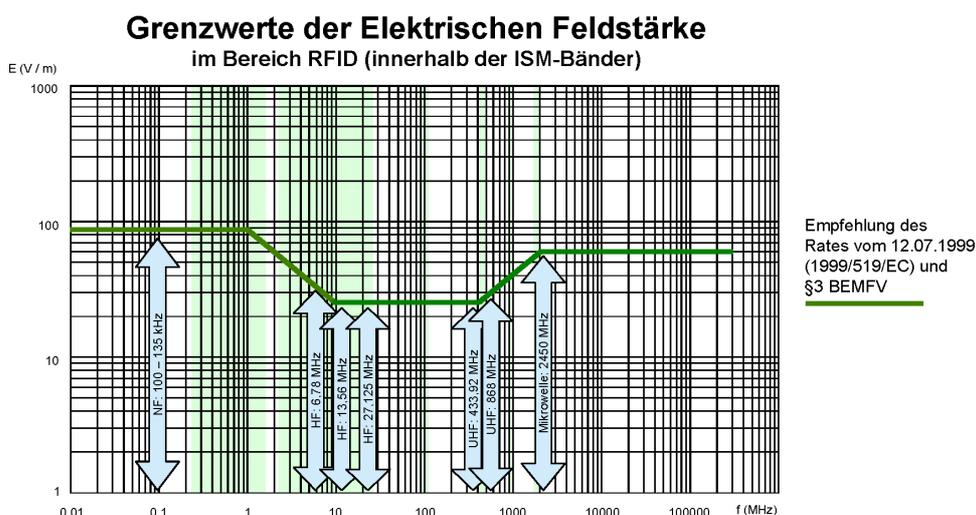


Abb. 1: Grenzwerte der Elektrischen Feldstärke im Bereich RFID (3)

Reichweite: Hier unterscheidet man zwischen Close Coupling für Abstände zwischen 0 und 1 cm, Remote Coupling für Distanzen bis zu einem Meter und Long-Range-Systeme für größere Entfernungen von ein bis zehn Metern. (2) In Einzelfällen und unter bestimmten Voraussetzung auch bis 1 km.

Datenübertragung: Die Datenübertragung vom Transponder zum Lesegerät kann durch Reflexion (Backscatter) oder durch Lastmodulation erfolgen. Bei der Reflexion kann das Verhältnis der Frequenz der reflektierten Welle zur Frequenz der gesendeten Welle 1:1, 1:n (Subharmonische) oder n:1 (Oberwelle) betragen. Es stehen weitere Verfahren zur Verfügung. (2)

Für weitere Informationen siehe A.3.

Kopplung: Der weitaus größte Teil heute verkaufter RFID-Systeme arbeitet nach dem Prinzip der induktiven Kopplung. Elektromagnetische Wellen werden bei RFID-Systemen bei Frequenzen von über 30 MHz eingesetzt. Eine kapazitive Kopplung über elektrische Felder wird nur in Close-Coupling-Systemen eingesetzt und spielt eine untergeordnete Rolle. (2)

A.2.a Hardware

Transponder werden an dem zu identifizierenden Objekt angebracht und bestehen aus einer (meist stark miniaturisierten) Kontrolleinheit (Mikrochip) mit Datenspeicher sowie einer Koppeleinheit (Spule oder Antenne). Diese Einheiten werden in geeignete Trägermaterialien eingebettet (zum Beispiel Klebefolie oder gegen Umwelteinflüsse besser geschützte Gehäuse oder Plastikkarten). (4)

Die Schaltkreise der Transponder können in ganz unterschiedliche Trägersysteme integriert werden. Je nach Anwendungsfall können Klebeetiketten, Chipkarten, Schrauben oder Stifte eingesetzt werden. Die Gehäuse sind hermetisch verschlossen und äußerst robust und widerstandsfähig gegen Schock, Vibration, Druck, Chemikalien und Temperatur.

Hinsichtlich der Einsatzmöglichkeiten werden **aktive Transponder** zur Überbrückung einer größeren Reichweite eingesetzt, da bei großen Reichweiten keine ausreichende Energieversorgung des Mikrochips durch das elektromagnetische Feld gewährleistet werden kann. Die Einordnung in aktive und passive Transponder ist in der Literatur unterschiedlich. Einzelne Quellen definieren aktive Transponder als solche, die sowohl den Betrieb des Mikrochips als auch die Datenübertragung per Funk mit Hilfe einer eigenen Energiequelle realisieren. Andere identifizieren aktive Transponder, falls lediglich für den Betrieb des Mikrochips eine eigene Energiequelle vorhanden ist, und die Datenübertragung über das Feld des Lesegerätes geschieht. Letztere Lösung wird in der Literatur auch als **semi-aktiv** bezeichnet. (5)

Unter **semi-aktiven Transpondern** kann auch ein Transponder mit einer Stützbatterie verstanden werden, die über das Feld des Lesegerätes geladen wird und dann für kurze Zeit den Betrieb des Transponders ermöglicht. (5)

Die häufigste Anwendung finden heutzutage **passive Transponder**. Ist keine große Reichweite erforderlich oder ist diese aufgrund von Datenschutzbestimmungen unerwünscht und spielen kostenrelevanten Aspekte (geringe Herstellungskosten und geringer Wartungsbedarf) eine entscheidende Rolle werden solche Transponder eingesetzt. Passive Transponder müssen zur Datenübertragung mit Energie aus dem elektrischen Feld versorgt werden. (5)

Zur Datenübertragung müssen Transponder und Lese/Schreibgerät gekoppelt werden. Man unterscheidet folgende Kopplungsarten:

- **Induktive (magnetische) Kopplung**

Bei geringen Abständen zwischen Transponder und Lesegerät ergibt sich die erforderliche Energie durch Induktion einer Spannung aus dem Feld des Lesegerätes, ähnlich einem elektrischen Transformator. (5)

- **Elektromagnetische Kopplung**

Bei wachsenden Abständen zwischen Transponder und Lesegerät befindet sich der Transponder nicht mehr im magnetischen Nahfeld des Lesegerätes, sondern im elektromagnetischen Wechselfeld, so dass eine induktive Kopplung nicht möglich ist. Es findet also eine elektromagnetische Kopplung statt, ähnlich einer Fernsehantenne. Bei Überschreitung der systemabhängigen kritischen Entfernungen, muss der Mikrochip anderweitig mit Energie versorgt werden. (5)

- **Elektrische (kapazitive) Kopplung**

Hierbei wird vom Lesegerät durch eine großflächige Elektrode ein hochfrequentes elektrisches Feld zwischen der Elektrode und dem Erdpotenzial erzeugt. Im Transponder befinden sich ebenfalls zwei flächige Elektroden (keine Antennenspulen). Gelangt der Transponder in das elektrische Feld entsteht eine Spannung zwischen den Elektroden, da sich diese in Zonen mit unterschiedlichen Feldstärken befinden. (5)

A.2.b Lesegerät (Reader) und Antenne

Das ortsfeste oder mobile Lesegerät mit Funkteil und Antenne hat die Aufgabe, die Anwesenheit eines Transponders im Lesebereich festzustellen und gegebenenfalls weitere Informationen auszulesen beziehungsweise zur weiteren Speicherung zu übertragen. Im einfachsten Fall der bekannten Diebstahlsicherungssysteme wird nur ein Informationsbit übertragen (Ware bezahlt/nicht bezahlt), die dafür verwendeten passiven Transponder benötigen weder Speichereinheit noch Mikrochip. Unabhängig vom Lesegerät (meist am Ladenausgang platziert) ist in diesem Beispiel noch ein Gerät zur Deaktivierung der Transponder erforderlich (an den Kassen). In anderen Anwendungsfällen werden zusätzlich Programmiergeräte zum Eingeben und Ändern der Transponderinformationen benötigt. (4)



Abb. 2: RFID-Reader (www.logismarket.de, www.rfid-im-blick.de, www.apnadesi.net)

A.3 Datenübertragung

Abhängig von der eingesetzten Frequenz zur Datenübertragung vom Transponder zum Lesegerät kommen verschiedene Techniken in Betracht, wie bereits zuvor erläutert. Dazu zählen die Lastmodulation, Subharmonische, Backscatter und Oberflächenwellen. (5)

Während Arbeitsfrequenzen, maximale Feldstärken und Sendeleistungen durch internationale Abkommen und Normen (siehe A.8) festgelegt sind, werden die eingesetzten Modulationsverfahren hauptsächlich durch die Anforderungen der Anwendungen bestimmt, es kommen daher die unterschiedlichsten analogen und digitalen Modulationen zum Einsatz. (4)

Zusätzlich werden ausgefeilte Verfahren zur **Fehlererkennung und -korrekter** sowie zur Sicherstellung der **Verfälschungs- und Abhörsicherheit** eingesetzt. (4) Entsprechende Codierungssysteme finden ebenfalls Anwendung; siehe A.4.

Ist die gleichzeitige **Erkennung einer Vielzahl von Transpondern** erforderlich (zum Beispiel Erfassung kompletter Warenpaletten im Wareneingang), werden zusätzlich Antikollisionsprotokolle und TDMA-Verfahren eingesetzt (Time Division Multiple Access, Aufteilung der Übertragungskapazität auf bestimmte Zeitschlitze des Übertragungskanals). Diese Verfahren sind zwischen verschiedenen Anwendungen im Allgemeinen nicht kompatibel, proprietäre Lösungen sind derzeit noch marktbeherrschend. (4)

Folgende Übertragungstechniken sind anzutreffen:

A.3.a Lastmodulation

Lastmodulation findet sich bei induktiv gekoppelten Systemen. Hierbei wird in der Transponderspule eine Spannung induziert, so dass eine Rückkopplung auf die Spule des Lesegerätes stattfindet, d.h. durch Ein- und Ausschalten eines Widerstandes im Transponder kann die Belastung des Magnetfeldes beeinflusst werden, und die Veränderung kann im Lesegerät registriert und in einen digitalen Strom umgewandelt werden. (5)

A.3.b Subharmonische

Diese Technik findet sich ebenfalls bei induktiv gekoppelten Systemen. Der Transponder erzeugt durch Frequenzteilung eine neue (meist halbierte) Frequenz, auf die die Informationen aufmoduliert und über die Antenne des Transponders übertragen werden. Gegenüber der Lastmodulation kann dieses Signal einfacher ausgefiltert werden. (5)

A.3.c Backscatter

Einsatz der Backscatter-Technik findet sich bei elektromagnetisch gekoppelten Systemen. Das Prinzip kommt aus der Radartechnik, d.h. Objekte reflektieren elektromagnetische Wellen, sofern sie eine Ausdehnung von mehr als der halben Wellenlänge besitzen. Die Stärke der Reflektion (auch Rückstrahlquerschnitt, englisch backscatter genannt) hängt von der Beschaffenheit des Objektes ab. Auch ein in Resonanz befindlicher Schwingkreis ist ein idealer Reflektor. Von dieser Eigenschaft wird in dieser Technik Gebrauch gemacht. Verändert man die Resonanz-Eigenschaften des Transponders durch Ein- und Ausschalten eines Widerstands im Takt des zu übertragenden Datenstroms, so wird auch der Reflektionsgrad geändert. Dies kann vom Lesegerät registriert und in Daten transformiert werden. (5)

A.3.d Oberflächenwellen

OFW-Modulation (d.h. Oberflächenwellen-Modulation) wird überwiegend bei RFID-Systemen im Mikrowellenbereich hinzugezogen. (Abgesehen von geringeren Frequenzen auch im UKW-Bereich.) Die entsprechenden Transponder sind ausnahmsweise passiv und besitzen keinen Mikrochip zur Datenspeicherung. Die elektromagnetischen Wellen des Lesegerätes werden in einem speziellen Kristall im Transponder mithilfe des piezoelektrischen Effekts in sogenannte akustische Oberflächenwellen umgewandelt. Diese durchlaufen den Kristall und werden am Ende von in bestimmten Abständen eingesetzten Metallstreifen reflektiert. Die reflektierten Wellen werden wiederum durch den piezoelektrischen Effekt in Funksignale umgewandelt, die am Lesegerät registriert werden. Die eigentlichen Daten werden durch die Abstände der Metallstreifen im Transponder und die dadurch bewirkte zeitliche Abfolge der am Lesegerät eintreffenden Echos kodiert. Es können Datenmengen von 16 bis 32 bit gespeichert werden. Die Übertragungsgeschwindigkeit ist sehr hoch. (5)

A.3.e Einflussfaktoren auf die Datenübertragung

Die Qualität der Kommunikation zwischen dem Schreib-/Lesegerät und dem Transponder wird in starkem Maße speziell bei der Kennzeichnung von metallischen Körpern von Absorptions- und Reflexionsfaktoren beeinflusst:

- Absorption tritt primär bei induktiver Kopplung auf, wobei das magnetische Feld in starkem Maße gedämpft wird. (6)
- Reflexion entsteht im UHF- und Mikrowellenbereich beim Auftreffen auf eine Metalloberfläche. Hierbei wird das Feld vollständig ausgelöscht und die Auslesung eines auf dem Metall angebrachten Tags ist unmöglich. (6)

Obwohl ein besonderer Vorteil der RFID-Technik darin besteht, ohne Sichtkontakt Daten zu erfassen, kann hier eine Beeinflussung abhängig von der Absorptionsrate von Materialien stattfinden:

- Je höher die Arbeitsfrequenz, desto stärker absorbieren Flüssigkeiten elektro-magnetische Felder, d.h. UHF und speziell SHF-Felder (Mikrowellen) werden wegen der Nähe zur Resonanzfrequenz stark gedämpft. (6)
- Wegen der Unempfindlichkeit gegen metallische Umgebungseinflüsse sind für die Anwendung in stahlbewehrten Betonbauteilen RFID-Chips, die im Niederfrequenzbereich (NF) arbeiten, vorteilhaft einsetzbar (z.B. in den Corrodec-Detektoren).

Materialzusammensetzung	Effekte auf UHF-Signal
Papier, Wellpappe	Kein Einfluss
Nasses Papier, nasse Wellpappe	Absorption
Nicht leitende Flüssigkeit	Geringe Dämpfung
Leitende Flüssigkeit	Starke Dämpfung
Glas	Geringe Dämpfung
Metallische Pappe (Saft-, Milchtüten)	Reflexion (Mehrwegausbreitung)
Dosen aus Metall	Reflexion (Mehrwegausbreitung)
Menschlicher Körper	Absorption, Verstimmung, Reflexion
Metallteile	Reflexion, Streuung
Kunststoffe, Verpackung	Verstimmung (dielektrische Effekte)

Tab. 3: Einfluss verschiedener Materialien auf RFID-(UHF)-Felder (7)

Für den betrieblichen Einsatz sind daher folgende grundsätzliche Abhängigkeiten zum Arbeitsfrequenzbereich zu beachten (4):

- Verwendung höherer Frequenzen erlaubt höhere Übertragungsgeschwindigkeiten,
- andererseits ist die Durchdringung von Flüssigkeiten bei niedrigen Frequenzen gut und nimmt zu hohen Frequenzen hin ab.
- Höhere Frequenzen bereiten mehr Probleme durch Reflexionen und Auslöschungen durch Mehrwegeempfang,
- während niedrige Frequenzen empfindlich gegen induktive und elektromagnetische Störungen sind.
- Die Systemkosten sind üblicherweise höher bei Nutzung höherer Frequenzbereiche.
- Auch Bauform und Größe der Transponder (vor allem der notwendigen Spulen/Antennen) hängen stark vom gewählten Frequenzbereich ab.

A.4 Codierung und Modulation

Es kommen die Modulationsverfahren ASK (Amplitude Shift Keying), FSK (Frequency Shift Keying) und PSK (Phase Shift Keying) zur Anwendung. (5)

Insbesondere Systeme, die auch die Datenübertragung zum Transponder unterstützen, benötigen ein geeignetes Codierungsverfahren. Eingesetzt werden: NRZ (Non Return to Zero), Manchester-Kodierung, Miller-Kodierung und Puls-Pausen-Kodierung. (5)

A.5 Zeitlicher Ablauf der Datenübertragung

Bei den passiven und semi-aktiven RFID-Systemen werden sowohl Energie zum Betrieb des Transponders als auch Daten vom (Uplink) und zum (Downlink) Transponder übertragen. Dabei werden 3 Verfahren unterschieden: Voll- und Halb-Duplex, sowie das sequentielle Verfahren.

Im Gegensatz zur in der Nachrichtentechnik üblichen Abgrenzung allein auf Grund der Richtung der Datenübertragung ist es bei RFID sinnvoll auch die Energieübertragung einzubeziehen.

Bei Voll- und Halb-Duplex-Systemen findet eine permanente Energieübertragung statt, d. h. das vom Lesegerät erzeugte Feld besteht während der gesamten Kommunikationsphase. Lediglich bei der Abfolge der Datenübertragung vom und zum Transponder unterscheiden sich die Verfahren. Bei Halb-Duplex (HDX) erfolgt eine zeitversetzte Datenübertragung. Diese Form wird häufig bei Systemen mit Lastmodulation und Backscatter-Technik angewendet. In beiden Fällen wird unmittelbar das vom Lesegerät erzeugte (elektro-) magnetische Feld manipuliert. Einige RFID-Systeme ermöglichen die zeitgleiche Datenübertragung vom und zum Transponder (Voll-Duplex, FDX). Dafür wird jedoch ein zweiter Kanal benötigt, weswegen dieses Verfahren bei Transpondern mit Teilfrequenzen (Subharmonischen) oder auch unabhängigen Frequenzen (Anharmonischen) genutzt wird.

Sequentielle Systeme (SEQ) sind datentechnisch ebenfalls Halb-Duplex-Systeme, jedoch findet eine Energieübertragung nur während der Datenübertragung zum Transponder statt (Pulsbetrieb). Dieses Verfahren kann bei Transpondern mit induktiver Kopplung oder Oberflächenwellen angewendet werden. Im letzteren Fall ist der Pulsbetrieb prinzipbedingt erforderlich. Bei induktiver Kopplung ergeben sich ein verbesserter Signal-Stör-Abstand und damit eine größere Reichweite als bei HDX- und FDX-Systemen. (5)

A.6 Datenträgersysteme

Die Mikrochip-Technologie macht es möglich, die Basisinformation „Identifikationsnummer“ – im Gegensatz zu anderen Auto-ID-Systemen – um weitere Informationen zu ergänzen und direkt auf dem Transponder zu speichern. Durch dieses „**Data-on-Tag**“-Prinzip entstehen z.B. intelligente Bauteile, die Eigenschafts-, Ereignis- und Zustandsdaten mit sich tragen. Diese Daten können während jeder einzelnen Lebenszyklusphase eines Bauwerkes im Sinne einer Bauwerks- bzw. Bauteildokumentation ausgelesen und verarbeitet werden.

Im Forschungs-Clusters „RFID-Technologie im Bauwesen“ hat sich die Technische Universität Dresden im Rahmen der beiden Forschungsprojekte „RFID-IntelliBau 1“ und „RFID-IntelliBau 2“ ausführlich mit den Randbedingungen für den Einsatz dieser Technologie und den Anforderungen an die Hard- und Software beschäftigt.

Einsatzbereiche des „Data-on-Tag“ sind schwer zugängliche Bereiche wie z.B. Wartungsarbeiten in der Kanalisation. Hier ist zumeist keine durchgängige Infrastruktur zur Weitergabe der Transponderdaten gewährleistet. (6)

Alternativ kann der Ansatz verfolgt werden, die Daten in einem zentralen Informationssystem vorzuhalten, und den RFID-Transponder somit allein zur Identifizierung zu nutzen. Dieser Ansatz wird auch „**Data-on-Network**“-Prinzip genannt.

Im Forschungs-Clusters „RFID-Technologie im Bauwesen“ hat sich die forschende Stelle der Bergischen Universität Wuppertal im Rahmen des Forschungsprojektes „Integriertes Wertschöpfungsmodell mit RFID in der Bau- und Immobilienwirtschaft (InWeMo)“ für diesen Ansatz ausgesprochen.

Argumente hierfür sind die günstigeren Kosten, die weiter fortgeschrittene Standardisierung der RFID-Technik (EPCglobal), der Wunsch, Daten über Netzwerke von unterschiedlichen Orten aus verfügbar zu machen, die einfachere Anbindung von Gebäudeinformationsmodellen („Digitale Gebäudeakten“, 3-, 4- bzw. 5D-CAD-Planungen etc.) und nicht zuletzt die begrenzte garantierte Lebensdauer der RFID-Transponder. Denn bei einer Nutzung des „Data-on-Tag“-Prinzips [...] ist es wesentlich stärker von Bedeutung, dass Transponder auch über lange Zeiträume ohne Leseereignis lesbar bleiben, da die Daten ggf. nicht an anderer Stelle gesichert sind.“ Denn für RFID-Tags trifft bzgl. der Haltbarkeit der auf ihnen gespeicherten Daten das grundsätzlich bei digitalen Speichermedien vorliegende Problem zu, dass diese, werden die Daten nicht ab und zu neu gespeichert (überschrieben), nach einer gewissen Zeit nicht mehr lesbar sein können. (8) Für Systemanwendungen in Bauwerken mit einer geplanten Lebensdauer von 50 bis 100 Jahren sollten daher nur RFID-Technologien zum Einsatz kommen, deren garantierte Lebensdauern in einer ähnlichen Größenordnung liegen. Im Hinblick auf diese Anforderung müssen die erforderlichen Maßnahmen zur Erhaltung der Funktionstüchtigkeit eines „Data-on-Tag“ RFID-Systems kritisch betrachtet werden, damit sichergestellt ist, dass die RFID-Chips auch über größere inaktive Zeiträume hinweg ihre Funktion nicht verlieren.

A.7 Komplexität und Abmessungen von RFID-Systemen

Je nach Anwendung werden sehr unterschiedliche Anforderungen an Größe und Komplexität der Transponder gestellt. Bei Massenanwendungen sind vor allem Formfaktor und Kosten wichtig, so dass die Transponder meist klein und unaufwändig sind. Weitgehend werden in diesem Bereich passive Transponder verwendet, die keine eigenen Speichermöglichkeiten haben und deren einprogrammierte Information ausschließlich ausgelesen werden kann (zum Beispiel in einer Ausführung als Klebe-Etikett). In der Sicherheitstechnik und Logistik besteht häufig ein erweiterter Speicherbedarf, und es sind gegebenenfalls Datenänderungsmöglichkeit und Verschlüsselung erforderlich, so dass dort komplexere Systeme zum Einsatz kommen. (4)

A.8 Normen und Gremien / EPCglobal-Standard

Für RFID-Systeme sind weltweit zahlreiche Aktivitäten im Gange, und vielfältige technische Varianten entstehen im gleichen Zuge. So beschreibt eine Vielzahl von Normen (siehe nachfolgende Tabelle) die Rahmenbedingungen bei der Nutzung von RFID. Diese sind von den weltweiten Gremien der International Organization for Standardization (ISO) ausgearbeitet worden. (2)

Im Zusammenhang mit der RFID muss auch das „Netzwerk“ der EPCglobal Inc. genannt werden. Das EPC wird in Deutschland durch die Kölner GS1 Germany GmbH vertreten. EPC steht hierbei für Electronic Product Code. (2)

Norm	Gegenstand der Norm	Frequenzen
Auto-ID Class 0	Parameter für die Air Interface Communication	860 – 930 MHz
Auto-ID Class 1	Parameter für die Air Interface Communication	860 – 930 MHz
EPCglobal Gen 2	Parameter für die Air Interface Communication, Ablösung für Class 0 und 1 vorgesehen, wurde Anfang 2005 bei ISO eingereicht.	860 – 930 MHz
ISO 14443	Air Interface und Initialisierung für Identifikationskarten, Kundenkarten	13,56 MHz
ISO 15693	Regelung für eindeutige Ident-Nummern („Unique Identifier“) für Transponder beziehungsweise Tags	13,56 MHz
ISO 18000	RFID Air Interface Standard	
ISO 18000-1	Allgemeine, global geltende Parameter für Air Interfaces	alle
ISO 18000-2	Allgemeine Parameter für Air Interfaces	125; <134 KHz
ISO 18000-3	Allgemeine, global geltende Parameter für Air Interfaces, Reichweite maximal 5 m, Nachfolger der ISO 15693	13,56 MHz
ISO 18000-4	Allgemeine, global geltende Parameter für Air Interfaces	2,45 GHz
ISO 18000-5	Annulliert	5,8 GHz
ISO 18000-6	EPCglobal Generation 2 Tags (in der Entwicklung)	860 – 930 MHz

Tab. 4: ISO- und EPCglobal-Standards (9)

EPCglobal ist aus dem Zusammenschluss der EAN International (European Article Numbering Association) und des Universal Code Council (UCC) entstanden. Die technischen Grundlagen haben sich aus dem Auto-ID Center des Massachusetts Institute of Technology (MIT) in Boston entwickelt, das zu Gunsten von EPCglobal im Jahr 2003 aufgelöst wurde. Dieses hat ein Netzwerk und eine Infrastruktur definiert und aufgebaut, die in weiten Teilen den Strukturen des Internets entsprechen, wie die folgende Tabelle zeigt:

World Wide Web	EPCglobal-Netzwerk
DNS Zentrales System, das die Abfrage von Webseiten und E-Mails steuert.	ONS Zentrales Verzeichnis der bei EPC registrierten Hersteller, das Anfragen nach Produktinformationen steuert.
Websites Ort (Ressource), an dem sich Informationen zu einem bestimmten Thema befinden.	EPC Information Services Ort (Ressource), an dem sich Informationen über ein Produkt befinden.
Search Engines Instrument für das Auffinden von Webseiten	EPC Discovery Services Instrument für das Auffinden von EPC-Informationen
SSL Sicherheitsstandard für Webseiten	EPC Security Services Instrument für den sicheren Zugang in Anhängigkeit von Rechten.

Tab. 5: Struktur des EPCglobal-Netzwerks im Vergleich zum Web (9)

Die Datenstruktur ist beispielhaft wie folgt aufgebaut:

Feldname	Länge (Bytes)	Kommentar
Datenkopf	2	Für interne Steuerungszwecke des Netzwerks, Versionsbezeichnungen, Formatangaben
Hersteller (EPC Manager)	7 - 9	Nummer wird in Deutschland von GS1 vergeben.
Teilenummer (Objektklasse)	6	Produzent- und Teilenummer entsprechen der EAN aus dem EAN.UCC-System; pro EPC besteht eine Kapazität für 1 Million Artikel.
Seriennummer	9	Diese Nummer dient der ein-eindeutigen Bezeichnung individueller Teile; Kapazität pro Hersteller: 100 Milliarden Artikel

Tab. 6: Beispiel und Struktur einer EPC-Nummer (9)

Grafisch ausgedrückt bedeutet dies:

	Header	Filter	Partition	EPC Manager	Object Class	Serial Number
Länge	8 bits	3 bits	3 bits	20-40 bits	24-4 bits	38 bits
Wert	0011 0000	000	5 (decimal)	4012345 (decimal)	012345 (decimal)	123456789123 (decimal)

Abb. 3: Aufbau des EPC am Beispiel der Artikelnummer (10)

A.8.a Funktionsweise des EPCglobal-Netzwerks

EPCglobal beschreibt auf Ihrer Internetseite (10) das Zusammenspiel der verschiedenen Komponenten wie unten dargestellt.

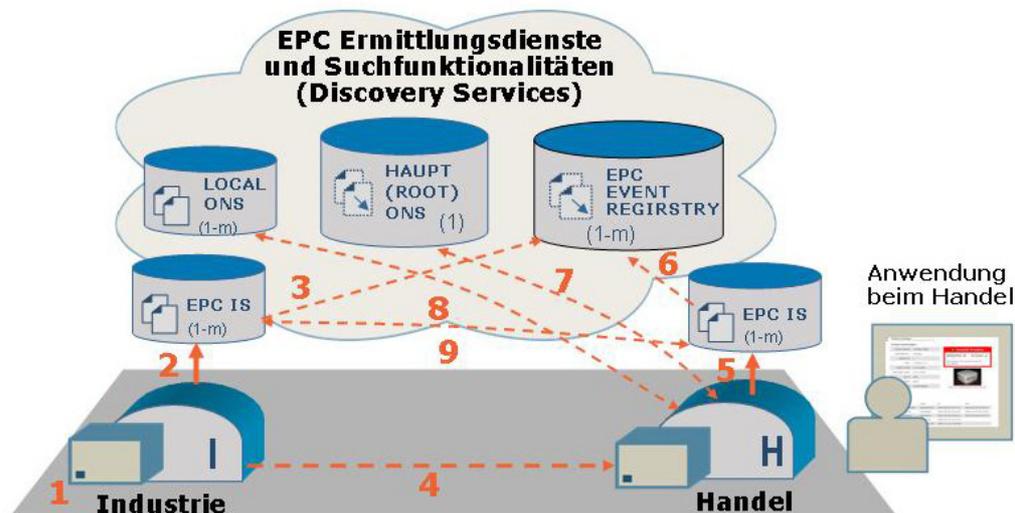


Abb. 4: Funktionsweisennetzwerk des EPCglobal (10)

Im Folgenden zur Erläuterung eine Legende zu den verschiedenen Phasen (10):

1. Der Lebenszyklus einer EPC-Nummer beginnt mit der Kennzeichnung des Produktes/Objektes beim Hersteller (Anbringung des EPC-Etiketts).
2. Der Hersteller nimmt die Produktinformationen für die entsprechende EPC-Nummer (z. B. Fertigungsdatum, Verfallsdatum, Ort) in den EPC-Informationsservice (EPCIS) auf.
3. Der EPCIS meldet dem Netzwerk das "EPC-Wissen" mit Hilfe der EPC-Ermittlungsservices (EPC Discovery Services). Das EPC Ereignisverzeichnis "merkt" sich den Ort dieser EPCIS-Server.
4. Das mit der EPC-Nummer gekennzeichnete Produkt (Objekt) wird an den Warenempfänger (Handel) versendet.
5. Der Händler zeichnet den "Empfang" des Produktes/Objektes bzw. der entsprechenden EPC-Nummer in seinem EPCIS auf.
6. Der EPCIS des Händlers meldet dem Netzwerk ein Event. Über die EPC-Ereignisverzeichnisservices wird das neue "EPC-Wissen" registriert.
7. Falls der Händler Produktinformationen benötigt, wird er den Haupt-ONS nach dem Ort des lokalen ONS des Herstellers "fragen".
8. Der lokale ONS-Server des Herstellers "findet" den EPCIS-Server für die gegebene EPC-Nummer.
9. Der Händler kann dann die gewünschten Produktinformationen (z. B. Fertigungsdatum, Mindesthaltbarkeitsdatum) abfragen.

Bei allen Phasen steuert EPC-Sicherheitsservices die Zugangsrechte zum EPCglobal-Netzwerk (Authentifizierung und Zugangsberechtigung).

B. RFID Anwendungs- und Forschungsansätze für die Bauindustrie

Im Folgenden werden ausgewählte Einsatzbereiche der RFID-Technologie in Forschung und Praxis vorgestellt:

Universität von Osaka:

Robotergestützte Konstruktion einfacher Fertigteilbauwerke durch mit Transpondern gekennzeichnete Einzelkomponente. Einbauposition und Einbauparameter werden über die RFIDs herangezogen. (6)

FIATECH Smart Chips Project:

Automatisierte Erfassung großformatiger, metallischer Rohrleitungselemente im Verladungsprozess, sowie Durchfahrt durch RFID Gates. Hierbei brachten passive Transponder gegenüber Barcodes keinerlei Vorteil. Wohingegen der Einsatz von aktiven UHF-Transpondern (inklusive Demontage und erneute Verwendung) im Zuge des Qualitätsmanagements zur Nutzungssteigerung beitrug. Eine fortlaufende Dokumentation des Lebenszyklus ist hier wegen der Demontage (aus Kostengründen) nicht möglich. (6)

HILTI:

RFID basiertes Diebstahlschutzsystem vergleichbar mit einer Wegfahrsperrre. Aktivierung der Geräte geschieht hierbei mittels einer Kundenkarte. (6)

GRADWOHL GmbH:

Vermietung und Verkauf von Baugeräten rund um die Uhr. Erfassung von Warenwegen über an Geräten angebrachte Transponder. (6)

Gera-Ident GmbH:

Beim Bau des Burj Dubai in den Vereinigten Arabischen Emiraten wurden Transponder zur elektronischen Dokumentation der Frischbetonlieferungen eingesetzt. Hiermit wurden auch Stand- und Fahrzeiten der Transportbetonmischer erfasst und dokumentiert. (6)

Carnegie Mellon University Pittsburg/ Civil & Environmental Engineering:

Versuche zur Nachverfolgbarkeit großer, kundenspezifischer Betonfertigteile auf weitflächigen Lagerflächen. Objekte sind mit aktiven und passiven UHF-Transpondern ausgestattet. Die Lesegeräte befinden sich am Portalkran. Zusätzlich werden Koordinaten mittels eines integrierten GPS-Moduls übertragen. Bislang konnte festgehalten werden, dass passive Lösungen durch Einfluss von Metall und Beton stark eingeschränkt wurden, wohingegen aktive Lösungen zunächst überzeugten. (6)

IntelliBau:

Institut für Baubetriebswesen der TU Dresden untersucht Einsatzmöglichkeiten passiver UHF-Transponder in Stahlbetonteilen in praxisnahen Versuchsreihen. Dabei sollen Lebenszyklusphasen vollständig erfasst werden. Speicherung der Informationen soll dezentral auf den Tags erfolgen, was jedoch durch Speicherkapazität und Langlebigkeit stark beeinflusst wird. (6)

Bau des Freedom Tower in New York City:

Das US-amerikanische Unternehmen WAKE überwachte mittels aktiven UHF-Tags der Firma IDENTEC Solutions die optimale Aushärtung des verwendeten Betons. Hierbei wurden mittels Sensortags die Temperaturdaten in einem bestimmten Intervall erfasst. Über die eingehenden Sensorinformationen konnte mit Hilfe des Überwachungssystems der Aushärtungsgrad definiert werden. (6)

Schreiner LogiData GmbH:

Kennzeichnung von Betonrohren in Abwassersystemen. Hierbei werden auf Transpondern Daten zur Wartung und Herstellung hinterlegt. Die Ablesung der Informationen geschieht mit Hilfe eines Roboters. (6)

PASCHAL-Ident:

Der Schalungshersteller Paschal entwickelte System zur Kennzeichnung von Schalung. Neben der Erkennung von Fälschungen dient das System auch zur Verbesserung der Produktqualität und -haftung sowie Rückverfolgbarkeit und Inventur. (6)

Fraunhofer Institute für Bauphysik und Mikroelektronische Schaltungen und Systeme:

Es wird der Einsatz von RFID zur Ermittlung statischer und dynamischer Informationen über die Baukonstruktion eines Gebäudes untersucht. Gekennzeichnet werden z.B. Fassaden- und Lüftungselemente, die bei der Auslieferung im Werk sowie der Abnahme und Montage erfasst werden. Es sollen datenbankhinterlegte Wartungs- und Einbauinformationen abrufbar sein, und der Baustatus wird laufend aktualisiert. (6)

Bergischer Universität Wuppertal:

Es wird ein integriertes Wertschöpfungsmodell in der Bau- und Immobilienwirtschaft (InWeMo) untersucht. Hierbei sollen Datenaustauschstrukturen in Anlehnung an das EPCglobal-Netzwerk in Form eines internetbasierten, zentralen RFID-Bauservers eingesetzt werden. Schwerpunkt der Forschungsarbeit soll die Definition einer standardisierten Datenhaltungsschicht für die Bauindustrie sein. (6)

ForBAU (Forschungsverbund):

Sieben Lehrstühle unter Koordination des Lehrstuhl für Fördertechnik, Materialfluss, Logistik der TU München erarbeiten ein Konzept zur ganzheitlichen Abbildung eines komplexen Bauvorhabens in einem digitalen Baustellenmodell. RFID dient dabei zur Erfassung der Ist-Daten zur Abbildung des Baufortschritts. Durch den Vergleich des Ist-Soll-Zustandes erhöht sich die Prozesstransparenz.

Flughafen Frankfurt - Wartungsarbeiten an Brandschutzklappen:

Die Wartungsarbeiten am Flughafen in Frankfurt am Main umfassen etwa 22.000 Brandschutzklappen, was jährlich 88.000 Datenblättern entspricht. Da der Gesetzgeber für solche Formulare eine mehrjährige Nachweispflicht voraussetzt, ergaben sich für die Fraport AG Schwierigkeiten bei der Auffindbarkeit und Archivierung der Dokumente. Die Daten wurden zwar nachträglich, manuell in ein EDV System eingebunden, jedoch ergaben sich durch den Medienbruch zahlreiche Fehlerquellen. Ein weiteres Manko war der Nachweis einer routinemäßigen Inspektion, der nicht in allen Fällen nachvollziehbar war.

Zu den aktuellen Projektzielen gehört die Zeitreduzierung sowohl bei der Erfassung der Informationen als auch beim Feststellen von notwendigen Reparaturen. Fehler, die bei der Übertragung der Angaben ins System auftraten, können so minimiert und eine verbesserte Datenübersicht geschaffen werden. Ein weiterer Vorteil der Anwendung ist der Wegfall eines andernfalls notwendigen Archivierungssystems. Die grundlegende Qualitätsverbesserung sorgt somit für eine vollständige Erfüllung der gesetzlichen Auflagen und die am RFID-Tag hinterlegten Daten machen es möglich, exakt nachzuvollziehen, welche Wartungen, von wem, zu welcher Zeit durchgeführt wurden.“ (11)



Abb. 5: Brandschutzklappen eindeutig identifizieren (<http://www.redaktionsserver.de>)

TU Darmstadt - Institut für numerische Methoden und Informatik im Bauwesen:

Zur Optimierung des Brandeinsatzes von Feuerwehr forscht das Institut für Numerische Methoden und Informatik im Bauwesen der TU Darmstadt an einem neuen Leitsystem auf Basis der sogenannten RFID-Technik.



Abb. 6: Kontextsensitives RFID-Gebäude-Leitsystem
(<http://www.detailresearch.de/aktuelle-entwicklungen/>)

B.1 Datenschutz und Umweltaspekte

Mit den elektromagnetischen Einflüssen auf die Umwelt scheint auch bei weiterer Zunahme der Nutzung, nach heutigem Erkenntnisstand, kein zusätzliches Risiko für die Bevölkerung verbunden zu sein. (4)

Nichtsdestotrotz ist der Umfang an entsprechender Literatur überraschend gering. Bei etwaigen numerischen Berechnungen an Körpermodellen von Erwachsenen und Kindern im Bereich 1kHz und 30kHz ermittelte man jedoch bei Kindern Beeinflussungen im Gehirn und Rückenmark, wohingegen bei Erwachsenen nichts ähnliches simuliert werden konnte. (12) Wegen laufender Forschungsvorhaben sollte dieser Aspekt nicht ungeachtet bleiben.

Im Zusammenhang mit der RFID-Technologie stehen derzeit Fragen des Datenschutzes und der Datensicherheit stark im Brennpunkt des öffentlichen Interesses. (4) Kritiker weisen auf Lücken, Schwachstellen und Missbrauchsmöglichkeiten hin: (13)

- Abhörbarkeit oder gezielte Störung der Luftschnittstelle
- Unbefugtes Auslesen, Deaktivieren oder Entfernen der Tags
- Fälschung der gespeicherten Daten, Vortäuschung einer anderen Identität.

B.2 RFID-Systemtechnik

Wie bereits einleitend erwähnt, besteht die RFID-Systemtechnik generell aus einem Schreib-/Lesegerät und einem Informationen enthaltenden, münzgroßen Tag. Die Kommunikation zwischen diesen beiden Geräten, sowie die Verarbeitung von Informationen stellt sich als ein elektrotechnisch komplexes Wissenschaftsfeld dar, welches in der Baubranche immer mehr zum Einsatz kommt.

Detaillierte Information zur RFID-Technik finden sich als Anlage in Kapitel A. Dabei werden elektrotechnische Zusammenhänge und Besonderheiten zur Datenmenge, Programmierbarkeit, Energieversorgung, Frequenzbereiche, Reichweiten, Datenübertragungen, Kopplungsarten etc. tiefgehend erläutert.

An dieser Stelle genügt folgende Übersicht zum Verständnis der RFID-Systemtechnik:

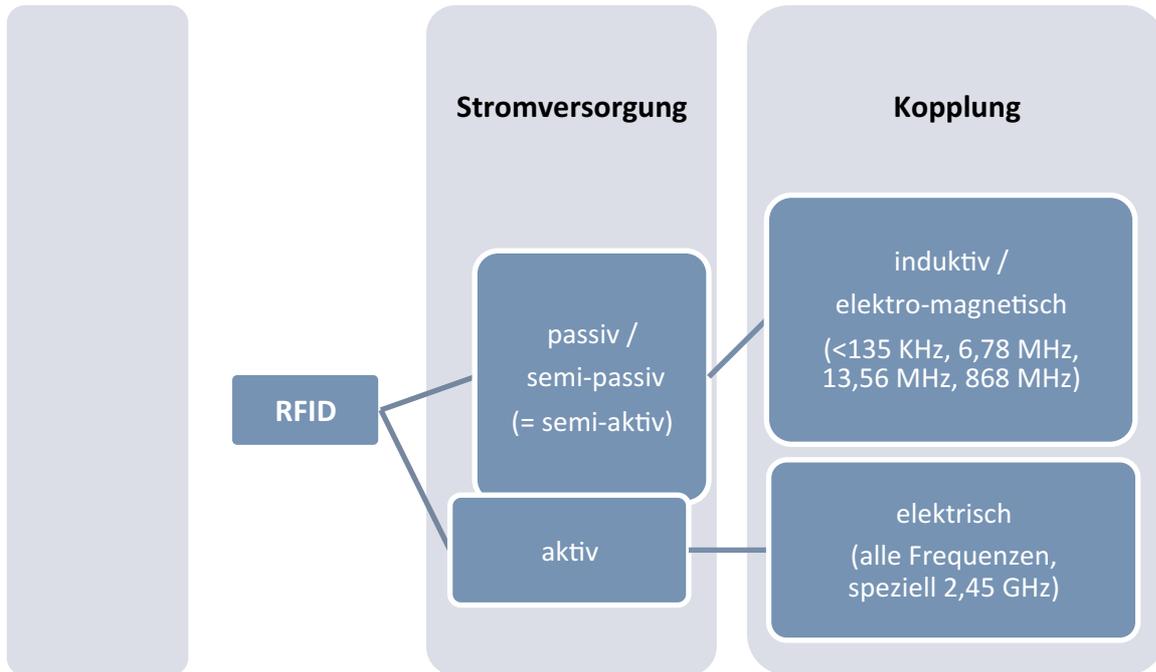


Abb. 7: RFID-Systemtechnik

Unter passiven RFID versteht man, dass die Betriebsenergie induktiv von einem Lesegerät zur Verfügung geliefert wird, damit der Informationsaustausch stattfinden kann. Bei semi-passiven Systemen ist der Transponder mit einer Batterie ausgestattet, welche den Betrieb des Transponders ermöglicht. Das Lesegerät führt lediglich Energie zum Datenaustausch zu und je nach Technik, um die Batterie aufzuladen. Aktive Systeme sind mit einer permanenten Stromquelle z.B. mit einer Batterie ausgestattet.

Bei allen Systemen gilt, der Informationsaustausch geschieht bei entsprechender Frequenz kabellos.

B.3 Klassifikation der RFID-Technologie

Die RFID-Technologie kann in fünf Klassen unterteilt werden.

Klasse	Beschreibung
1	Einfacher, passiver, Read-Only-Backscatter-Tag mit einmalig beschreibbarem nicht-flüchtigem Speicher
2	Ein passive Backscatter-Tag mit bis zu 65 kB Schreib-Lese-Speicher
3	Ein Semi-Passiver-Backscatter-Tag mit bis zu 65 kB Schreib-Lese-Speicher, im Wesentlichen ein Klasse-2-Tag mit einer eingebauten Batterie zur höheren Lesereichweite
4	Ein aktiver Tag mit eingebauter Batterie zum Betrieb der Mikrochip-Schaltkreise, sowie zur Versorgung eines Transmitters zur Übertragung eines Signals an ein Lesegerät
5	Ein aktiver RFID-Tag, der sowohl mit Klasse-5-Tags als auch mit anderen Einheiten kommunizieren kann

Tab. 7: Klassifikation der RFID-Technologie (14)

B.4 Vor- und Nachteile verschiedener Frequenzbänder

Die Kommunikation zwischen RFID und Lesegerät geschieht mittels Funkwellen in einer bestimmten Frequenz. Je nach Frequenz ergeben sich gem. (15) folgende Vor- und Nachteile.

Niederfrequenz 100 - 135kHz	
Vorteile	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Große Anzahl von unterschiedlichen Bauformen und Baugrößen der RFID-Transponder, RFID-Readern verfügbar ▪ Gute Durchdringung von nichtmetallischen Gegenständen, Wasser und organischem Gewebe ▪ Standardisierung durch ISO 11784/85 ▪ Relativ unempfindlich gegen metallische Umgebungseinflüsse ▪ Frequenzband weltweit verfügbar ▪ Hohe erlaubte Sendeleistung 	
Nachteile	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Keine gedruckten Spulen möglich, RFID-Transponder werden mit Drahtspulen gefertigt ▪ Geringe Übertragungsgeschwindigkeit ▪ Lesereichweite durch gesetzliche Bestimmungen beschränkt ▪ Große Reichweiten erfordern große Antennenbauformen 	

Tab. 8: Vor- und Nachteile von LF 100-135kHz (15)

Hochfrequenz 13.56MHz	
Vorteile	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Verwendung von günstigen passiven RFID-Transpondern, RFID-Readern ▪ Standardisierung durch ISO 15693, ISO 14443A und ISO 14443B ▪ Höhere Datenkapazität ▪ Mittlere Datenübertragungsgeschwindigkeit (26 kBit/s) ▪ Frequenzband weltweit verfügbar 	
Nachteile	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Hohe Dämpfung durch metallische Umgebung ▪ Lesereichweite durch gesetzliche Bestimmungen beschränkt ▪ Große Reichweiten erfordern große Antennenbauformen 	

Tab. 9: Vor- und Nachteile von HF 13.56MHz (15)

Ultrahochfrequenz 860 - 930MHz
Vorteile
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Große Reichweite ▪ Einfaches Antennendesign ▪ Kostengünstig ▪ Standardisierung (EPC)
Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Schlechte Durchdringung von Wasser und organischem Gewebe

Tab. 10: Vor- und Nachteile von UHF 860-930MHz (15)

Mikrowellenfrequenz 2,45 GHz
Vorteile
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Hohe Datenübertragungsgeschwindigkeiten ▪ Hohe Reichweiten
Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Große Bauform ▪ Preis ▪ Lebensdauer ▪ Batterie ▪ Keine Standardisierung

Tab. 11: Vor- und Nachteile von Mikrowelle 2,45 GHz

Die im Bauwesen eingesetzten Frequenzbänder befinden sich im Bereich < 135 KHz, da diese relativ unempfindlich gegenüber Störungen durch Stahl sind. Mit steigender Frequenz steigt auch die Empfindlichkeit der Funkwellen im Stahlbeton.

B.5 Auswahlmatrix für die RFID-Technologie

Eine allumfassende Auswahlmatrix zur Bestimmung erforderlicher Hardwareeigenschaften stellt sich als sehr komplex dar, denn in Abhängigkeit von den örtlichen Gegebenheiten, der Baukonstruktion, der Datenkommunikation, Erreichbarkeit, Wirtschaftlichkeit usw. muss stets die optimalste Lösung während des Planungsprozesses neu bewertet und ausgewählt werden.

Ferner stellen sich die Verknüpfungen zwischen den verschiedenen Eigenschaften als mehrschichtig dar, und Überschneidungen sowie gegenseitiger Ausschluss sind nicht vermeidbar.

Die entsprechend zu berücksichtigenden Kriterien bei der Planung und Wahl von Transpondern und Schreib-/Lesegeräten sollten mindestens wie folgt sein: Preis, Witterungsunabhängigkeit, Robustheit, Umfeld, Material, Reichweite, Lebensdauer, Speicherplatz und Datenanforderungen, Pulklesung, Lesegeschwindigkeit, Skalierbarkeit, Sicherheit.

Eine die Richtung weisende Auswahlmatrix auf Grundlage von RFID-Merkmalen sieht wie folgt aus.

Hierbei werden grundsätzlich die Technischen Eigenschaften in Abhängigkeit von der Reichweite

- bis 1m und
- über 1m unterschieden.

Bis ca. 1,0 m:

Frequenzbereich	Niederfrequenz	Hochfrequenz
Frequenz	125 – 134 kHz	13,56 MHz
Reichweite	Bis ca. 1m	Bis ca. 1m
Lesegeschwindigkeit	Langsam	Je nach ISO-Standard
Ausrichtung des Transponders beim Auslesen	Nicht nötig	Nicht nötig
Weltweit akzeptierte Frequenz	Ja	Ja
Typischen Transponder-Bautypen	Glasröhrchen-Transponder, Transponder in Plastikgehäuse, Chipkarten Smart Label, Chipkarten	Smart Label, Industrietransponder
Beispielhafte Anwendung	Zugriffs- und Routenkontrolle, Wegfahrsperrern, Wäschereinigung, Gasablesung	Wäschereinigung, Asset Management, Ticketing, Tracking/Tracing, Pulk-Erfassung

Tab. 12: Anwendung RFID-Technologie bis ca. 1m (14)

Ab ca. 1,0 m:

Frequenzbereich	Ultrahochfrequenz	Mikrowelle
Frequenz	868 bzw. 915 MHz	2,45 bzw. 5,8 GHz
Reichweite	Bis 4m	Bis zu 15m (in Einzelfällen bis zu 1 km)
Lesegeschwindigkeit	Schnell	Sehr schnell (aktive Transponder)
Ausrichtung des Transponders beim Auslesen	Teilweise nötig	Immer nötig
Weltweit akzeptierte Frequenz	Teilweise (EU/USA)	Teilweise (nicht EU)
Typischen Transponder-Bautypen	Smart Label, Industrietransponder	Großformatige Transponder
Beispielhafte Anwendung	Palettenerfassung, Container-Tracking	Straßenmaut, Container-Tracking

Tab. 13: Anwendung RFID-Technologie ab ca. 1m (14)

B.6 RFID Sensortechnik

RFID-Transponder ermöglichen es, zusätzlich mit Meßsensoren ausgestattet zu werden. Mittels solcher RFID-Sensoren können Daten berührungslos (ohne Kabel) ausgelesen und weiter verarbeitet bzw. interpretiert werden.

Durch die Integration von Sensoren erhöht sich die Funktionalität der RFID-Transponder. Transponder mit integrierter Sensortechnik können je nach Einsatzbereich und eventuell bei häufiger und automatischer Datenerfassung die Möglichkeit des Überschreibens und Ergänzens von Daten gewährleisten. (16)

Prinzipiell können folgende physikalischen oder chemischen Eigenschaften qualitativ oder auch quantitativ mittels Sensoren erfasst werden:

- Wärmestrahlung,
- Temperatur,
- Feuchtigkeit,
- Druck,
- Schall,
- Schwingungen,
- Verformungen,
- Beschleunigung,
- Leitfähigkeit,
- Kraft.

Die Verarbeitung der Messwerte kann hierbei entweder je nach Ausstattung des Schreib-/Lesegerätes bereits in diesem oder in einer weiteren Hard-/Softwarekomponente erfolgen.

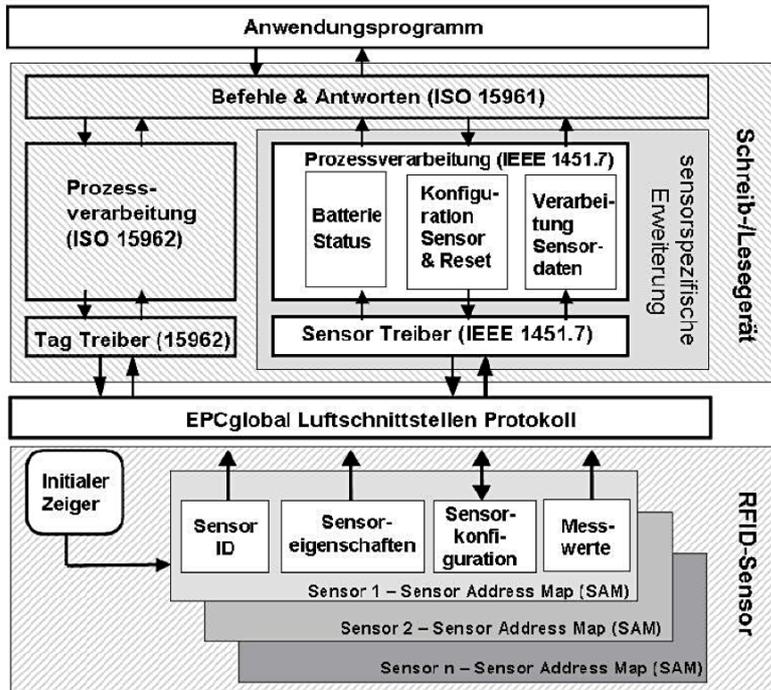


Abb. 8: Datenaustausch Anwendungsprogramm – RFID-Sensor (9)

Abhängig von den eingesetzten Tags, aktiv oder passiv, spricht man auch von aktiven bzw. passiven Sensoren. Aktive Sensoren geben in einem bestimmten Zeitintervall eine Spannung oder Strom ab (für Funktion ist Strom erforderlich), die zeitgleich gespeichert wird, wohingegen passive Sensoren lediglich passiv d.h. beim Auslesen bestimmte elektrische Größen wiedergeben (z.B. den Widerstand eines Dehnungstreifens in Abhängigkeit von seiner Dehnung oder Korrosionszustand). Beim Einsatz von passiven Sensoren spricht üblicherweise von Detektoren und damit von Frühwarnsystemen.

Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens werden passive RFID mit Korrosions- und Feuchtesensoren eingebaut und geprüft. Die Ergebnisse werden ausgewertet und die Praktikabilität für die Bauwerksprüfung anschließend diskutiert.

B.7 Schlussfolgerungen und Empfehlung für Einsatz der RFID-Technik im Bauwesen

B.7.a Allgemeines

Im Rahmen des Forschungsprojektes „Integriertes Wertschöpfungsmodell mit RFID in der Bau- und Immobilienwirtschaft (InWeMo)“ hat das Lehr- und Forschungsgebiet Baubetrieb und Bauwirtschaft (LuF B&B) der Bergischen Universität Wuppertal recherchiert, welche RFID-Systeme in der Bau- und Immobilienwirtschaft derzeit angewendet werden. Hierzu heißt es:

„...ist zu erwähnen, dass innerhalb der RFID-Technik jeder Frequenzbereich sowie aktive und passive Systeme für einen Teil der potenziellen Anwendungen geeignet ist. Daher wird es nicht dazu kommen, dass irgendwann eine einzige RFID-Technik für alle RFID-Anwendungen genutzt werden kann.

Allerdings können auf der Ebene des Informationsflusses technisch unterschiedliche RFID-Systeme (sowie weitere Auto-ID-Systeme) miteinander kombiniert werden, z. B. indem ein einheitliches und standardisiertes (sowie zu in anderen Auto-ID-Bereichen kompatibles) Nummernsystem, wie z. B. der EPC, und das „Data-on-Network“-Prinzip verwendet wird. Von GS1/EPCglobal wird derzeit daher neben, der Standardisierung der Technik im HF- und UHF-Bereich insbesondere die des Nummernsystems EPC sowie die des Datenaustauschs bzw. der Schnittstellen im Informationsfluss vorangetrieben (vgl. das EPCglobal-Konzept zum „Internet der Dinge“).“ (17)

Folglich kann die Informationslücke zwischen der Informationsebene und der Objektebene mittels der RFID-Technik derzeit am besten geschlossen werden, ohne andere Auto-ID-Technologie jemals zu verdrängen.

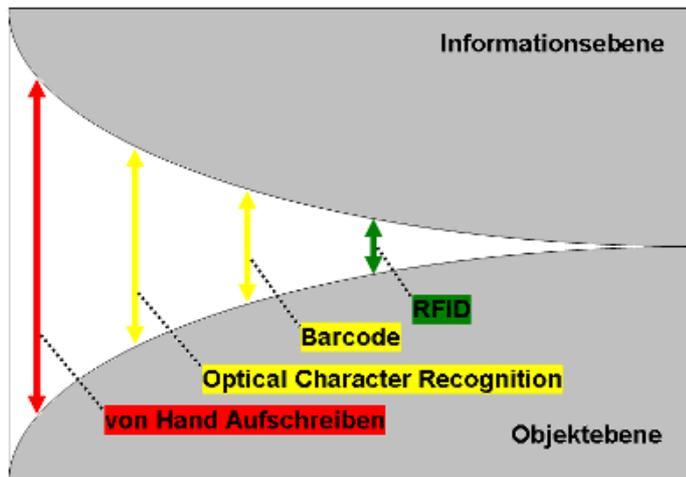


Abb. 9: Lücke Informationsebene-Objektebene (de.wikibooks.org)

Eine Definition des „Internet der Dinge“ findet sich auf Wikipedia: „Das Internet der Dinge (auch engl.: Internet of Things) bezeichnet die Verknüpfung eindeutig identifizierbarer physischer Objekte (Things) mit einer virtuellen Repräsentation in einer Internet-ähnlichen Struktur. Das Internet der Dinge besteht nicht mehr nur aus menschlichen Teilnehmern, sondern auch aus Dingen.“

In Abstimmung mit weiteren Forschungsinstitutionen wird daher empfohlen, das EPCglobal-Netzwerk als Basis der Netzstruktur zum Informationsaustausch zu nutzen.

B.7.b Einsatzmöglichkeiten von RFID im Bauwesen (allgemein)

Resultierend aus der Literaturstudie sind im Folgenden generelle Einsatzmöglichkeiten und Chancen der RFID-Technik im Bauwesen dargestellt.

Eine Selektion des Anwendungsbereiches innerhalb des ISIS-Moduls sowie hinsichtlich der Praktikabilität im Bauwesen befindet sich im nächsten Kapitel.

Zweck	Einsatzempfehlung	Erläuterung
Allgemein	Master-RFID	An einer bestimmten Stelle an jedem Bauwerk zur Identifikation und Referenzierung des Bauwerks
Bauablauf	Waren-/Lagerbestand mittels RFID	Logistik, Inventur etc.
	Personenidentifikation	Registrierung von Baustellenpersonal und Zeiterfassung
	Betontemperatur	Temperaturentwicklung im erhärtenden Beton
	Frischbetonlieferung	Überwachung der Anlieferungszeit, Standzeit etc.
	Diebstahlschutz von Baugeräten	Aktivierung Geräte nur mittels Transponder
	Schalungstechnik	Zur Identifizierung und Erkennung von Fälschungen, Produktqualität
Dauerhaftigkeit	Korrosionssensor und Feuchtesensoren	An bestimmten neuralgischen Stellen
	Schadensverortung/ Positionsbestimmung	Durch Bauwerksprüfer mittels Lesegerät oder Kamera
	Verformung/ Durchbiegung	Feststellen der Verformung und Durchbiegung von Bauteilen
Betrieb	Autobahnvignette/ Mauterfassung	Zur Identifikation von Fahrzeugen/ Autobahnnutzern, Abrechnungen

Tab. 14: Empfehlungen für den Einsatz der RFID-Technik im Bauwesen

B.7.c Empfehlungen für den Einsatz von RFID in ISIS (speziell)

Hinsichtlich des Programmoduls ISIS und der jeweiligen Datenerfassung mittels der RFID-Technologie soll die vorherige Tabelle auf die baurelevanten Bereiche eingegrenzt werden.

Hier werden Aspekte wie Praktikabilität und aktueller Stand der Technik berücksichtigt.

Praktikabel stellen sich derzeit die Anwendung von RFID in niederfrequenten Bereich, weil hierbei zum Beispiel die Einflüsse aus Dämpfung und Reflexion in Stahlbetonkonstruktionen und auch die Abmessungen der Lesegeräte vertretbar sind, d.h. auch die Benutzung durch einen Bauwerksprüfer händisch vor Ort zumutbar ist.

Für Autobahn-Betriebszwecke würde man aktive und großformatige Lesegeräte in Rahmentragwerken entlang der Strecken befestigen.

Zweck/ Phase	Einsatzempfehlung	Erläuterung
Allgemein	Master-RFID	An einer bestimmten Stelle an jedem Bauwerk zur Identifikation und Referenzierung des Bauwerks
Dauerhaftigkeit	Korrosionssensor und Feuchtesensoren	An bestimmten neuralgischen Stellen
	Schadenskennzeichnung	Anbringung durch Bauwerksprüfer zwecks ID und Verknüpfung zur Datenbank(keine Koordinatenbestimmung)
Betrieb	Autobahnvignette/ Mauterfassung	Zur Identifikation von Fahrzeugen/ Autobahnnutzern, Abrechnungen

Tab. 15: Empfehlungen für den Einsatz der RFID-Technik im Modul ISIS

Die oberen Bereiche Master RFID, Korrosions- und Feuchtesensoren werden im Rahmen dieses Forschungsvorhabens untersucht und ausgewertet.

C. RFID-Technik in der Praxis

C.1 Tracking und Tracing

Bereits 2008 bestanden Pläne zum Betrieb neben dem mehr oder weniger ungenauen GPS-Positionsbestimmungssystem eines US-militär~~un~~abhängigen europäische Systems, welches mehr Funktionen und im Gegensatz zum GPS und für nicht kostenfreie Dienste eine Servicegarantie gewährt, und zwar GALLILEO. Jedoch sollen nach heutigen Informationen 2014 genügend Satelliten sich in der Erdumlaufbahn befinden, um ein erdumspannendes Netz zu gewährleisten.

Galileo wird ein europäisches, weltweit verfügbares, satellitengestütztes Navigationssystem mit verbesserten Funktions- und Dienstmerkmalen. Möglichkeiten des Galileo-Systems erstrecken sich neben der gegenüber GPS um ein Vielfaches genaueren Positionsbestimmung und Ortung auf z.B. Überwachung von Containeraktivitäten. Hierfür sind die Container mit entsprechenden RFID-Sensoren auszustatten, welche z.B. den Status der Tür (zu/offen), die Temperatur, Ladezustand etc. prüfen und melden. (9)

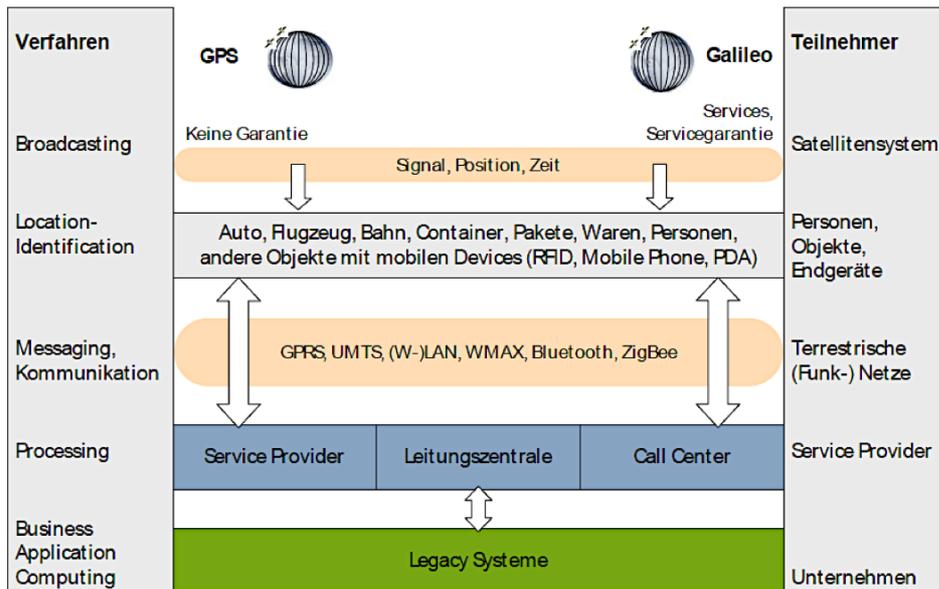


Abb. 10: Vergleich der Services Galileo und GPS (9)

Die Positionsbestimmung des Galileo-System soll bis auf 10cm genau sein. (18)

Einsatzbereiche von Galileo erstrecken sich auf folgende Bereiche:

- Luftfahrt (Streckennavigation, Landungsvorgänge etc.)
- Seefahrt (Hafenverkehr, Einfahrt in Häfen, automatische Schiffsidentifikation etc.)
- Straßenverkehr (Fahrassistentensysteme, Speicherung von Positionsdaten kombiniert mit Zeitangaben etc.)
- Schienenverkehr (Zugsteuerung und Überwachung, Fehlerlokalisierung)
- Finanzen, Banken, Versicherungen
- Landwirtschaft und Fischerei
- Personennavigation
- Rettungswesen
- Vermessungswesen (z.B. Großbauvorhaben)

Aus Quelle (9) sind im Weiteren zwei Beispiel zum Einsatz von Galileo in Kombination mit der RFID-Technik abgebildet:

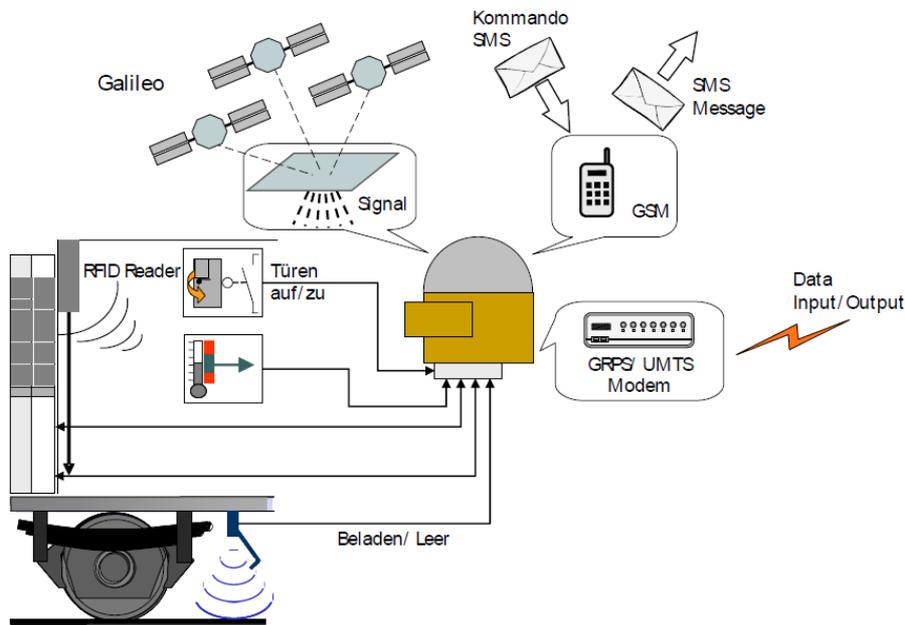


Abb. 11: Beispiel einer RFID-Sensor Control Unit (9)

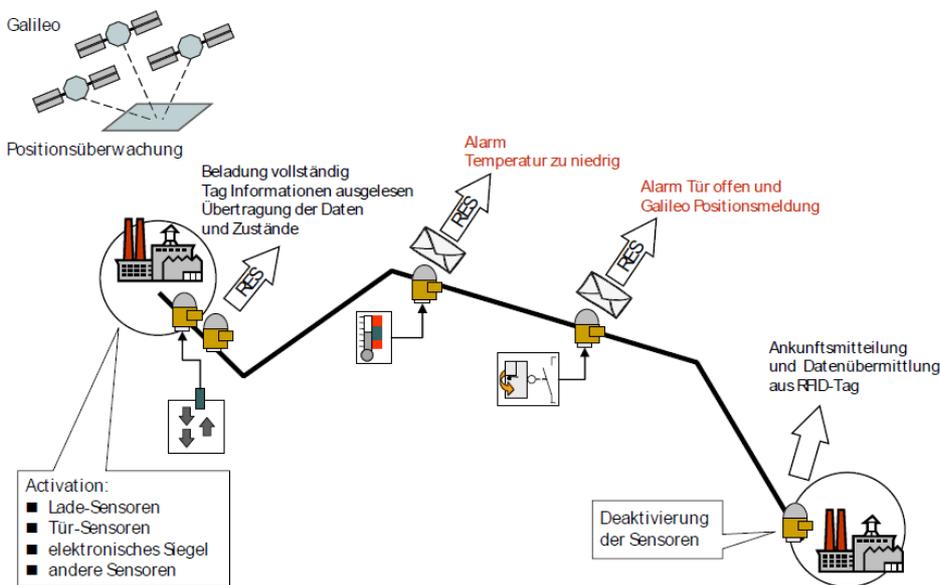


Abb. 12: Aktivierung, Statusmitteilung und Deaktivierung (9)

Unter Berücksichtigung, dass das Galileo-System zusätzlich zu seiner allgemeinen Funktionalität das terrestrische (Funk)-Netzwerk verwendet, kann hinsichtlich der Baustellenorganisation und -logistik ein enormes Potenzial prognostiziert werden.

Aus technischer Sicht ist derzeit zur Verortung in geschlossenen Räumen (Indoor) mittels Satellitentechnik Sichtkontakt zum diesem oder entsprechende, aufwendige Umlenk- und Verstärkungstechnologien notwendig. Daher ist die Praktikabilität der Verortung in oder unter Brückentragwerken stark eingeschränkt bzw. kostspielig.

Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens wird das Verfahren der GPS-Ortung für die Brückenprüfung nicht weiter verfolgt. Vielmehr eignet sich diese Technik für betriebliche Zwecke, wie z.B. bereits in der Mobilien Betriebsdatenerfassung MBDE (siehe Anhang F: Prozessbeschreibung Betrieb und Erhaltung) enthalten.

C.2 Lebenszyklusphasen im Bauwesen

Zur Verfolgung der Lebenszyklusphasen von Bauteilen in z.B. Brücken oder Tunneln, ergibt sich primär das Interesse zur funkbasierten Positionsbestimmung von entsprechenden Schäden, wo nicht zwingend der Empfang zur Satellitentechnik gewährleistet ist.

Aktuelle Positionsbestimmungssysteme auf Basis der aktiven RFID-Technologie funktionieren, indem das Bezugssystem von mindestens 3 aktiven Transpondern mit eindeutig identifizierbaren Funkwellen aufgespannt wird, damit die Basisstation (hier das Fahrzeug) sich in diesem Bezugssystem in Echtzeit ortet. Ein hierzu marktreifes System wird von der Firma SYMEO für die Stahlfertigung und Logistik vertrieben (s.u.).

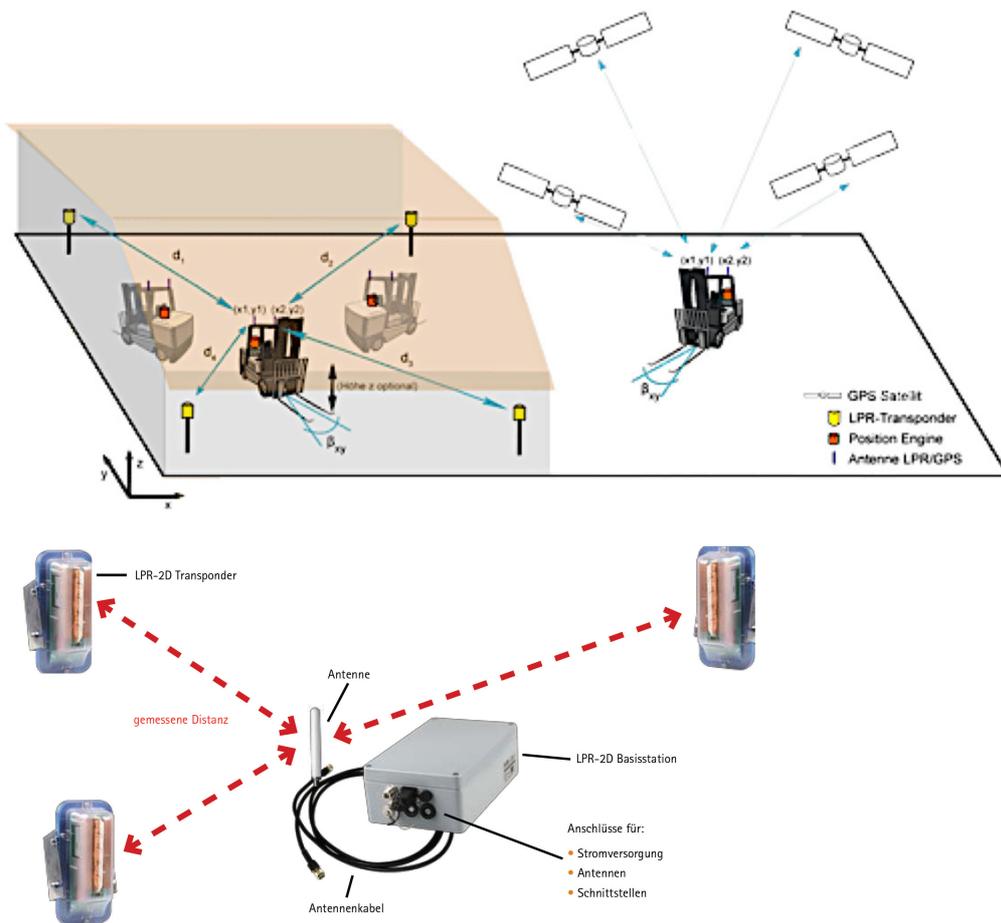


Abb. 13: Innen und Außenortung (www.symeo.com)

Bei dem zuvor vorgestellten System wird kombiniert von der GPS-Ortung (außen) und der Transponderortung (innen) Gebrauch gemacht. Die Positionsbestimmung erfolgt zentral.

Für die Baubranche ist diese Technik hinsichtlich des Betriebes als zu teuer einzustufen. Ferner ist die Praktikabilität aus folgenden Gründen nicht gewährleistet:

- Einsatz aktiver (kabelgebundene Stromversorgung) und festinstallierter Transponder
- Anzahl der Transponder ergibt sich aus der Notwendigkeit an jeder Position mindestens mit drei Transpondern Sichtkontakt zu haben
- Positionsbestimmung wird zentral auf Grundlage der Funk-Informationen der Basisstation durch ein weiteres Softwaresystem bestimmt (s. Tab. 16 bzgl. verschiedener Ortungstechniken)

Die aktuelle Forschung bemüht sich weiterhin, passive Funk-Tags als feste Bezugspunkte zu definieren, da diese wesentlich kostengünstiger als Lesegeräte sind, und es obliegt dem Benutzer, ob und wem die Position bekannt gegeben wird. Die Position soll hierbei auf dem Lesegerät ermittelt werden. (19)

Es stehen vier Verfahren zur Positionsbestimmung zu Verfügung:

Verfahren	Vorteile	Nachteile
COO (Cell of origin)	Leicht und mit jeder Hardware realisierbar	Sehr ungenau
Signalstärkebasiert	Jegliche Hardware, die Signalstärke erfasst, ist geeignet und Genauigkeitsverbesserung durch Radiomaps	Anfällig gegenüber Störungen der Signalausbreitung z.B. durch Umgebungsveränderungen
TOA/ TDOA (Time of arrival/ Time difference of arrival)	Hohe Genauigkeit bei exakten Uhren und weniger beeinflusst von Veränderungen in der Umgebung	Zeitmessung nicht in jeder Hardware möglich, aufwändige Uhrensynchronisation nötig, Störung durch Multipath-Ausbreitung. Daher ist für präzise Ortung meist Sichtverbindung vorzusetzen.
AOA (Angle of arrival)	Nur 2 Basisstationen nötig	Nur mit sehr spezieller Hardware (z.B. Antennenarrays) realisierbar

Tab. 16: Übersicht Verfahren zur RFID-basierten Ortung (19)

Bisherige Tests mit passiven Funktags liefern wegen der störrischen Umgebungsbedingungen in Brückentragwerken stets unzureichende Genauigkeiten und verhältnismäßig geringe Reichweiten.

Da also in allen Brückenbauobjekten die mannigfaltigen Störquellen eine praktikable Anwendung der RFID-Technik zur Verortung aus heutiger Sicht unmöglich machen (im Mittel Ortungsgenauigkeiten > 5 m), bleibt diese Thematik für weitere Jahre Teil der wissenschaftlichen Untersuchungen hinsichtlich physikalischer und elektromagnetischer Grenzen und Gesetzmäßigkeiten in störrischen Zonen bei gleichzeitiger Kostenoptimierung.

Die Identifikation von Baugliedern oder Schäden über RFID (Voraussetzung: Position bekannt) hingegen und das zusammenhängende Abfragen von Informationen aus einer Datenbank stellen keine Schwierigkeit dar. Hierbei müssten lediglich bestimmte Bauteile oder Schäden mit einer eigenen RFID versehen und in einem Plan vermessen und eingezeichnet werden. Über das Lesegerät können schließlich jegliche in einer Datenbank mit einer bestimmten ID verknüpfte Informationen geladen werden.

C.3 Fernabfragung – über RFID zu ZigBee und Rubee

Bisweilen existieren neben RFID als Nahbereichsfunktechnik weitere und teils fortschrittlichere Technologien. Dazu zählen auf der Low-Power-Seite *RuBee* und *ZigBee*. Nahbereichstechnologien mit höherem Strombedarf sind *Bluetooth*, *UWB* und *WLAN*. Fernbereichstechnologien sind *GSM*, *WiMax* und *UMTS*. (20)

Auf die einzelnen Funktechnologien wird nicht weiter eingegangen, sondern lediglich die die RFID-Technik unterstützenden oder zukunftsweisenden Technologien vorgestellt. Die Informationen hinsichtlich Entwicklung der Funktechnologie sind aus (20) entnommen. In (20) wird zudem ein „hybrider Ortungsansatz“ untersucht, welcher es möglich machen soll, mittels eines spezielles Lesegerätes verschiedene in einer Umgebung vorhandenen Funktechnologien zur Optimierung der Ortungsergebnisse (Selbstortung) heranzuziehen.

Wie bereits mehrfach beschrieben, zeigen sich Nachteile der RFID-Technologie bei Verwendung auf oder in unmittelbarer Nähe von Metallen oder in Flüssigkeiten. Schreib-/Lesegeräte sind ebenfalls teuer und die RFID können nicht untereinander kommunizieren. Hier treten die neuen Technologien *RuBee* und *ZigBee* auf, welche versprechen, die Probleme der RFID-Technik zu beseitigen.

RuBee ermöglicht zum Beispiel mit kaum Signalverlust durch Flüssigkeiten und anderen Materialien die Peer-to-Peer-Kommunikation, benötigt jedoch folglich eine Stromversorgung, welche jedoch derart gering sei, dass der Betrieb über mehrere Jahre wartungsfrei möglich sei.

ZigBee ermöglicht ergänzend zu *RuBee* die Multihop-Funktionalität, d.h. Signale können bei hohen Datenübertragungsraten (500 kbit/sec) und hohen Reichweiten über mehrere Knoten weitergereicht werden. Es sei ebenfalls eine Stromversorgung wie beim *RuBee*-System notwendig.

Heutzutage könnten die Techniken *ZigBee* und *RuBee* wegen ihrer Vernetzbarkeit zur Fernabfragung von Sensordaten hinzugezogen werden. Hierzu müssten an definierten Stellen Sensoren in der benötigten Netzwerkinfrastruktur eingebaut worden sein.

Nach Auskunft der Firma *Selfsan Consult* werden dieser Art von fernabfragbaren RFID-Sensoren frühestens Mitte des Jahres 2013 marktreif sein. Aus diesem Grund kann diese Technik im Rahmen des Forschungsvorhabens nicht weiter untersucht werden. Die Identifikation eines Bauwerks und das Auslesen und Verwalten von Informationen von einzelnen RFID-Sensoren wird im Rahmen dieses Forschungsvorhabens eingebaut und geprüft.

C.4 Hardwarekomponenten

Visualisierung:

Aus Sicht der Bauwerksprüfung sind den Prüfprozess nicht erschwerende Hardwarekomponenten Tablet-Computer, wie z.B. *Apple iPad* oder *teXXmo Kaleo*. Für die Projekt-Demonstrationszwecke werden im Rahmen dieses Forschungsvorhabens eine Visualisierungssoftware und Formulare für das *Apple iPad* verwendet.

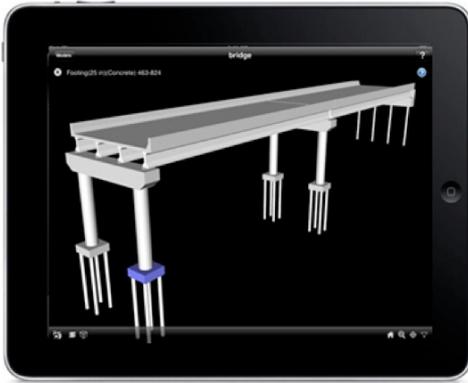


Abb. 14: Apple iPad (www.testspiel.de) beispielhaft mit Brücken-Visualisierung (communities.bentley.com)



Abb. 15: teXXmo Kaleo mit MS Windows 7 (www.it-production.com/)

Auslesung von Sensorinformationen:

Die Auslesung von Informationen aus dem RFID-Sensor geschieht im Zuge dieses Forschungsvorhabens mittels eines Lesegerätes von AEG mit der Typenbezeichnung ARE H5. Bislang war es notwendig bei jeder Messung den Abstand des Lesegerätes beim Auslesen mittels eines Zollstockes abzugreifen. Ein aktuelles Ausstattungsmerkmal des ARE H5 ist ein Stellrad, mit dessen Hilfe bei Auflegen des Lesegerätes auf eine Auflagerplatte über dem Sensor, die Feldstärke von der Einstellung 0 bis 24 erhöht bzw. gesenkt werden kann. Die Position des Stellrades gibt bei der Initialmessung eine Auskunft darüber, wie viel Energie notwendig ist, um die Kommunikation zum Sensor zu ermöglichen.

Einschub:

Es wurde weiterhin während der Recherchetätigkeiten mit der Fa. teXXmo über ein Lesemodul für den Kaleo Tablet-PC diskutiert. Die Fa. teXXmo hatte hierzu entsprechende Hardwarekomponenten, die den Funktionalitäten des AEG ARE H5 entsprechen, finden können. Ein Zusammenbau und Prüfung eines entsprechenden Gerätes wird jedoch im Rahmen dieser Forschungsarbeit nicht stattfinden, sondern das AEG ARE H5 verwendet. Für die weitere Entwicklung dieser Technik sollte jedoch dies System zwecks Automatisierung, Schnittstellenreduzierung und Vereinfachung des Prüfungsvorganges berücksichtigt werden.

Bei einer späteren zweiten Messung während der Prüfungsaktivitäten zur Feststellung der Betonkorrosion sollte im Optimalfall dieselbe Feldstärke (gleiche Stellradposition) zur Kommunikation notwendig werden. Schreitet jedoch zum Beispiel die Korrosion voran, wird beim Auslesen eine höhere Stellradposition, d.h. eine höhere Energie gegenüber der Initialmessung zur Kommunikation notwendig. Dies rührt aus der Widerstandserhöhung im Sensordraht aufgrund der Korrosion. Aus diesem Zusammenhang heraus wird zur Visualisierung eine Ampeldarstellung im Softwaremodul implementiert.

Für Feuchtesensoren ist das Verhalten des Sensors umgekehrt. Im eingebauten Zustand, d.h. im nassen Beton ist zur Kommunikation kaum Energie notwendig und mit der fortschreitenden Dauer nimmt die zur Kommunikation erforderliche Energie zu. Fällt nach einer bestimmten Trocknungsphase die erforderliche Energie, ist dies ein Hinweis darauf, dass Feuchtigkeit eingedrungen ist. Hierzu wird ebenfalls zur Visualisierung eine Ampelfunktion eingebaut.

C.5 Praxistests RFID

C.5.a Stahlbetonkorrosion

Die Firma Selsan Consult GmbH bietet unter dem Obergriff corroDec® Lösungen zur zerstörungsfreien Detektion von Korrosion und Feuchtigkeit in Stahlbetonkonstruktionen.

Bislang befand sich der Schwerpunkt zur Ermittlung von Korrosion auf der drahtgebundenen kontinuierlichen Messung des Elektrolytwiderstandes, bzw. der Messung eines elektrochemischen Elementes; heutzutage geht man mehr und mehr zum Ansatz der RFID-unterstützten Sensortechnik über.

Hierzu führt Selsan folgende Erläuterung zur Funktionalität auf: An der Außenseite eines runden Spezialgehäuses liegt ein Meßdraht aus Stahl, der mit dem in Kunstharz ausgegossenen Inneren verbunden ist. Ein speziell für den Korrosionssensor angefertigter RFID-Chip registriert/detektiert die Zustandsänderung (Durchrosten) des Stahldrahtes. Diese Zustandsänderung wird als Änderung der Aktivierungsreichweite (mind. – 15% Änderung gegenüber der Aktivierungsreichweite des Master-Tags nach der Null-Messung) dargestellt. (21)



Abb. 16: Korrosionssensor (21)

Die Verwendung von Korrosionssensoren dient der Vorbeugung von Schadensbildern wie Lochfraß, Rost, Abplatzungen und Rissen, die aus Alterung (Karbonatisierung), Kohlendioxid, Säure oder Tausalzeinwirkungen herrühren.

Bei diesen Sensoren handelt es sich um passive Sensoren zur direkten Abfrage vor Ort. Die Lebensdauer solcher Sensoren beträgt gem. Selsan mindestens 50 Jahre. Bei einer Lesereichweite von max. 40 cm kann der Korrosionsfortschritt gemessen und graphisch dargestellt werden.

Die Korrosions-Sensoren sind mit 2 Sensordrähten ausgestattet. Sobald der erste Sensordraht korrodiert, sollten weitere Messungen in regelmäßigen Abständen erfolgen, um den Korrosionsfortschritt zu bestimmen, aus welchem wiederum das Erreichen der Bewehrung mit den entsprechenden wissenschaftlichen Methoden ermittelt oder Sanierungsmaßnahmen eingeleitet werden können.

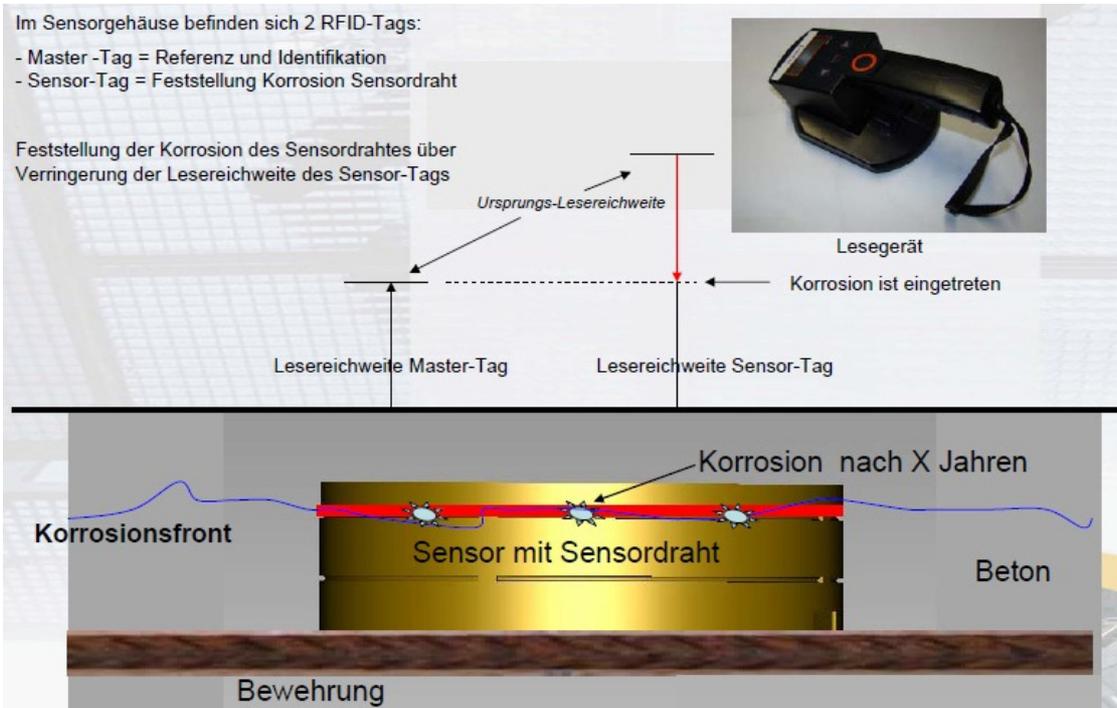


Abb. 17: Funktionsprinzip Master/Sensor-Tag (21)

In der obigen Abbildung ist das Funktionsprinzip des Master- und Sensortags dargestellt, wonach die Korrosion am Sensordraht über Verringerung der Lesereichweite festgestellt werden kann. Der Master-Tag dient hierbei der Referenzierung/ Identifikation und der Sensor-Tag der Feststellung der Korrosion.

Die folgenden Abbildungen zeigen schematisch den Auslesevorgang sowie Einbau von RFID-Detektoren im Bestand bzw. bereits vor der Betonage.



Abb. 18: Einbau eines Sensors vor dem Betonieren (li) und als Kernlochbohrung am Bestandsbauwerk (re) (21)

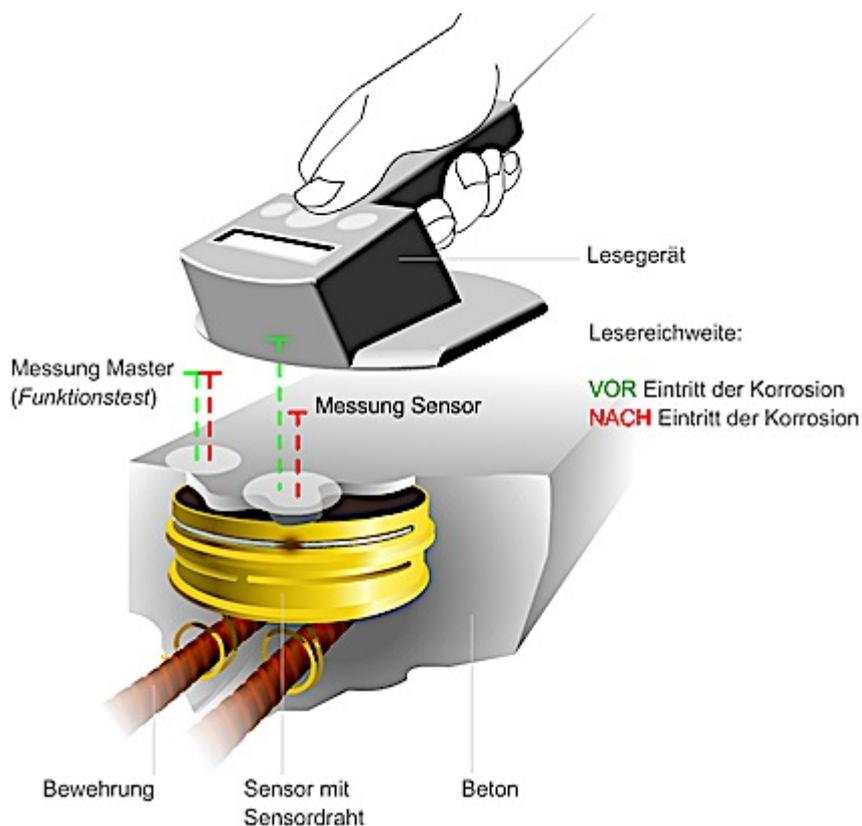


Abb. 19: – Schematische Darstellung des Auslesevorgangs von RFID-Detektoren (21)

Eine Sonderbauform von corroDec® geht dahin, dass der Sensordraht und RFID-Sensortag örtlich bis zu 1m-Abstand voneinander getrennt werden können. Durch diese Entkoppelung lassen sich Lesereichweiten erhöhen bzw. Lesepunkte (physikalisch begrenzt auf 1m) verlagern.



Abb. 20: Korrosionssensor – passiv, Einbaulänge 100cm, (li) flexibel, (re) steif (21)

Nach eingehender Erfahrung liegt die optimale Lesefrequenz für passive Sensoren im Beton bei 125kHz, da hierbei unter Berücksichtigung aller Rahmenbedingungen die Technologie unempfindlich gegenüber Abschirmung durch Bewehrung, EMV/Blitzbeeinflussung, sowie äußeren mechanischen Einflüssen ist. Die RFID-Transponder sind EM4100 kompatible Transponder (64 bit Manchester Encoding) HDX (Halbduplex).

Die weitere Entwicklung bei Selsan GmbH beinhaltet ein fernabfragbares Sensorsystem (siehe hierzu Kapitel C.3), das aus auf der Bauteiloberfläche aufgeschraubten, kabellosen, stationären und aktiven Mini-Lesegeräten, welche permanent in einem bestimmten Intervall Informationen aus dem Sensortag im Beton auslesen und an einen weiteren Empfänger drahtlos weitergeben kann, besteht. Mittels Anbringung von kleinen Funkeinheiten können weiterhin die Mini-Lesegeräte zwecks gesammelter Informationsweitergabe vernetzt werden. Diese werden ab ca. Mitte 2013 zur Verfügung stehen.



Abb. 21: Aktives RFID-Sensornetzwerk zur Fernabfragung (21)

Die Datenauslesung kann hierbei automatisch erfolgen, so dass Zustandsänderungen über die Zeit erfasst werden. Die Lebensdauer dieser Funksensoren beträgt abhängig von Auslesehäufigkeit ca. 10 - 20 Jahre.

C.5.b Überwachung der Betonaushärtung

In verschiedenen Bauprojekten (z.B. beim Bau des neuen „World Trade Centers“ in New York City) kommen aktive RFID-Tags zur Überwachung der Betonaushärtung zum Einsatz. Spezielle Transponder werden direkt in die Betonstücke eingegossen.

Die Transponder sind mit Sensoren ausgestattet und können so den Temperaturverlauf innerhalb des Betons dokumentieren. Diese Daten lassen sich von außen leicht mit einem Lesegerät erfassen. Auf diese Weise kann genau festgestellt werden, wann der Beton vollständig getrocknet ist. So lässt sich der ideale Zeitpunkt zum Verbauen bestimmen, und Qualitäts- und Sicherheitsmängel sowie unnötige Wartezeiten können vermieden werden. (22)



Abb. 22: RFID-Transponder im Ort-Beton (www.harting-rfid.com)

Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens wird diese aktive RFID-Messtechnik nicht weiter untersucht.

C.5.c Überwachung der Abdichtung mittels Feuchtsensor

Die Firma Selsan Consult GmbH bietet für Brückenneubauten und Parkhäuser zur Überwachung von Abdichtung den Einsatz von passiven Feuchtsensoren.

Diese Sensoren haben eine ähnliche Funktionalität wie die Korrosionssensoren in Kapitel C.5.a. Einziger Unterschied ist, dass die Feuchtesensoren mit nur einem Sensordraht ausgestattet sind und die Info Feuchtigkeit vorhanden oder nicht vorhanden liefern.

Diese Technik wird in einer realen Einbausituation im Rahmen dieses Forschungsvorhabens untersucht.

C.6 Fazit

Im Bausektor findet die RFID-Technologie großen Anklang und dem Ideenreichtum scheinen keine Grenzen gesetzt. Ein weitaus größerer Bedarf hinsichtlich der RFID-Implementierung ergibt sich aus veralteten EDV-Strukturen und der derzeit personen- und kostenintensiven Identifizierung von Objekten mittels z.B. Bar-Code-Systemen.

Der Nutzen im Bausektor erscheint enorm und sowohl Forschung als auch Praxis arbeiten Hand-in-Hand zur Ausschöpfung aller Potentiale.

Jedoch ist trotz der großen Anwendungsspektren und Perspektiven die RFID-Technologie nicht für alle Zwecke einsetzbar. Es bleibt stets abzuwägen, ob anstatt der RFID-Technik für vorliegende Fälle nicht eventuell andere, wirtschaftlichere oder praktikablere Auto-ID-Techniken hinzugezogen werden könnten.

Aus heutiger Sicht sind für die RFID-Technologie klar definierbare physikalische Gesetzmäßigkeiten hinsichtlich z.B. der Empfangsreichweite, Feldstärken und Beeinflussung durch angrenzende Oberflächen und Materialien gesetzt.

Folglich sind enormes technisches Verständnis und Erfahrung zur Bewertung der möglichen Potenziale, Machbarkeit, sowie Problemen von RFID in entsprechenden Einsatzbereichen unabdingbar.

Bei Anwendung von RFID zur Bauwerksprüfung und des Bauwerkmanagement ergeben sich zahlreiche Möglichkeiten bzgl. Detektion von Bauwerksschädigungen, Identifikation der Schadensstellen, Positionierung der Schadensstellen (d.h. Verortung) und Referenzierung zu Datenbanksystemen.

Die Verortung im Sinne einer direkten Koordinatenbestimmung bleibt aus technischer Sicht allerdings für weitere Zeit Teil der Wissenschaft, weil der Umgang mit den mannigfaltigen Störquellen bei der Anwendung der RFID-Funktechnologie im Bauwesen, den elektromagnetischen Gesetzmäßigkeiten und den daraus resultierenden physikalischen Grenzen (Ortungsgenauigkeiten $> 5\text{m}$) sowie die damit zusammenhängenden Kosten für eine Praxisanwendung uninteressant macht.

Innerhalb weiterer Forschungsarbeiten könnten neue Funktechnologien, wie z.B. RuBee und ZigBee, durch ihre höhere und bessere Funktionalität schon bald Ansätze zur präzisen Verortung liefern.

Für Betriebszwecke könnten mittels der RFID-Technologie Erleichterungen bei der Identifikation von Fahrzeugen bzw. Nutzern durch Anwendung von RFID-Vignetten erzielt werden. Ferner sind alle mit RFID gekennzeichneten wartungsintensiven Bauglieder eindeutig identifizierbar und können mit entsprechenden Datensätzen in einer zentralen Datenbank zwecks Aktualisierung, Kommentierung oder Aufgabenzuweisung verknüpft werden.

Zur eindeutigen Identifizierung sollten Standards und Erläuterungen der EPCglobal hinzugezogen werden, um mögliche ID-Überschneidungen zu vermeiden.

Für die Baubranche sind die größten Perspektiven der RFID-Technologie jedoch bei der Bauorganisation, dem Bauablauf und der Logistik zu erwarten.

D. Literatur und Links

1. **Arge RFID-Technologie im Bauwesen.** [Online] [Zitat vom: 6. September 2011.] <http://www.rfidimbau.de>.
2. **Axel Sikora, Prof. Dr.** RFID – Die technischen Grundlagen. [Online] 5. April 2006. http://www.tecchannel.de/test_technik/grundlagen/431196/rfid_die_technischen_grundlagen.
3. **Bundesnetzagentur.** EMF Monitoring / RFID. [Online] http://emf2.bundesnetzagentur.de/tech_rfid_grenzwerte.html.
4. **Michaelis, Dipl.-Ing. Wolfgang.** *FGF Newsletter online 1/2009, „RFID – Funktion und Bedeutung“.*
5. **Thurm, Patric.** Patric Thurm Info. *Seminararbeit: RFID – Technische und wirtschaftliche Aspekte.* [Online] 12. Juni 2006. <http://patric.thurm.info/interests/studium/rfid.pdf>.
6. **Günther, W.A. / Schneider, O.** *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.*
7. **Manfred Helmus, Selcuk Nisancioglu, Berit Offergeld, Oliver Sachs.** *Arbeitsschutz im Bauwesen mit RFID (Forschungsbericht).* 2010. Erhältis bei Google Books.
8. **Helmus, Manfred / Meins-Becker, Anica / Laußat, Lars / Kelm, Agnes (Hrsg.).** *RFID in der Bauleistik – Forschungsbericht zum Projekt „Integriertes Wertschöpfungsmodell mit RFID in der Bau- und Immobilienwirtschaft“.* s.l. : Vieweg+Teubner Verlag, 2009. ISBN 978-3-8348-0765-6.
9. **BITKOM Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e.V.** BITKOM RFID Guide. [Online] www.bitkom.org.
10. **GS1 Germany.** [Online] http://www.gs1-germany.de/standards/epc_rfid/epcglobal_netzwerk/funktionsweise/index_ger.html.
11. **(Hrsg.), Electronic Commerce Centrum Stuttgart-Heilbronn.** *RFID – Anwenderbeispiel Fraport AG.* [http://www.rfidatlas.de/images/stories/RFID_Fallstudien/fraport%2024.07.08.pdf] Mai 2008.
12. **Gernot Schmid, Stefan Cecil.** *Bestimmung der Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern, die durch den Einsatz von Radio Frequency Identification (RFID) entstehen/ 1. Zwischenbericht.* 2009.
13. **Bäumer, Klaus.** *FGF Newsletter 1/2005, „RFID: Redselige Plättchen“.*
14. **Michael Kreuzer, Darmstädter Zentrum für IT-Sicherheit, Technische Unversität Darmstadt.** RFID: Technische Normen und Standards. 13. März 2006.
15. **RFID Webshop.** RFID & NFC TAGnology Webshop. [Online] <http://www.rfid-webshop.com>.
16. **EPC/RFID und Sensorik – Grundlageninformationen – Einführung, Einsatzgebiete und Standartisierung.** EPCglobal. *GS1 Germany GmbH.* [Online] http://www.gs1-germany.de/common/downloads/epc_rfid/3031_sensorik.pdf.
17. **Helmus, Manfred.** *Kurzbericht zum Forschungsprojekt „InWeMo“ Integriertes Wertschöpfungsmodell mit Radio Frequency Identification (RFID) in der Bau- und Immobilienwirtschaft mit dem Fokus Bauleistik.* [http://www.baubetrieb.uni-wuppertal.de/uploads/media/kurzbericht_inwemo.pdf] 2008.

18. **Die globale Navigation – Mit dem System „Galileo“ beginnt im Jahr 2010 eine neue Ära.** TÜV SÜD Gruppe. [Online] http://www.tuev-sued.de/uploads/images/1169824709593750701047/06_10_Galileo%5B1%5D.pdf.
19. **Michael Menz – Studienarbeit Institut für Informatik Humboldt Universität Berlin.** *RFID-basierte Positionsbestimmung.* Berlin : s.n., 2005.
20. **Zapotoczky, Johannes.** *Hybride Funkortung, Adaptive Aggregation von RFID, WLAN und ZigBee.* [Diplomarbeit] Berlin : s.n., 2006.
21. **Selfsan Consult GmbH.** corroDec® erkennt Schwachstellen bevor sie zur Gefahr werden. [Online] <http://www.corrodec.de>.
22. **Informationsforum RFID.** [Online] [Zitat vom: 08. 09 2011.] http://www.info-rfid.de/info-rfid/content/anwendungsbereiche/bauwirtschaft/index_ger.html.

Anhang E: Prozessbeschreibung Betrieb und Erhaltung

Inhalt

A.	Prozesse für Betrieb und Erhaltung im Straßenwesen	110
A.1	Prozess Bauwerksprüfung	110
	Software-gestützte Brückenprüfung	113
A.2	Prozess Straßenerhaltung	115

A. Prozesse für Betrieb und Erhaltung im Straßenwesen

A.1 Prozess Bauwerksprüfung

Die Grundlage der Brückenprüfung bildet die DIN 1076. Die Dokumentation erfolgt dabei meist händisch auf Papier und bedarf einer Nachbearbeitung nach Beendigung der Prüfung, bei der u.a. eine Fotodokumentation erstellt bzw. weitere Informationen ergänzt und letztlich die Ergebnisse in einem Prüfbericht zusammengefasst werden.

Pläne, die die Lage der verschiedenen Mängel, wie z.B. die Lage der Risse darstellen, werden nur selten ausgearbeitet. Dies ist jedoch eine entscheidende Grundlage für die Ursachenforschung sowie zur Festlegung zukünftiger Erhaltungsmaßnahmen. In tabellarischer Form sind Schadens-/ Mangelverläufe nur sehr schwer erkennbar.

Für die Durchführung der Prüfungen nach DIN 1076 werden meist externe Ing-Büros beauftragt. Die Besichtigungen und laufenden Beobachtungen hingegen werden durch den Straßenbetreiber (Autobahnmeistereien) durchgeführt.

I Bauwerksprüfung

- Hauptprüfung vor Ablauf der Gewährleistung, danach alle 6a durch Prüfsachverständigen mit Besichtigungsgerät
- Einfache Prüfung alle 3a nach einer Hauptprüfung durch Prüfsachverständigen mit Besichtigungsgerät, wenn vertretbar

II Bauwerksüberwachung

- Besichtigung, 1x jährlich durch Ingenieur des Betreibers ohne größere Hilfsmittel
- Besichtigung, 2x jährlich durch geschultes Personal des Betreibers (Straßenwärter) ohne besondere Hilfsmittel

Die Verwaltung der Daten in SIB-Bauwerke werden durch die Landesämter sichergestellt bzw. bei PPP-Projekten durch den Konzessionär.

Die entsprechenden Koordinationsaufgaben, wie Terminpläne, Vergabe der Leistungen, Begleitung der Prüfungen, Anmietung der Brückeninspektionsgeräte, etc., erfolgt zumeist durch die Erhaltungsabteilungen.

Der Prozess einer Brückenprüfung kann wie folgt zusammengefasst werden:

1. Vorbereitung auf die durchzuführende Prüfung im Office

- > Sichtung der Bauwerksakte (SIB-Daten, Bestandsdaten, Berichte zu früheren Prüfungen)

2. Durchführung der Brückenprüfung

- > Inspektion sämtlicher Bauteile anhand von Checklisten

- > Fotodokumentation von Schadstellen

- (-> Eintragung der Schadstellen in schematische Skizzen des Bauwerks)

3. Nachbereitung der Brückenprüfung

- > Erstellung des Prüfberichts über die durchgeführte Brückenprüfung
- > Textliche Beschreibung der Schadstellen
- > Beschreibung der Fotodokumentation
- (-> Sauberes Zeichnen der schematischen Skizzen)
- > Vergabe der Bauwerksnote
- > Hinweise für die nächsten Besichtigungen / Prüfungen

4. Übertragen der Daten in SIB-Bauwerke (händisch)

Zustandserfassung und Zustandsbewertung der Ingenieurbauwerke

Zielsetzung der Zustandserfassung der Ingenieurbauwerke ist es zum einen, die Betriebs- und Verkehrssicherheit sowie die Standsicherheit und Dauerhaftigkeit der Bauwerke zu gewährleisten. Zum anderen soll das Mindestzustandsniveau der Ingenieurbauwerke nicht unterschritten und relevante Bauwerksinformationen jederzeit zur Verfügung gestellt werden können.

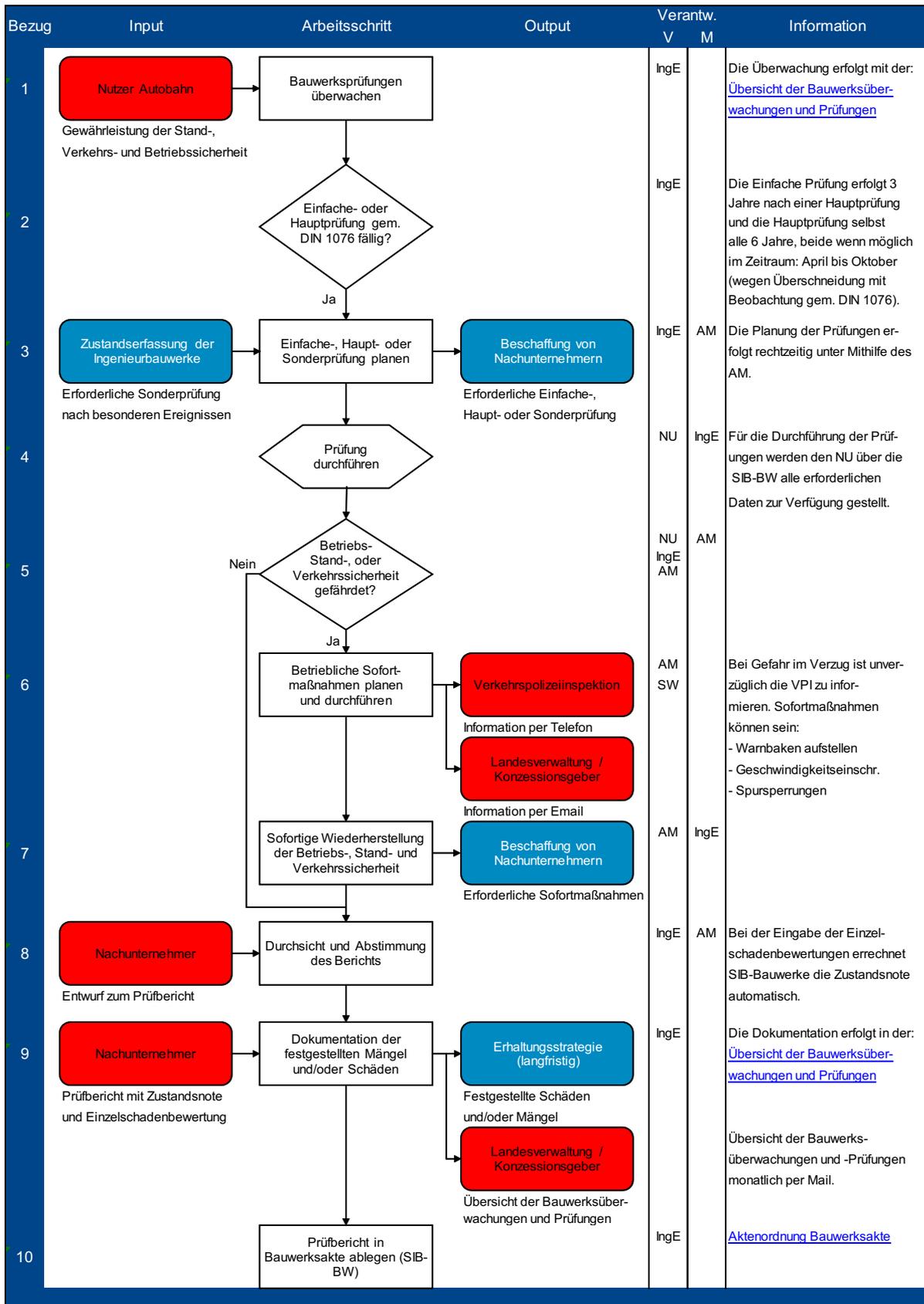


Abb. 1: Schematische Prozessdarstellung einer Bauwerksprüfung

Software-gestützte Brückenprüfung

Die Software zur EDV-gestützten Brückenprüfung muss die Schadenserfassung am Bauwerk und die dazugehörige Dokumentation sicherstellen und dabei den Prozess der Prüfung wesentlich vereinfachen:

Eine Software-gestützte Brückenprüfung mit ISIS könnte wie folgt aussehen:

1. Anlegen eines Prüfauftrages für eine ausgewählte Brücke
2. Dadurch öffnet sich die Datenbank zum gewählten Objekt, d.h. der Prüfer hat Zugang zu sämtlichen Informationen des Bauwerks aus ISIS und SIB-BW und kann damit die Vorbereitung der Prüfung vornehmen
3. Durchführung der Prüfung mittels Tablet-PC (Identifikation über RFID-Tag am Bauwerk)
 - 3.1 Einteilung des Displays des Tablet-PCs in mehrere Ansichten:
 - vereinfachte 3D-Ansicht (evtl. unterteilt in verschiedene Abschnitte (Felder))
 - Darstellung der Schadstellen aus der letzten Prüfung
 - Eingabemaske für aktuelle Prüfung
 - > Die Ansichten sind interaktiv.
 - 3.2 Eingabe der Schadstellen über Tablet-PC
 - Auswahlboxen für typische Schadensbilder
 - Verortung im 3D-Modell über 3D-Pins
 - direkte Zuweisung der mit der am Tablet-PC eingebauten Kamera gemachten Fotos
 - 3.3 Rissdarstellung
 - Risse werden direkt mittels Tablet-PC und 3D-Modell anhand der Rissverläufe eingezeichnet
 - Zusätzlich wird die Rissweite eingetragen.
4. Dokumentation / Prüfbericht
 - 4.1 Die Historie von Schadstellen aus vorhergegangenen Prüfungen sowie der aktuellen lässt sich in die Prüfberichte durch Darstellung von Trendentwicklungen integrieren.
 - 4.2 Automatisiert Bewertung von Gesamtbauwerk und einzelnen Bauteilen ist bereits vor Ort innerhalb des Systems möglich.
 - 4.3 Nach Beendigung der Prüfung werden die mit dem Tablet-PC aufgenommenen Daten gespeichert und können, wenn notwendig, noch nachbearbeitet werden.
5. Übertragung der Daten in SIB-BW sowie Festlegung der Termine für die nächsten Prüfungen

Vorteile einer Software-gestützte Brückenprüfung

- Integrierte Bearbeitung des Gesamtprozesses „Brückenprüfung“ von der Vorbereitung, über die Durchführung Vorort bis hin zu der Nachbereitung
- Alle notwendigen Information über ein Bauwerk sind verfügbar, auch im Feld
- Verkürzung der Nachbearbeitungszeit
- Vereinheitlichung der Brückenprüfung nach DIN 1076
- Schematische Darstellung von Schadstellen anhand von Skizzen ohne zusätzlichen Aufwand
- Historie / Statistik der Schadstellen, auch während der Prüfung verfügbar
- Export in eine Datenbank (z.B. SIB-BW)

A.2 Prozess Straßenerhaltung

Wesentliche Grundlage für die erfolgreiche Planung, Steuerung und Kontrolle des Straßenbetriebsdienstes sind die Leistungsdaten, d. h. Informationen über die durchzuführenden oder bereits durchgeführten Tätigkeiten.

Um diese Informationen möglichst einfach und systematisch zu erhalten, werden die Fahrzeuge des Straßenbetriebsdienstes mit einer Hardware ausgerüstet, die über eine Einheit mit GPS- und GPRS-Modul sowie einem Bedienteil die Informationen (Daten) an einen Datenspeicher (Server) übermittelt, die dort in einem Datenbankmanagementsystem verwaltet werden.

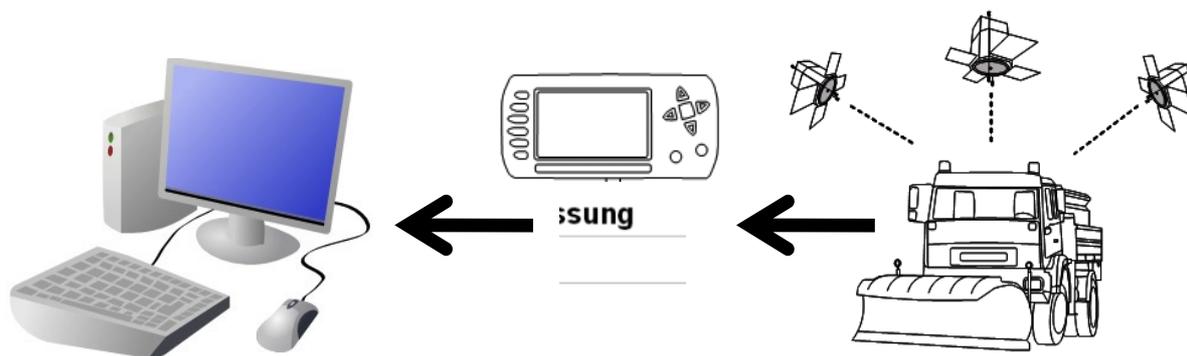


Abb. 2: Systemskizze eines Datenbankmanagementsystems

Für das Datenbankmanagementsystem wird eine webbasierte Anwendung eingesetzt, bei welcher die System-Oberfläche in einem Browser-Fenster dargestellt wird. Dies vereinfacht unternehmensexterne Zugriffe auf die Software, ohne gesonderte grafische Benutzeroberflächen installieren zu müssen. Somit können die Mitarbeiter von außen oder Dritte (bspw. Kunden oder Subunternehmer) direkt in die Geschäftsprozesse einbezogen werden. Dadurch werden wesentliche Zeit- und Kosteneinsparungen generiert.

Wesentliche Informationen sind dabei der Leistungsbeginn und das Leistungsende sowie die Auflistung von Ereignissen, wie z.B. während der Durchführung der Streckenkontrollen oder der Bauwerksüberwachungen. Diese Informationen werden mithilfe eines auf dem Bedienteil hinterlegten Leistungs- und Ereigniskatalogs (Betriebsarbeitsschlüssel) eingegeben. Entscheidend ist, dass der Betriebsarbeitsschlüssel vollständig und logisch aufgebaut ist, damit die Leistungen und Ereignisse vollständig und einfach von den Mitarbeitern erfasst werden können. Gleichzeitig werden Ort (GPS-Koordinaten) und Zeit an die Anwendungsplattform auf dem Server („back-end“) versendet.

Modulaufbau

Die wesentliche Aufgabe der Software liegt in der ganzheitlichen Abbildung der Prozesse der Straßenerhaltung. Daher ist ein modularer Aufbau vorgesehen. Oberste Priorität ist dabei, dass die Prozesse im Sinne einer End-to-End (E2E)-Betrachtung über die Prozesskette „INPUT – PROZESS-STEUERUNG – OUTPUT“ ganzheitlich abgebildet werden.

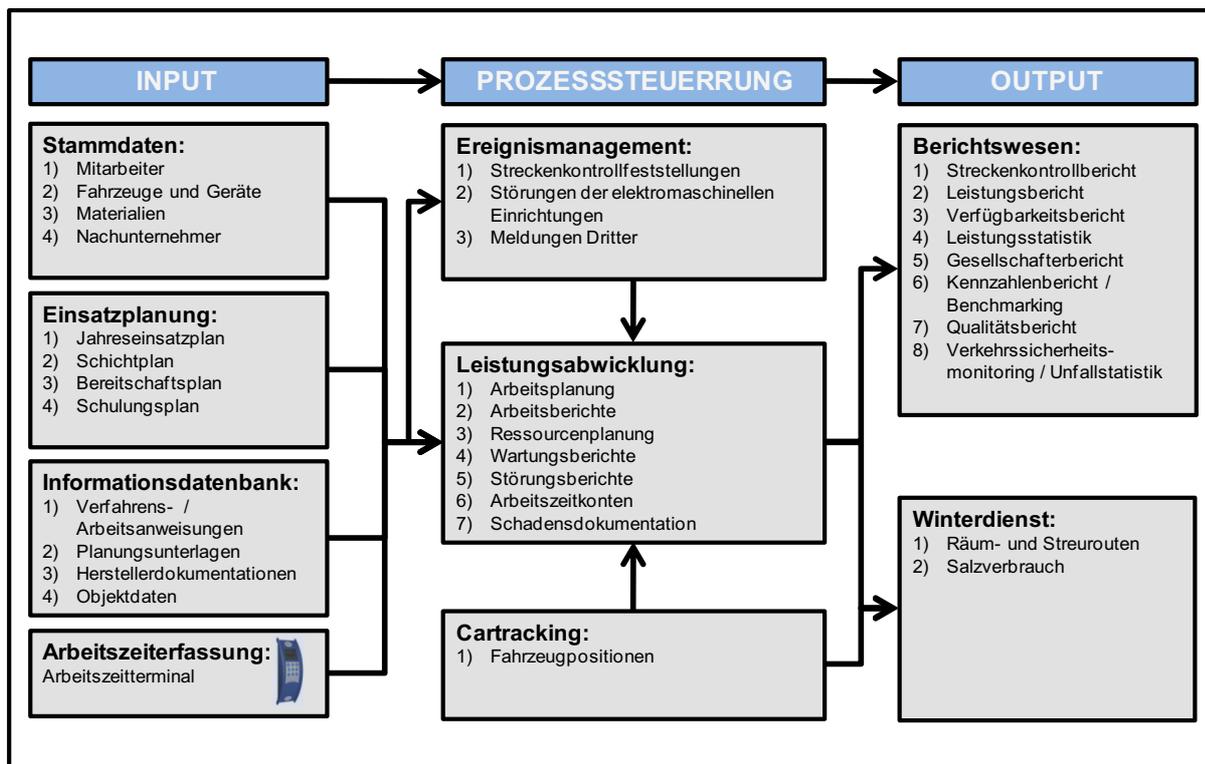


Abb. 3: Modularer Aufbau eines Datenbankmanagementsystems

INPUT-Module

- **Stammdaten:** Basisinformationen bezüglich Mitarbeiter, Fahrzeuge, Geräte, Materialien und Nachunternehmer.
- **Einsatzplanung:** Verwaltung des Jahreseinsatzplans, der Schicht- und Bereitschaftspläne sowie des Schulungsplans zur Arbeitseinteilung der Mitarbeiter, sowie als Grundlage für die Ermittlung freier Ressourcen.
- **Informationsdatenbank** zur Vorhaltung von Arbeitsanweisungen, Handbüchern, Herstellerdokumentationen, Planungsunterlagen, Objektinformationen mit Bezeichnung und Stationierung sowie Mustertätigkeiten mit „intelligenter“ Ressourcenplanung
- **Arbeitszeiterfassung** über ein Terminal mit Übertragung in das Management-Tool.

PROZESSSTEUERUNGS-Module

Die Prozesssteuerung und deren Module bilden das Herzstück des Software-Tools. Mit diesen Management-Elementen werden sowohl die Arbeitsschritte von geplanten betrieblichen Tätigkeiten als auch die Umwandlung von ungeplanten Ereignissen in Arbeitsaufträge bis zur Fertigstellung der betrieblichen Leistungen durchgeführt und gesteuert.

- **Ereignismanagement:** Erfassung von Ereignissen (Feststellungen durch die Streckenkontrolle, Meldungen Dritter, Störungen der elektromaschinellen und sicherheitstechnischen Ausrüstung, Unfallmeldungen).
- **Kommunikationsmodul:** Versand von Leistungs- und / oder Ereignismeldungen über SMS / E-Mail.
- **Leistungsabwicklung:** Bearbeitung der durchgeführten Arbeiten des Betriebsdienstes (Arbeitsaufträge und Arbeitsberichte, Wartungs- und Störungsberichte, Winterdienstinformationen)
- **Cartracking:** Echtzeitdarstellung der Fahrzeugpositionen auf einer Karte zur Steuerung der Fahrzeuge bei unerwarteten Ereignissen (z.B. Beorderung der zum Unfallort am nächsten eingesetzten Fahrzeuge zur Durchführung der Verkehrssicherung)

OUTPUT-Module

- **Berichtswesen**
Mit den Daten aus den Prozesssteuerungsmodulen werden anschließend die vertraglich geforderten Berichte, sowie die Berichte, die der operativen Kontrolle und Steuerung des Betriebsdienstes dienen, erstellt.
- **Winterdienst**
Mit diesem Modul werden die Räum- und Streueinsätze in tabellarischer und visueller Form (nicht manipulierbarer und vertragssicherer Nachweis über die durchgeführten Winterdiensteinsätze) dokumentiert. Des Weiteren können zur Verbesserung des Ablaufs und zur Erhöhung der Wirtschaftlichkeit Auswertungen über kritische Streckenbereiche sowie den Salzverbrauch vorgenommen werden.

Prozessbeschreibung

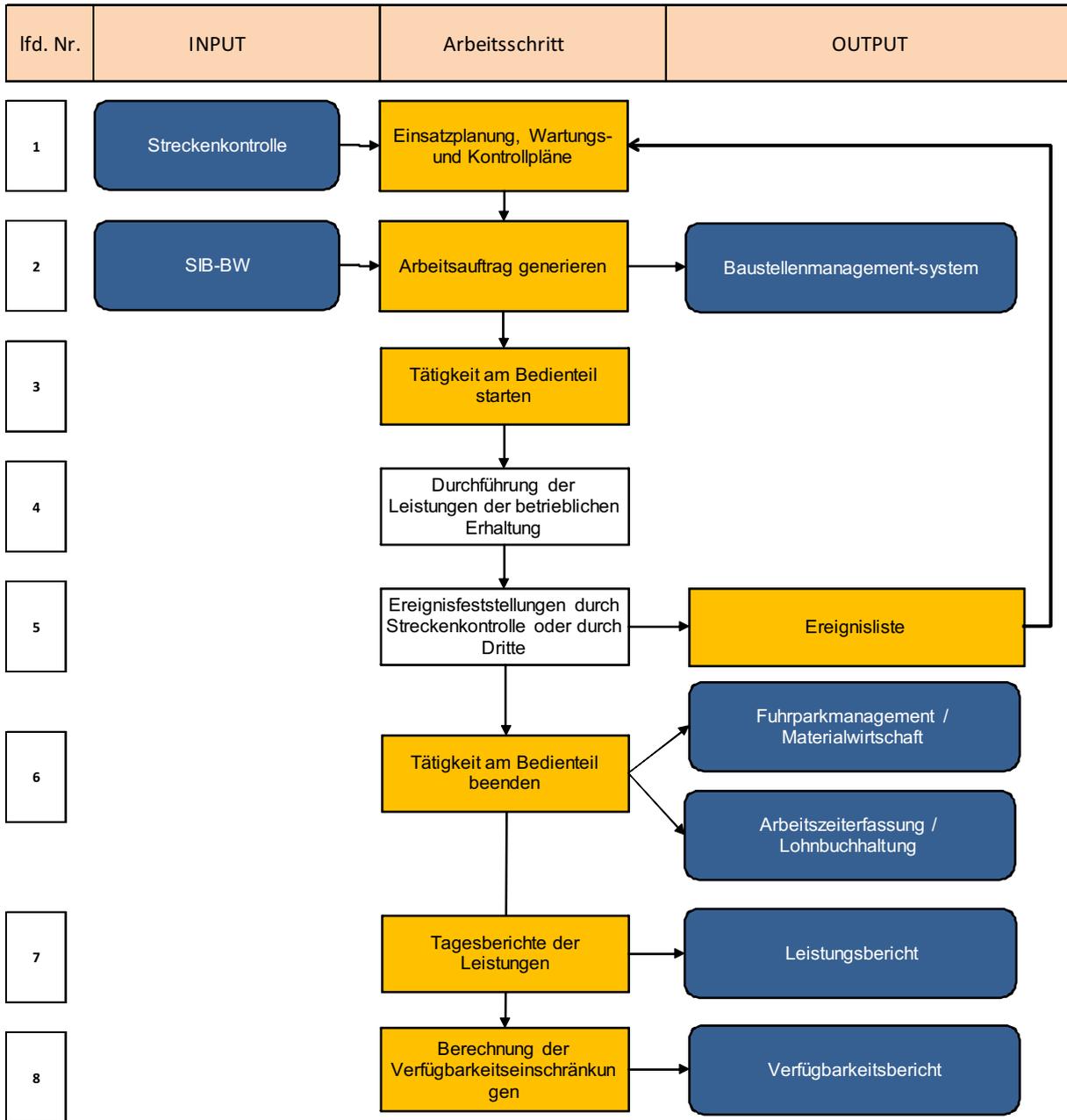


Abb. 4: Schematische Prozessdarstellung Verwendung Datenbankmanagementsystem

Vorteile der Software-Anwendung

Wesentliche Vorteile der Anwendung der Software ergeben sich aus den betrieblichen Anforderungen des Betreibers zur Verbesserung von Planung, Steuerung, Kontrolle und Dokumentation der Leistungen der betrieblichen Erhaltung.

Durch die Einführung einer systematischen Nachhaltung der durchgeführten können u. a. folgende betriebliche Optimierungen erzielt werden:

- **Schnellere und wirtschaftlichere Reaktion** auf ungeplante Ereignisse (Einsatz von Personal und Geräten durch das Car Tracking (GPS) unter Einhaltung der Reaktions- und Wiederherstellungszeiten)
- **Intelligente Einsatzplanung** (Synergien) durch Zusammenlegung / Verlegung von Tätigkeiten → dadurch Erhöhung der Verfügbarkeit → niedrigere Unfallgefahr, da weniger Sperrung und Kostensenkung
- Verbesserung der Arbeitseffektivität durch **Zugriff** (auch im Feld) **auf** die wichtigsten **Dokumente**, Anweisungen und Informationen → Kostensenkung
- Systematische und **vollständige Abarbeitung** von Arbeitsprozessen ohne „Vergessen“ wird gefördert (Ablenkung ist aufgrund unvorhersehbarer Ereignisse groß) → Erhöhung des „level of service“
- Minimierung des Verwaltungsaufwandes durch **automatisiertes Berichtswesen** → Kostensenkung

Erhöhung der Nutzersicherheit und Verringerung der Umwelteinflüsse

Die Erhöhung der Transparenz bei den Arbeitsprozessen, die lückenlose Erfassung der Daten mit dem Zugang für die Beteiligten sowie die Unterstützung des Managements der Betriebsprozesse führen zu einer Verbesserung der Wirtschaftlichkeit und indirekt auch zu einer **Erhöhung der Nutzersicherheit**.

Dies liegt im Wesentlichen daran, dass die Sicherheit der Straßennutzer grundsätzlich durch die Dauer und Häufigkeit von Arbeiten auf der Strecke, durch die Dauer von Stauzeiten, die Dauer bis zur Behebung von Störungen auf der Strecke (beispielsweise tote Tiere, Leitplanken, ausgefallene Beleuchtung) sowie die Dauer für die Absicherung und Beseitigung von Unfallstellen beeinflusst wird.

Bei folgenden Betriebsprozessen unterstützt die Software-Anwendung wesentlich:

- **Optimierte Planung und Steuerung** von betrieblichen Leistungen → kürzere und seltenere Sperrungen sowie Verkehrseinschränkungen in Zeiten mit weniger Verkehrsaufkommen
- **Integriertes Wartungsmanagement Tunnel** → keine operative Trennung zum Straßenmanagement → Reduzierung von Schnittstellen
- **Automatische Weiterleitung von ungeplanten Ereignissen** per E-Mail / SMS → Erhöhung der Informationsgeschwindigkeit → kürzere Reaktionszeiten
- **Cartracking via GPS** erleichtert das Steuern der Ressourcen in Echtzeit → kürzere Reaktions- und Wiederherstellungszeiten

Die genannten Betriebsprozesse - unterstützt durch die Software-Anwendung - führen somit zu einer Erhöhung der Nutzersicherheit, zu einer Senkung der Unfallgefahr sowie einer geringeren Stauwahrscheinlichkeit.

Anhang F: Versuchsauswertung – Sensoren im BW 90 der BAB A 8

Inhalt

A.	Versuchsauswertung – Sensoren im BW 90 der BAB A 8	121
A.1	Allgemeines zum Bauwerk 90 der BAB A8 – 1. Teilbauwerk	121
A.2	Einbau der Sensoren im 1. Teilbauwerk von BW 90 der BAB A 8	122
A.3	Informationen zu der verwendeten Sensortechnik	123
A.3.a	Allgemeines	123
A.3.b	Der Korrosionssensor vom Typ 3B	123
A.3.c	Der Feuchtesensor vom Typ 1C	123
A.3.d	Das RFID-Lesegerät	124
A.3.e	Interpretation der Messdaten	124
A.3.f	Informationen zu den Sondertypen der Sensoren unterhalb der Fahrbahndecke	125
A.4	Erste Messwert-Erfassung der eingebauten Korrosions- und Feuchtesensoren	126
A.5	Vorschlag für die eindeutige Namenskonvertion für Bauwerkssensoren im System ISIS	129
A.6	Auslesen der Messdaten im Rahmen der Bauwerksprüfung	130
B.	Fotodokumentation der Messdaten-Erfassung vom 17.09.2012	131

A. Versuchsauswertung – Sensoren im BW 90 der BAB A 8

A.1 Allgemeines zum Bauwerk 90 der BAB A 8 – 1. Teilbauwerk

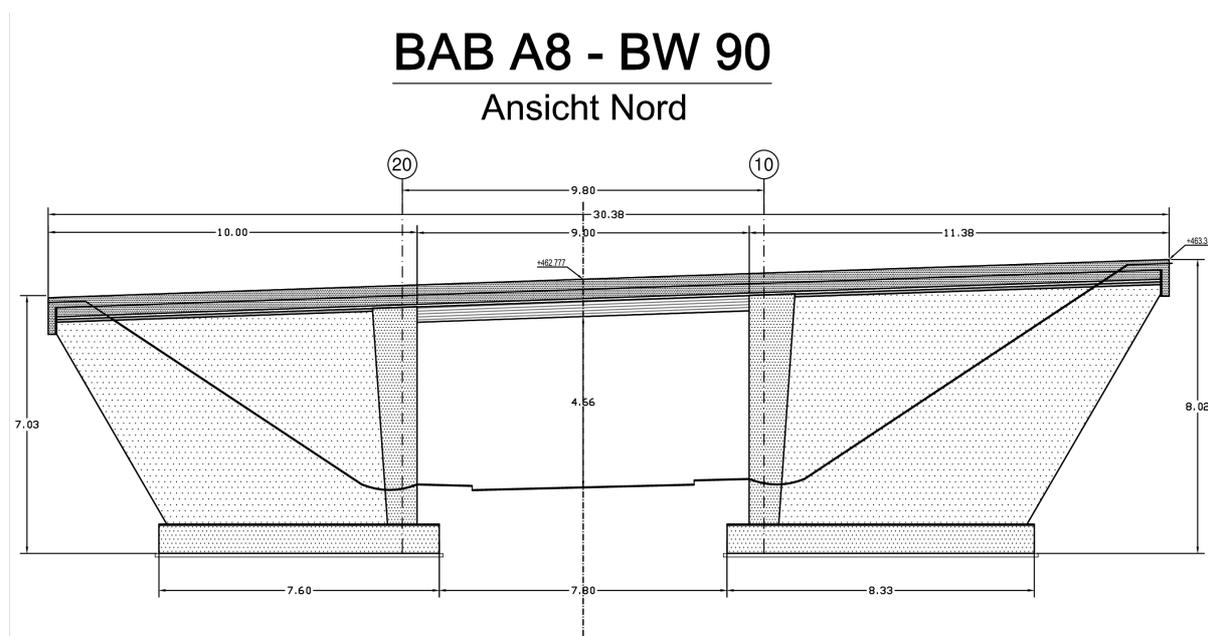
In das Teilbauwerk 1 des Unterführungsbauwerks BW 90 der BAB A8, ASB-Nr.: 7530672.1 wurden während der Herstellung an definierten Stellen 10 Korrosionssensoren vom Typ 3B und 2 Feuchtesensoren vom Typ 1C eingebaut.

Bei dem Bauwerk 90 handelt es sich um ein direkt befahrenes rahmenartiges Unterführungsbauwerk mit einer Spannweite von 9,80 m und einer Gesamtlänge zwischen den Geländern vom 37,76 m.

Das erste Teilbauwerk ist der nördliche Teil von BW 90, auf dem nach Fertigstellung des Gesamtbauwerkes die Richtungsfahrbahn in Richtung Ulm verlaufen wird.

Das 1. Teilbauwerk von BW 90 besitzt eine Länge von 18,37 m und ist auf Streifenfundamenten mit den Abmessungen $b/h = 2,40 / 0,80$ m flach gegründet.

Die Wandstärke der Längs- und Flügelwände beträgt 80 cm, die Bauwerksdecke ist 70 cm stark.



A.3 Informationen zu der verwendeten Sensortechnik

A.3.a Allgemeines

Geliefert wurden die Sensoren von der Fa. BS2 Sicherheitssysteme in Boppard.

Es wurden die folgenden beiden Sensortypen verwendet.



Abb. 1: Korrosionssensor Typ 3B mit 2 Sensordrähten
(Quelle: Selsan Consult GmbH)



Abb. 2: Feuchtesensor Typ 1C mit Edelstahl-Sensorbändern (Quelle: Selsan Consult GmbH)

A.3.b Der Korrosionssensor vom Typ 3B

In einem Korrosionssensor des verwendeten Typs mit zwei Korrosionsdrähten sind drei RFID-Tags eingebaut. Eine dieser RFID ist der sog. „Master-Tag“, der der Ortung und Identifikation des Sensors dient. Die beiden anderen RFIDs sind mit den Korrosionsdrähten verbunden und liefern über ihre Messwerte einen Aufschluss darüber, ob eine korrosionsverursachende Schädigungsfront die entsprechende Detektionsebene des Sensors erreicht hat oder nicht. Die beiden Sensordrähte liegen beim Sensor 3B in einem Abstand von 10 mm bzw. 20 mm oberhalb der Bewehrung.

Für Sonderfälle, z.B. den Einbau unterhalb von Fahrbahndecken muss der Korrosionssensor aus technologischen Gründen ohne den Master-RFID-Tag eingebaut werden und besitzt somit nur die beiden Sensor-RFID-Tags.

A.3.c Der Feuchtesensor vom Typ 1C

Die Feuchtesensoren vom Typ „1C“ haben keine Sensordrähte, sondern zwei nichtrostende Edelstahlbänder, mit deren Hilfe die Zustandsgröße „Bauteil trocken“ oder „Feuchtigkeit vorhanden“ abgefragt werden kann.

Der Feuchtesensor vom Typ 1C besitzt in der Standardausführung in seinem Inneren zwei RFID-Tags, einen Master-RFID-Tag und einen Sensor-RFID-Tag.

Für Sonderfälle, z.B. den Einbau unterhalb von Fahrbahndecken muss der Feuchtesensor aus technologischen Gründen ohne den Master-RFID-Tag eingebaut werden und ist somit nur mit einem einzigen Sensor RFID-Tag ausgerüstet.

A.3.d Das RFID-Lesegerät

Die Messwert-Auslesung der Sensoren erfolgt mit Hilfe eines universellen RFID-Handlesegerätes vom Typ AEG ARE H5 mit großer Lesereichweite, welches auch im Rahmen der manuellen Datenerfassung und Bestandsmanagement im Nutztierbereich verwendet wird.

Das Lesegerät enthält einen Sender und einen Empfänger. Der Sender dient zur Abfrage der im Speicher der RFID-Tags (Transpondern) enthaltenen Identifikationscodes.

Die Übertragung der Transponderinformation erfolgt so lange hintereinander, wie der Transponder vom magnetischen Wechselfeld des Lesegerätes beaufschlagt wird. Dies dient zur Fehlererkennung und Fehlerkorrektur. Um Fehler durch etwaige Störeinflüsse auszuschließen, wird das Leseergebnis erst ausgegeben, wenn mindestens drei „Telegramme“ in unmittelbarer Folge identisch sind.



Abb. 3: Handlesegerät ARE H5

Für die Auslesung der Korrosions- und Feuchtesensoren wird ein technisch modifiziertes Gerät verwendet, bei dem über einen Drehregler die Stärke des magnetischen Wechselfeldes in Stufen verändert werden kann. Bei der Auslesung der Sensoren werden mit Hilfe dieses Lesegerätes die Identifikationsnummer der eingebauten RFID-Tags sowie die am Regler eingestellte Stärke des magnetischen Wechselfeldes erfasst.

A.3.e Interpretation der Messdaten

Das folgende Diagramm zeigt beispielhaft, wie die historisierte Messwert-Darstellung eines Korrosionssensors vom Typ 3B aussehen könnte.

Ausgewertet wird die Differenz (Δ) der Sensor -Tags zum jeweiligen Master-Tag. Ist das $\Delta \leq 0$ (SchalterPosition Master-Tag – Schalter Position Sensor-Tag), ist Korrosion eingetreten.

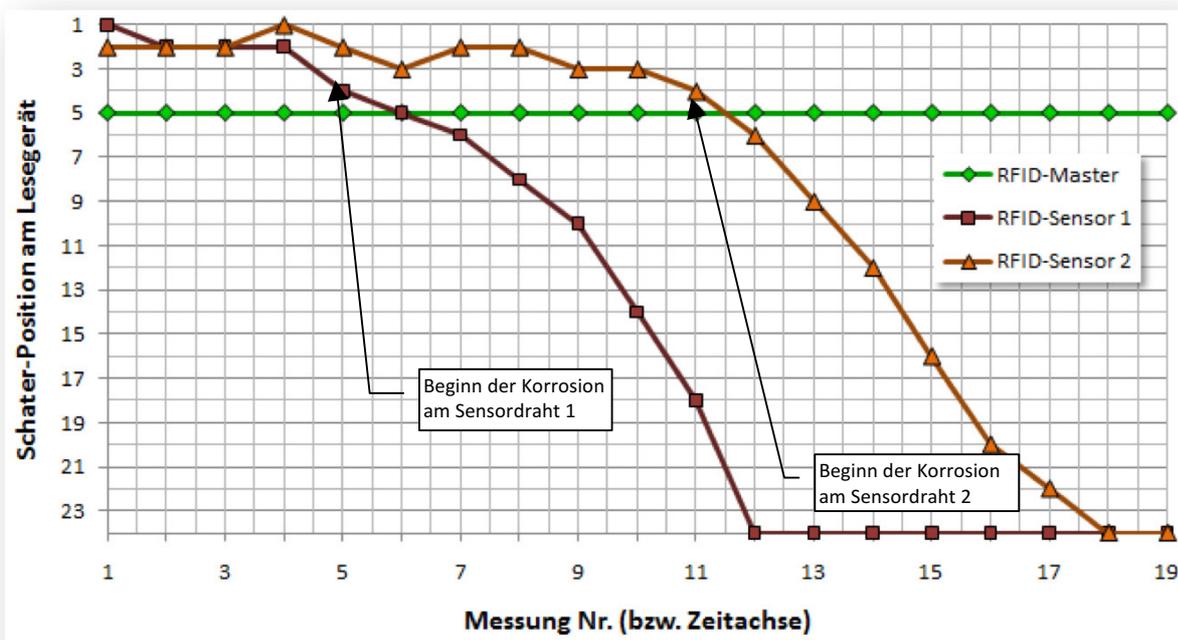


Diagramm 1: Beispielhafte Darstellung historisierter Messdaten eines Korrosionssensors vom Typ 3B

Das folgende Diagramm zeigt beispielhaft, wie die historisierte Messwert-Darstellung eines Feuchtesensors vom Typ 1C aussehen könnte.

Ausgewertet wird die Differenz (Δ) des Sensor -Tags zum Master-Tag. Ist das $\Delta \geq 0$ (Schalter-Position Master-Tag – Schalter Position Sensor-Tag), dann wurde eine Durchfeuchtung des Bauteils bis zum Sensor detektiert.

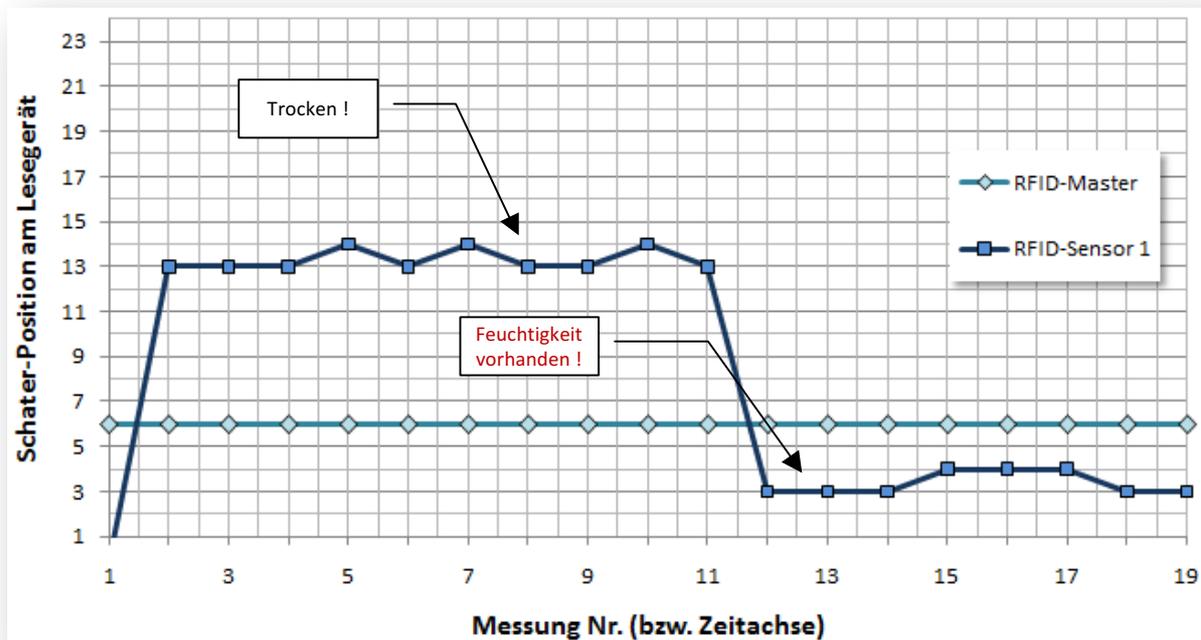


Diagramm 2: Beispielhafte Darstellung historisierter Messdaten eines Feuchtesensors vom Typ 1C

A.3.f Informationen zu den Sondertypen der Sensoren unterhalb der Fahrbahndecke

Aus technologischen Gründen wurde für zwei der insgesamt 10 Korrosionssensoren ein abweichender Aufbau gewählt. Hierbei handelt es sich um die beiden Sensoren 3B-06 und 3B-07, die sich während des Betriebes des Bauwerks im Endzustand an der Deckenoberseite unterhalb einer 16 cm starken Asphalt-Fahrbahndecke befinden werden. Wegen der hier erforderlichen höheren Lesereichweite muss bei derartigen Sensoren auf den Einbau einer Master RFID verzichtet werden.

Dies gilt auch für den Feuchtigkeitssensor 1C-01, der im Endzustand ebenfalls unterhalb der Asphaltdecke liegen wird.

Jeder RFID-Chip besitzt eine eindeutige Kennnummer, die mit Hilfe des Lesegerätes zur Identifikation ausgelesen werden kann. Das bedeutet, dass bei einem konventionellen Korrosionssensor mit zwei Sensordrähten, der eine Master-RFID und zwei Sensor RFIDs besitzt, drei Identifikationsnummern ausgelesen werden. Ein konventioneller Feuchtesensor besitzt neben der Master-RFID noch eine weitere Sensor-RFID und liefert bei der Auslesung somit zwei Identifikationsnummern.

Bei den Sensoren, die im Endzustand unterhalb der Asphaltfahrbahn liegen werden, wurde aus den vorgenannten Gründen auf die Master-RFID verzichtet. Somit liefern die beiden Korrosionssensoren 3B-06 und 3B-07 nur zwei Messwerte, der Korrosionssensor 1C-01 nur einen Messwert.

A.4 Erste Messwert-Erfassung der eingebauten Korrosions- und Feuchte-sensoren

Die erste Auslesung der Korrosions- bzw. Feuchtigkeitssensoren, die in das Bauwerk 90 der BAB A8 eingebaut wurden, erfolgte unmittelbar nach dem Ausschalen im September 2012. An diesem ersten Messtermin waren die Kappen auf dem Bauwerk noch nicht betoniert, so dass die in den Kappen vorgesehenen Korrosionssensoren 3B-08, 3B-09 und 3B-10 noch nicht auslesbar waren.

Bei der erstmaligen Messwert-Erfassung zeigte sich, dass durch einen Einbaufehler die beiden Sensoren 3B-06 und 3B-09 vertauscht wurden. Dieser Fehler macht deutlich, dass die unmissverständliche Kennzeichnung der einzubauenden Sensoren durch den Lieferanten unbedingt erforderlich ist. In diesem Fall hat der durch die Verwechslung verursachte Einbaufehler zur Folge, dass mit dem Sensor 3B-09 am Einbauort von 3B-06 ein Sensor eingebaut wurde, dessen Messwerte im Endzustand nicht auslesbar sein werden, da die Lesereichweite dieses Sensors durch den Einbau unter der Asphaltfahrbahn nicht ausreichend sein wird. Der an der falschen Stelle eingebaute Sensor 3B-09 war zwar bei der ersten Messwert-Erfassung lokalisierbar, es wird jedoch nicht möglich sein, diesen Sensor auszulesen, wenn die Abdichtung und Asphaltdecke im Endzustand eingebaut sind.

Es ist zwar bedauerlich, dass gerade der Korrosionssensor unmittelbar am Tiefpunkt an der Deckenoberseite des Bauwerks nicht zu verwenden sein wird, der Ausfall dieses Sensors kann jedoch durch den Feuchtigkeitssensor 1C-01 kompensiert werden. Dieser Sensor wurde korrekt eingebaut, funktionierte bei der ersten Messwert-Erfassung einwandfrei und kann zukünftig Informationen über den korrekten Zustand der oberseitigen Bauwerksabdichtung liefern. Eine schadhafte Abdichtung hätte zwangsläufig das Eindringen von taumittelhaltigem Wasser und somit die Entstehung von Korrosionsschäden zur Folge.

Der Korrosionssensor 3B-06 wird nun an ursprünglich vorgesehenen Einbauort des falsch eingebauten Sensors 3B-09 in die Randkappe Nord eingebaut.

Der Einbau der Korrosionssensoren 3B-08, 3B-06 und 3B-10 in den Kappenbeton wird im Oktober 2012 erfolgen, die erste Messwert-Erfassung unmittelbar nach dem Ausschalen.

Ausgelesen wurden am 17. September 2012 die Messdaten der folgenden Sensoren:

Sensor-Nr.	Messgröße	Einbaulage
3B-01	Korrosion	Flügelwand NW, Luftseite
3B-02	Korrosion	Flügelwand NO, Luftseite
3B-03	Korrosion	Längswand NO, Luftseite
3B-04	Korrosion	Decke unten, neben Achse 20, Nähe Raumfuge
3B-05	Korrosion	Decke unten, Bauwerksachse, Nähe Raumfuge
3B-06	Korrosion	Decke oben, neben Achse 20, Nähe Tiefpunkt
3B-07	Korrosion	Decke oben, neben Achse 20, Nähe Mittelkappe
1C-01	Feuchtigkeit	Decke oben, neben Achse 20, Nähe Tiefpunkt
1C-02	Feuchtigkeit	Decke unten, neben Achse 20, Nähe Raumfuge

Tab. 1: Ausgelesene Sensoren der Messwert-Erfassung vom 17.09.2012

Alle Sensoren konnten mit dem RFID-Lesegerät ARE H5 lokalisiert werden, und die Kalibrierungsdaten der Master-RFIDs und der Sensor RFIDs wurden erfasst.

Bei einem korrekt funktionierenden Korrosionssensor wird sich der Master-RFID-Chip zeit seines Lebens mit nahezu der gleichen Lesereichweite bzw. Induktionsstromstärke identifizieren lassen. Die Sensor-RFIDs besitzen bei der Erstmessung einen Messwert, der kleiner oder gleich dem der Master RFID ist.

Da die erste Messwert-Erfassung bereits kurz nach dem Ausschalen erfolgte, meldeten die beiden eingebauten Feuchtigkeitssensoren noch den Zustand „feucht“. Im Verlauf der Austrocknung des Betons wird sich der Messwert letztlich auf einem stabilen Plateauwert einpegeln, der sich erst bei einem späteren Zutritt von Feuchtigkeit, z.B. verursacht durch eine schadhafte Abdichtung, wieder verändern wird.

Beim Auslesen der Sensoren, die im Endzustand unterhalb der ca. 16 cm starken Asphaltdecke liegen werden, wurde bei der Messung ein 17 cm dicker Asphaltdecken-Simulationskörper aus Pappe verwendet.

Die Messwerte der am 17.09.2012 ausgelesenen Korrosions- und Feuchtesensoren sind in der Tabelle auf der folgenden Seite zusammengefasst worden.

Projekt: BAB A8 - BW 90 - ASB-Nr.: 7530672.1

Sensor-nummer	Sensor-typ	Datum Einbau	Einbauort Brücke AB A8 BW 90	Messung-Nr.: i_Messung	Messung-Datum j_Datum	Tag k_Tag	Identifikationsnummer-Tag			Hinweise Sensor	Hinweise Tag
							Master-RFID (k=0) Sensor-RFID oben (k=1) Sensor-RFID unten (k=2)	Erfassung Schalterposition	Messwert- Zustand		
Seitenwand											
7530672.1 3B-01 C	(Korrosion) 3B Corrosion	28.08.2012	Flügelwand NW Luftseite	1	17.09.2012	0	01076E2FCC	4	1	*1	*8
						1	0106A6994B	3	1		*4, *8
						2	0106A690D5	3	1		*4, *8
7530672.1 3B-02 C	(Korrosion) 3B Corrosion	28.08.2012	Flügelwand NO Luftseite	1	17.09.2012	0	01076E395D	5	1	*1	*8
						1	0106A693BC	3	1		*4, *8
						2	0106A69292	3	1		*4, *8
7530672.1 3B-03 C	(Korrosion) 3B Corrosion	28.08.2012	Längswand NO Luftseite	1	17.09.2012	0	0105CBAB05	5	1	*1	*8
						1	0106A69288	3	1		*4, *8
						2	0106A6961E	3	1		*4, *8
7530672.1 3B-10 C	(Korrosion) 3B Corrosion	noch offen	Stirnseite Außenkappe Nord	1	noch offen	0	01076E3D7C	x	x	*1	*8
						1	0106A68EE6	x	x		*4, *8
						2	0106A68FE9	x	x		*4, *8
Oberseite											
7530672.1 3B-06 C	(Korrosion) 3B Corrosion	noch offen	Decke oben, neben Achse 20, Nähe Tiefpunkt, neben Tropftülle	1	noch offen	0				*1, *6	
						1	0108449115D	x	x		*4, *8
						2	010844903B	x	x		*4, *8
7530672.1 3B-07 C	(Korrosion) 3B Corrosion	28.08.2012	Decke oben, neben Achse 20, Nähe Mittelkappe	1	17.09.2012	0				*1, *3, *6	
						1	01084494D2	15	1		*4, *8
						2	0106A6930C	24	1		*4, *8
7530672.1 3B-08 C	(Korrosion) 3B Corrosion	noch offen	Mittelkappe Nord, oben Bauwerksachse	1	noch offen	0	01076E6746	x	x	*1	*8
						1	0106296416	x	x		*4, *8
						2	0106A6962E	x	x		*4, *8
7530672.1 3B-09 C	(Korrosion) 3B Corrosion	28.08.2012	Randkappe Nord, oben	1	17.09.2012	0	01076E2F8C	x	0	*1, *2, *3	*8
						1	0106296487	x	0		*8
						2	0106296521	x	0		*8
7530672.1 1C-01 H	(Feuchte) 1C Humidity	28.08.2012	Decke oben, neben Achse 20, Nähe Tiefpunkt, neben Tropftülle	1	17.09.2012	0				*1, *3, *6, *7	
						1	0106A6932C	21	2		*5, *8
						2					
Unterseite											
7530672.1 3B-04 C	(Korrosion) 3B Corrosion	28.08.2012	Decke unten, neben Achse 20, Nähe Raumfuge	1	17.09.2012	0	01076E3042	5	1	*1	*8
						1	0106A69597	2	1		*4, *8
						2	0106A68E1B	2	1		*4, *8
7530672.1 3B-05 C	(Korrosion) 3B Corrosion	28.08.2012	Decke unten, Bauwerksachse, Nähe Raumfuge	1	17.09.2012	0	01076E434F	4	1	*1	*8
						1	01076E434F	1	1		*4, *8
						2	01076E434F	3	1		*4, *8
7530672.1 1C-02 H	(Feuchte) 1C Humidity	28.08.2012	Decke unten, neben Achse 20 Nähe Raumfuge	1	17.09.2012	0	01076E3980	1	1	*1	*8
						1	0106A696CD	2	2		*5, *8
						2					

- *1 Info: Erfassung Daten mit Lesegerät Typ 2
 - *2 Info: Sonder-Sensor Nr. 6 wurde mit Sensor 9 vertauscht (Beschriftung nicht eindeutig)
 - *3 Info: Erfassung auf Grund der verringerten Reichweite (+ 17 cm Bitumen) nicht möglich
 - *4 Info Korrosionseintritt: Messung bei Simulation Belag (17 cm)
 - *5 Info Feuchtigkeit: Die Schalterposition der Sensordrähte ist gleich bzw. größer der des Master-Tags.
 - *6 Info Bauweisen: Die Ersterfassung stellt den Fall "Feuchtigkeit" dar, die Lesereichweiten erhöhen sich bei Austrocknung bis ein stabiler Zustand erreicht ist
 - *7 Info Sensor 1C01: Auf Grund spezieller Anforderungen an die Lesereichweite (Bitumenaufbau) wurden 3 Sensoren speziell angefertigt.
 - *8 Info Messwert-Zustand: (Nr.B06, Nr.B07, Nr.C01)
- Feuchtesensor 1C01 liegt unter der Asphaltsschicht der Fahrbahn. Konstruktionsbedingt wurde dieser Sensor ohne Master-Tag ausgeführt.
- Master-RFID-Tag, k_{Tag}=0:
 Zustand 0 = Master RFID konnte nicht lokalisiert werden
 Zustand 1 = Master RFID konnte lokalisiert werden
- Sensor-RFID-Tag, k_{Tag}=1:
 (Korrosionssensor oben)
 Zustand 0 = Sensor RFID-Tag konnte nicht lokalisiert werden
 Zustand 1 = keine Korrosion festgestellt
 Zustand 2 = Korrosion festgestellt
- Sensor-RFID-Tag, k_{Tag}=2:
 (Korrosionssensor unten)
 Zustand 0 = Sensor RFID-Tag konnte nicht lokalisiert werden
 Zustand 1 = keine Korrosion festgestellt
 Zustand 2 = Korrosion festgestellt
- Sensor-RFID-Tag, k_{Tag}=1:
 (Feuchtesensor)
 Zustand 0 = Sensor RFID-Tag konnte nicht lokalisiert werden
 Zustand 1 = Bauteil ist trocken
 Zustand 2 = Bauteil ist feucht

Tab. 2: Messwerte der Datenerfassung vom 17.09.2012

A.5 Vorschlag für die eindeutige Namenskonvertion für Bauwerkssensoren im System ISIS

Für die Erfassung und Verwaltung der Sensordaten ist es obligatorisch, dass ein eindeutiges System für die Benennung der Sensoren gefunden wird.

An dieser Stelle sei der folgenden Vorschlag gemacht:

Die Sensor-Identifikationsnummer sollte sich aus der Nummer des Teilbauwerkes und der verkürzten Sensornummer zusammensetzen und abschließend noch eine alphanumerische einfache Kennung für den Typ des Sensors enthalten.

So würden sich die Namen der im Teilbauwerk 1 von BW 90 der BAB A8 eingebauten Sensoren z.B: wie folgt ergeben:

Korrosionssensoren	
Sensor Name	Vollständiger Sensorname
3B-01	7530672.1-3B-01-C
3B-02	7530672.1-3B-02-C
3B-03	7530672.1-3B-03-C
B-04	7530672.1-3B-04-C
3B-05	7530672.1-3B-05-C
3B-06	7530672.1-3B-06-C
3B-07	7530672.1-3B-07-C
3B-08	7530672.1-3B-08-C
3B-09	7530672.1-3B-09-C
3B-10	7530672.1-3B-10-C

Feuchtesensoren	
Sensor Name	Vollständiger Sensorname
1C-01	7530672.1-1C-01-H
1C-02	7530672.1-1C-02-H

Hierbei sind:

ASB-Nr: 7530672.1
Sensor-Nr. kurz: 3B-01
Sensor-Typ: C = Corrosion = Korrosionssensor
 H = Humidity = Feuchtesensor

Tab. 3: Tabelle mit den vollständigen Bezeichnungen der eingebauten Sensoren

Die Form der tabellarischen Darstellung der Sensordaten und Messwerte auf der vorhergehenden Seite könnte als Vorschlag für den Entwurf der Sensor-Messdaten-Tabelle in einem Datenbankmodell verwendet werden.

A.6 Auslesen der Messdaten im Rahmen der Bauwerksprüfung

Die Erhebung der Messdaten der Korrosions- und Feuchtesensoren sollte im Rahmen der Brückenprüfungen erfolgen.

Bis zum erkennbaren Beginn der Korrosion der ersten Sensordrahtes ist eine Auslesung im Zuge der Brücken-Hauptprüfungen im Rhythmus von 6 Jahren ausreichend. Anschließend sollten die Messintervalle spätestens mit detektierter Korrosion des der Bewehrung naheliegenden Sensordrahtes auch im Zuge der einfachen Prüfungen erfolgen.

Voraussetzung hierfür ist, dass die für den Einbau der Sensoren erstellten Sensorpläne im System ISIS abgelegt und verwaltet werden. Eine historisierte Darstellung der Messergebnisse über alle Messungen ist hierbei unbedingt erforderlich, um die Veränderung der Messwerte visualisieren zu können.

Die Messdaten können mit einem robusten und für den Einsatz auf einer Baustelle geeigneten mobilen Computer erfasst werden. Moderne Lesegeräte ermöglichen hierbei kabellose Datenübermittlung zwischen dem Lesegerät und dem mitgeführten tragbaren Computer.



Abb. 4: Mobiler Computer für die Datenerfassung am Bauwerk

Bei der Generation von Sensoren, die im Bauwerk 90 der BAB A8 eingebaut wurden, ist eine handnahe Messwert-Erfassung erforderlich. D. h.: Der Brückenprüfer muss sich mithilfe von Hubwagen oder ähnlichen Hilfsmitteln den Zugang zu den eingebauten Sensoren verschaffen.

Zur Zeit wird jedoch an einer neuen Generation von Sensoren gearbeitet, die fernauslesbar sein werden, wodurch der Aufwand für die Messwert-Erfassung erheblich reduziert werden kann.

Diese Sensoren waren zum Zeitpunkt der Bearbeitung dieses FuE-Projektes noch nicht marktreif konnten daher in dem durchgeführten Feldversuch keine Berücksichtigung finden.

B. Fotodokumentation der Messdaten-Erfassung vom 17.09.2012



Abb. 1: BAB A8 – BW 90, Teilbauwerk 1 zum Zeitpunkt der ersten Sensorauslesung im Bauzustand

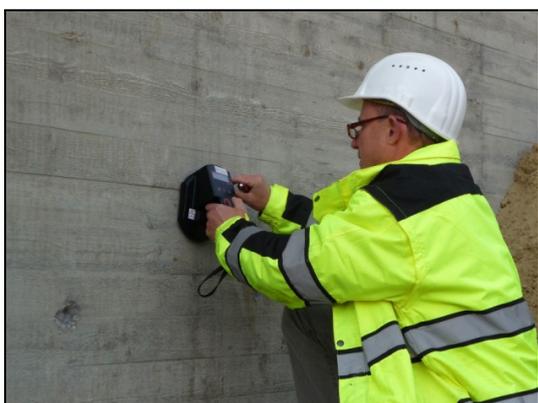


Abb.2: Messung am Korrosionssensor 3B-01



Abb.3: Messung am Korrosionssensor 3B-01



Abb. 4: Messung am Korrosionssensor 3B-02



Abb. 7: Messung am Korrosionssensor 3B-06 und Feuchtesensor 1C-01 mit Asphaltdecken Simulationskörper



Abb. 5: Messung am Korrosionssensor 3B-03



Abb. 8: Messung am Korrosionssensor 3B-06 und Feuchtesensor 1C-01



Abb. 6: Messung am Korrosionssensor 3B-03



Abb. 9: Überprüfung der Messwerte



Abb. 10: Messung am Korrosionssensor 3B-05



Abb. 11: Messung am Korrosionssensor 3B-04
und Feuchtesensor 1C-02

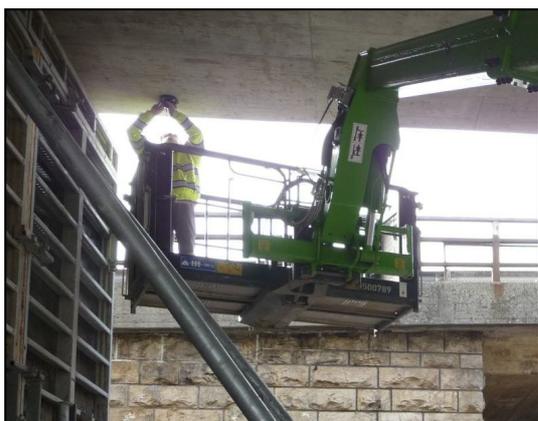


Abb. 12: Messung am Korrosionssensor 3B-04
und Feuchtesensor 1C-02