

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

Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen

Brücken- und Ingenieurbau Heft B 130

bast

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

bast

Die Bundesanstalt für Straßenwesen veröffentlicht ihre Arbeits- und Forschungsergebnisse in der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen**. Die Reihe besteht aus folgenden Unterreihen:

A - Allgemeines
B - Brücken- und Ingenieurbau
F - Fahrzeugtechnik
M - Mensch und Sicherheit
S - Straßenbau
V - Verkehrstechnik

Es wird darauf hingewiesen, dass die unter dem Namen der Verfasser veröffentlichten Berichte nicht in jedem Fall die Ansicht des Herausgebers wiedergeben.

Nachdruck und photomechanische Wiedergabe, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung der Bundesanstalt für Straßenwesen, Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit.

Die Hefte der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen** können direkt bei der Carl Schünemann Verlag GmbH, Zweite Schlachtpforte 7, D-28195 Bremen, Telefon: (04 21) 3 69 03 - 53, bezogen werden.

Über die Forschungsergebnisse und ihre Veröffentlichungen wird in der Regel in Kurzform im Informationsdienst **Forschung kompakt** berichtet. Dieser Dienst wird kostenlos angeboten; Interessenten wenden sich bitte an die Bundesanstalt für Straßenwesen, Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit.

Ab dem Jahrgang 2003 stehen die **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen (BAST)** zum Teil als kostenfreier Download im elektronischen BAST-Archiv ELBA zur Verfügung.
<http://bast.opus.hbz-nrw.de>

Impressum

Bericht zum Forschungsprojekt FE 09.0149/2011/DRB:
Intelligente Straßenverkehrsinfrastruktur durch 3D-Modelle und RFID-Tags

Fachbetreuung

Tabea Neumann-Schwarzkopf

Herausgeber

Bundesanstalt für Straßenwesen
Brüderstraße 53, D-51427 Bergisch Gladbach
Telefon: (0 22 04) 43 - 0
Telefax: (0 22 04) 43 - 674

Redaktion

Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit

Druck und Verlag

Fachverlag NW in der
Carl Schünemann Verlag GmbH
Zweite Schlachtpforte 7, D-28195 Bremen
Telefon: (04 21) 3 69 03 - 53
Telefax: (04 21) 3 69 03 - 48
www.schuenemann-verlag.de

ISSN 0943-9293

ISBN 978-3-95606-251-3

Bergisch Gladbach, Dezember 2016

Kurzfassung – Abstract

Intelligente Straßenverkehrsinfrastruktur durch 3D-Modelle und RFID-Tags

Im Rahmen des 12-monatigen Forschungsprogramms „Intelligente Straßenverkehrsinfrastruktur durch 3D-Modelle und RFID-Tags“, aufgesetzt von der Bundesanstalt für Straßenwesen, entwickelte die HOCHTIEF Solutions AG ein Konzept für ein Infrastruktur-Informationssystem.

Ziel dieses Forschungsvorhabens war es, das bestehende System der öffentlichen Anstalt für den Betrieb und Erhalt von Brückenbauwerken, sowie die dazugehörigen Workflows mithilfe neuer Technologien zu optimieren.

Das entwickelte Konzept für ein Infrastrukturinformationssystem ISIS, kurz für Intelligente StraßenverkehrsInfraStruktur, wurde als eine Schale um die bereits vorhandene Straßeninformationsbank-Bauwerke (SIB-BW) herum konzipiert. Alle Prozesse und Datenflüsse, die rund um diese Datenbank bestehen, bleiben damit unverändert. Zusätzliche Informationen und Dokumente, die an die vorhandenen Datensätze angefügt werden sollen, werden in dem neuen System abgelegt und mit dem Bestandsdatensatz verknüpft.

Ziele

- Informationsbereitstellung optimieren,
- 3D unterstützte Dokumentation des Bauwerksprüfprozesses,
- Anlehnung an bestehende Prozesse,
- Einbindung mobiler Endgeräte und Zustandsensoren.

ISIS gründet sich auf folgende Komponenten:

- Bauwerksmodelle,
 - 2D-Platzhalter für Bestandsbauten,
 - 3D-Modelle für Neubauten;
- mobile Schadensaufnahme via mobiler Endgeräte,
- Frühwarnsysteme auf Basis von RFID-Technologie (Feuchtigkeit und Korrosion),
- 3D-Pins für die Markierung relevanter Punkte (RFID-Detektoren, Schäden, etc.) ,

- Hardware mit hoher Verfügbarkeit und Akzeptanz (iPads).

Um allen Beteiligten den Zugriff zu dem Informationssystem zu ermöglichen, wird das System zur Ausführung auf einer Online-Plattform konzipiert. Alle relevanten Informationen eines Straßenverkehrsinfrastrukturprojektes können in konsolidierter Form bereitgestellt werden. Die bisher dezentrale und inkompatible Datenhaltung in mehreren Teilsystemen wird unterbunden und eine einfache und durchgängige Nutzung des Datenbestandes in Planung, Bau und Betrieb wird ermöglicht. Um den Prozess der Bauwerksprüfung effizienter zu gestalten, sollen Informationen zum Bauwerkszustand mithilfe der 3D-Pin-Markierung und dem Einsatz von Radiofrequenz-Technologie (RFID) regelmäßig überprüft werden, um Bauwerksschäden frühzeitig erkennen zu können.

Intelligent Road and Infrastructure using 3D models and RFID tags

Within a research and development project initiated by the “Federal Highway Research Institute” (BAST) HOCHTIEF Solutions AG developed a concept of an infrastructure information system. Main goal of the project was the optimization of existing systems for maintaining bridges as well as the related processes and workflows. This goal should be achieved by using new technologies like 3D-models and RFIDtags.

The final concept of ISIS (abbreviation for InfraStructure Information System) was designed as a shell around the exiting software system SIB-BW (Straßeninformationsbank-Bauwerke). All related processes and workflows of data and files should remain untouched and should not change in any way. Additional information and documents which should be added to the existing data will be stored within the new system and connected to the existing data records.

Goals

- Optimize allocation of information,
- 3D assisted documentation of structural health monitoring for bridges,
- Conideration of existing processes,
- Usage of mobile devices and status sensors.

ISIS is based on following components:

- CAD-models of bridges,
 - 2D-symbols for existing structures,
 - 3D-models for new structures;
- mobile recording of damages using mobile devices,
- monitoring system based on RFID-technology (moisture and corrosion),
- 3D-pins for locating RFID-sensors, damages, etc.,
- Hardware of high availability and acceptance (iPads).

To grant all involved persons access to the information system the concept was developed as an online-platform. All necessary information of infrastructure projects will be available in a consolidated way. The concept of ISIS avoids data storage at different places and in different systems which sometimes resulted in wrong or confusing information due to inconsistency. The new concept gives an easy possibility to navigate through a much greater information stock. Therefore more information may be used in an easier way in all phases of a building project. By using 3D-pins in CAD-models it is possible to mark locations of interest like sensors, damages or other information. Using RFID-technology gives the possibility to receive indications about possible damages at an earlier point of time.

Inhalt

1	Projektbeschreibung	7	4.1.10 BW-Modelle	19	
1.1	Zielsetzung	7	4.1.11 Pins	20	
1.2	Anforderungen	7	4.1.12 RFID-Detektoren Korrosion	20	
1.2.1	Prozessanforderungen	7	4.1.13 RFID-Detektoren Feuchtigkeit	21	
1.2.2	Softwareanforderungen	8	4.1.14 RFID-Lesegerät	21	
1.2.3	Hardwareanforderungen	9	4.1.15 iPads	21	
			4.1.16 Formulare	22	
2	Bestandsaufnahme	9	4.1.17 Formular-Editor	22	
2.1	Stand der Forschung	9	4.1.18 Form-App Bauwerksüberwachung ...	22	
2.2	Stand der Technik	9	4.1.19 Form-App PhotoLog	23	
2.2.1	Tools und Prozesse im Straßenwesen	9	4.1.20 Workflows	23	
2.2.2	3D-Modelle im Bauwesen	9	4.2 RFID-Versuchsbeschreibung	24	
2.2.3	RFID-Einsatz im Bauwesen	10	4.2.1 Versuchsbauwerk	24	
2.2.4	Tools für den Betrieb von Straßen ...	10	4.2.2 Verwendete Detektoren	24	
3	Zielkonzept	10	5	Einbauorte	25
3.1	Prozessdefinition	10	6	Ergebnisse	26
3.2	Definition relevanter Daten	11	6.1	Anmerkungen zum System- konzept	27
3.2.1	Eingangsdaten bei Bestandsbau- werken	12	6.2	Versuchsauswertung	28
3.2.2	Eingangsdaten bei Neubauwerken ...	12	6.3	Ausblick	30
3.3	Definition 3D-Anwendungsfälle	12			
3.4	Definition RFID-Anwendung	13			
4	Systembeschreibung	14			
4.1	Systemkomponenten	14			
4.1.1	Systemeingangsdaten	14			
4.1.2	Userverwaltung	16			
4.1.3	Online-Plattform	16			
4.1.4	Google Maps	16			
4.1.5	Bauwerksinformationssystem (BIS) ...	16			
4.1.6	GIS-Systeme	18			
4.1.7	SIB-BW	18			
4.1.8	Fotos	18			
4.1.9	Zeichnungen	19			
			Anhänge	32	

1 Projektbeschreibung

Im Rahmen des Forschungsprogramms Straßenwesen: „Intelligente Straßenverkehrsinfrastruktur durch 3D-Modelle und RFID-Tags“ wurde das Konzept für ein Infrastruktur-Informationssystem (im Folgenden „ISIS – Intelligente Straßenverkehrsinfrastruktur“ genannt) ausgearbeitet. Dieses Informationssystem ermöglicht es, dass die für die Durchführung einer Bauwerksprüfung benötigten Informationen anschaulich und leicht zugänglich bereitgestellt werden und somit der Prüfprozess effektiver gestaltet wird. Hierbei wurden die bereits bestehenden Prozesse einer Bauwerksprüfung berücksichtigt und weitestgehend unverändert gelassen. Ergänzt wurde das bestehende System durch die Themenbereiche RFID und Einsatz von 3D-Modellen, welche in diesem Forschungsbericht explizit fokussiert wurden.

1.1 Zielsetzung

Mit ISIS wurde ein Konzept ausgearbeitet, das auf bestehenden Prozessen und Anwendungen der Straßenbauverwaltungen von Bund und Ländern aufsetzt (siehe Anhang A: „Tools und Prozesse im Straßenwesen“).

Die wesentliche, bereits vorhandene, Softwarekomponente stellt hierbei die Straßeninformationsdatenbank-Bauwerke (kurz: SIB-BW) dar. SIB-BW ist die zentrale Informationsquelle für alle Infrastrukturbauwerke und enthält neben den Grunddaten der Brückenbauwerke auch alle Informationen über den Zustand der Bauwerke und die Ergebnisse durchgeführter Prüfungen.

Das Konzept für ISIS sieht vor, auf diese Softwarekomponente zuzugreifen bzw. die vorhandenen Daten zu nutzen. Hierdurch wird zum einen eine Effizienzsteigerung bei der Vorbereitung einer Bauwerksprüfung ermöglicht, in dem die vorhandenen Daten strukturierter, durch den Anwender gezielt filterbar und somit zugänglicher zur Verfügung gestellt werden. Und zum anderen wird eine Steigerung des zur Verfügung gestellten Informationsumfangs durch Bereitstellung von zusätzlichen Informationen wie beispielsweise Zeichnungen, Verträgen oder auch 3D-Modellen der Brückenbauwerke, ermöglicht.

Neben dieser optimierten Informationsbereitstellung durch ISIS wird ebenfalls der Prozess der Bauwerksprüfung durch das entwickelte Zielkonzept effektiver

gestaltet. Durch den Einsatz mobiler Endgeräte (wie z. B. Handhelds oder Tablet-PCs) während der Bauwerksprüfung, werden die vor Ort aufgenommenen Ergebnisse, Fotos und weiterführenden Informationen noch während der Prüfung an ISIS übermittelt, dort in strukturierter Form abgelegt und direkt zur weiteren Verwendung zur Verfügung gestellt.

Darüber hinaus wurden die Einsatzmöglichkeiten der RFID-Technologie betrachtet und deren Umsetzbarkeit geprüft. Im Rahmen eines Feldversuches wurden Korrosionsdetektoren auf RFID-Basis als zusätzliche Kontrollmöglichkeit des Bauwerkszustandes bei Bauwerksprüfungen vorgesehen. Mithilfe dieses RFID-gestützten Frühwarnsystems können korrosionsauslösende Faktoren zuverlässig festgestellt werden, bevor Schäden an der Betonstahl-/Spannstahlbewehrung des Bauwerks entstehen.

1.2 Anforderungen

Neben der allgemeinen Entwicklung eines solchen Informationssystems ergaben sich bei der Ausarbeitung weitere wesentliche Anforderungen aus der Vorgabe, dass der Transfer des theoretischen Konzepts von ISIS in ein in der Praxis umsetzbares Aktivsystem gewährleistet sein sollte.

Die zwei wesentlichen Anforderungen lassen sich hierbei wie folgt definieren:

- eine hohe Akzeptanz bei den Anwendern. Hieraus folgt, dass das System leicht zugänglich sein muss (z. B. durch intuitive Bedienung) und
- eine hohe Systemstabilität. Das System muss eine extrem hohe Verfügbarkeit besitzen, um bei den Anwendern Vertrauen in das System zu erzeugen.

Aufgrund dieser zusätzlichen allgemeinen Anforderung mussten drei Hauptkomponenten des Systemkonzepts genauer betrachtet werden: auf der einen Seite der Prozess der Bauwerksprüfung mittels des neuen Systems, auf der anderen Seite zum einen die Software- und zum anderen die Hardwarekomponenten, die in diesem Konzept verwendet werden.

1.2.1 Prozessanforderungen

Um eine möglichst hohe Akzeptanz für das zu entwickelnde System zu erzeugen, sollte der derzeitige Prozessablauf so wenig wie möglich abgeändert

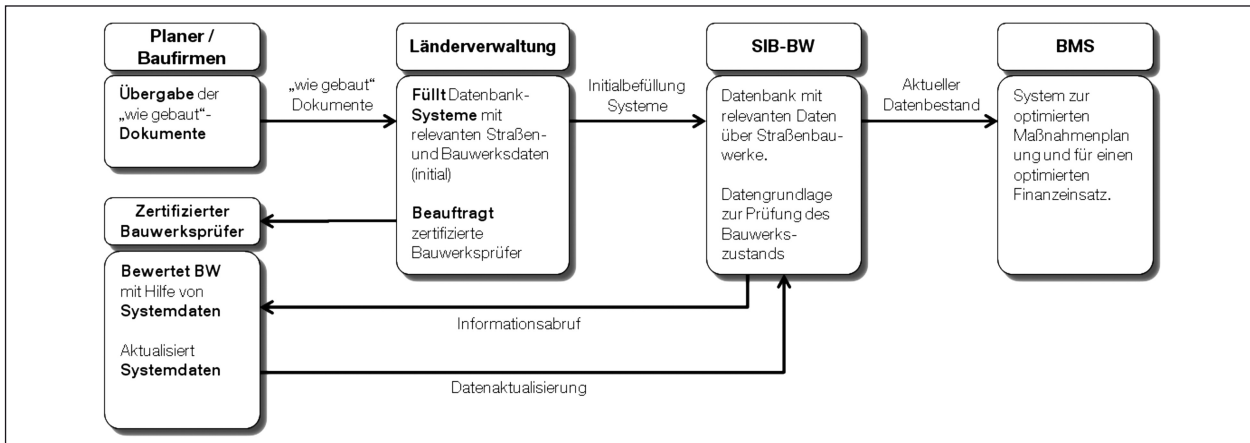


Bild 1: Ist-Prozess der Bauwerksprüfung

werden. Hierfür wurde eine genauere Betrachtung der Abläufe der Bauwerksprüfung durchgeführt.

Bild 1 zeigt den derzeitigen Ist-Zustand des Prüfablaufs als schematische Skizze.

Hierbei zeigt sich, dass sich die Prozessschritte prinzipiell in vier Einzelprozesse aufteilen:

- Initialbefüllung des Systems (Aufnahme eines neuen Brückenbauwerks in das System, hier: in SIB-BW),
- Informationsabruf (Vorbereitung für die Brückenprüfung),
- Datenaktualisierung (nach Prüfung mit den Prüfungsergebnissen),
- Auslesen des Datenbestands für weiterführende Optimierungsmaßnahmen (Bauwerksmanagementsystem (BMS) des Erhaltungsmanagements).

Als weiteres allgemeines Ziel wurde definiert, dass neben den aufgeführten Anwendungen für die Erhaltung von Bauwerken auch die Integration von Softwaresystemen für den Betrieb von Straßen in dem Konzept als Ausblick Berücksichtigung finden sollte. Beispielsweise könnten Systemkomponenten integriert werden, die die Räum- und Streurouten, sowie den Salzverbrauch während eines Winterdienstes einsetzes abbilden, um hieraus die Salzbelastung der Straße in bestimmten Streckenabschnitten zu visualisieren.

1.2.2 Softwareanforderungen

Neben diesen rudimentären Anforderungen an die Prozessschritte wurden auch Anforderungen an die verwendeten Softwareprodukte identifiziert.

Da die Bearbeitung des Projekts die Ausarbeitung eines Konzeptes vorsieht, wird die verwendete Software nur exemplarisch aufgeführt, d. h. es werden Vorschläge aufgeführt, wie das Systemkonzept umgesetzt werden könnte.

Somit werden vorwiegend Softwaretypen (keine expliziten Softwarepakete) benannt, mit denen das Informationssystem realisiert werden kann.

Aus dieser Überlegung ergibt sich des Weiteren, dass Software verwendet werden soll, die möglichst formatunabhängig ist, sodass die Möglichkeit gegeben ist, verschiedene Produkte für die Umsetzung zu verwenden und sich nicht aus vorgegebenen Datenformaten weitere Anforderungen ergeben, die zur Verwendung eines speziellen Softwareprodukts führen.

Zusätzliche Anforderungen resultieren aus der Tatsache, dass der bestehende Prozess nicht verändert werden soll. Durch den bestehenden Prozess mit der verwendeten Software ist vorgegeben, welche Datenformate exportiert werden können, bzw. in welcher Form die vorhandenen Informationen und Daten vorliegen. Um den bestehenden Prozess und die verwendete Software nicht anpassen zu müssen, wird die Anforderung an neue Software gestellt, dass diese Datenformate gelesen und ggfs. weiterverarbeitet werden können.

Darüber hinaus soll eine Multi-User-Fähigkeit realisiert werden, d. h. es sollen verschiedene Anwender gleichzeitig auf das System zugreifen und mit den im System vorhandenen Informationen arbeiten können.

Die Softwareanforderungen lassen sich somit folgendermaßen zusammenfassen:

- keine expliziten Softwarepakete,
- formatunabhängige Software,
- Verwendung bestehender Schnittstellen,
- Multi-User-Fähigkeit.

1.2.3 Hardwareanforderungen

Hinsichtlich zusätzlicher Hardware wurde bei der Ausarbeitung des Systemkonzepts auf folgende Aspekte (siehe Kapitel 1.2) geachtet:

- hohe Verfügbarkeit in der Beschaffung (es sollten keine Sonderlösungen Verwendung finden, die nur mit hohem Aufwand zu erwerben sind),
- hohe Akzeptanz bei Anwendern (Die Geräte sollten leicht und intuitiv zu bedienen sein. Hieraus folgt z. B., dass extrem kleine Geräte mit winzigen Tasten ausgeschlossen sind),
- schadensunempfindliche Hardware (besonders bei mobilen Geräten ist es wichtig, darauf zu achten, dass die Geräte keinen Schaden nehmen. Hierbei ist ein Baustelleneinsatz zu berücksichtigen.).

2 Bestandsaufnahme

Vor der eigentlichen Ausarbeitung des Zielkonzepts für ein Infrastrukturinformationssystem wurde eine Bestandsaufnahme des aktuellen Forschungsstands bezüglich des Themas „virtuelle Baustelle“ und des Stands der Technik hinsichtlich Software und Hardware durchgeführt (siehe Anhang B).

2.1 Stand der Forschung

Als Fazit aus der Recherche ist festzuhalten, dass es viele Ansätze gibt, diesen Themenbereich aufzubereiten, dass diese Ansätze jedoch rein theoretischer Natur sind. Eine konsequente Umsetzung der Forschungen wurde bislang nicht durchgeführt.

2.2 Stand der Technik

2.2.1 Tools und Prozesse im Straßenwesen

Im Laufe der letzten Jahre wurden durch die BAST bereits einige Forschungsprojekte aufgesetzt, die dazu führten, dass die Tools:

- SIB-BW (Straßeninformationsbank Bauwerke),
- BMS (Bauwerks-Management-System),
- BISStra (Bundesinformationssystem Straße) und
- PMS (Pavement-Management-System)

entwickelt wurden bzw. noch weiterentwickelt werden. Diese Tools enthalten zum einen die aktuellen Daten von Brücken (SIB-BW) und Straßen (BIS-Stra) und zum anderen stellen sie Tools zum Erhaltungsmanagement dar (BMS für Bauwerke und PMS für Straßen).

Im Rahmen dieses Forschungsprojektes ist SIB-BW die Anwendung, um die herum ISIS als Schale konzipiert wurde.

2.2.2 3D-Modelle im Bauwesen

3D-Modelle stellen die Basis für Building Information Modelling (kurz BIM) dar. Adäquate Techniken zu BIM in der Bauindustrie werden schon seit einigen Jahren erfolgreich in anderen Industrien als dem Bauwesen eingesetzt. Der große Unterschied, in dem sich das Bauwesen von anderen Industrien unterscheidet, liegt darin, dass Bauwerke in der Regel Unikate sind. Wiederkehrende Produktionsketten – wie beispielsweise in der Automobilindustrie – gibt es im Bauwesen nahezu nicht. Um 3D-Modelle dennoch effizient im Bauwesen und insbesondere für Bauwerke im Straßenwesen einsetzen zu können, sollen folgende weitere Anforderungen an die verwendeten 3D-Modelle gestellt werden:

1. Die Modelle sollen durch Vereinfachungen und Platzhaltermodelle möglichst kostengünstig modelliert werden können.
2. Die Modelle sollen möglichst für verschiedene Einsatzmöglichkeiten genutzt werden können.
3. Die Modelle sollen modular aufgebaut sein, d. h. es sollen beispielsweise einzelne Bauteilgruppen bzw. Bauteile einzeln auswählbar und somit auch austauschbar sein.

Um diese Ziele zu erfüllen, wurden in Anhang C verschiedene Einsatzmöglichkeiten und Detaillierungsstufen für 3D-Modelle im Bauwesen aufgeführt.

2.2.3 RFID – Einsatz im Bauwesen

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

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass RFID im Bauwesen für folgende übergeordneten Bereiche praktikabel verwendet werden kann:

- schnelle, automatisierte Identifikation von Objekten,
- Speichern und Auslesen von Daten an und/oder in Bauteilen,
- Übertragung von Detektormessdaten.

Von diesen drei generellen Themenbereichen wird insbesondere der dritte Bereich (Übertragung von Detektormessdaten) im Rahmen dieses Forschungsprogramms aufgegriffen und im Rahmen eines Feldversuchs weiterführend untersucht (siehe Kapitel 4.2).

2.2.4 Tools für den Betrieb von Straßen

Neben der Zielsetzung dieses Forschungsprogramms zur Entwicklung eines Konzepts für ein Informationssystem im Bereich des Erhalts von Brückenbauwerken, gibt es Parallelen bezüglich der Entwicklung im Bereich für den Betrieb von Straßen.

Der Bedarf nach einem geeigneten Management-Tool für den Straßenbetriebsdienst ist hauptsächlich durch folgende Aspekte geprägt:

- vertragliche Anforderungen,
- Einhaltung gesetzlicher Vorschriften,
- wirtschaftliche und organisatorische Verbesserung des Betriebsdienstes,
- operatives Controlling ermöglichen,
- Erzielung positiver Auswirkungen auf die Nutzersicherheit und Umwelt.

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

Als Anwendungsbeispiel sei erwähnt, dass HOCHTIEF derzeit im Bereich des Straßenbetriebs ein

modular aufgebautes Betriebsdatenerfassungssystem mit mobilen Endgeräten verwendet, welches in auch Zusammenarbeit mit HOCHTIEF entwickelt wurde. Hierbei werden die Leistungsdaten im laufenden Betrieb via mobiler Endgeräte, die in den Einsatzfahrzeugen des Betreiberunternehmens installiert sind, aufgenommen und mittels eines Geoinformationssystems (kurz GIS) online abgebildet. Das System wird als Management-Tool zu Planung, Steuerung und Dokumentation sämtlicher Leistungen der betrieblichen und baulichen Erhaltung genutzt.

Zwar ist das auszuarbeitende Konzept dieses Forschungsprojekts in erster Linie auf die Erhaltung von Infrastrukturbauwerken fokussiert, allerdings wurde das System offen gestaltet, um zu ermöglichen, dass das ISIS zukünftig auf den Themenbereich für Betrieb und Erhaltung von Straßen erweitert werden kann.

3 Zielkonzept

Hinsichtlich der Entwicklung der heutigen Technologien liegt es auf der Hand, die verfügbaren Möglichkeiten zu nutzen und auch in der Bauindustrie anzuwenden.

Um zu veranschaulichen, wie ein Informationssystem platziert werden muss, um Technologien wie 3D-Modelle und RFID-Technik erfolgreich in der Bauindustrie und insbesondere bei der Bauwerkserhaltung von Straßeninfrastruktur-Bauwerken anzuwenden, werden in diesem Kapitel die Prozesseinbindung und die Integration der erwähnten Themenbereiche erläutert.

3.1 Prozessdefinition

Bei der Wahl der Systemplatzierung spielen zwei zu berücksichtigende Punkte eine zentrale Rolle. Zum einen sollen bestehende Prozesse im Datenfluss und bei der Datenverarbeitung so wenig wie möglich, im besten Fall sogar gar nicht, verändert werden. Zum anderen soll das Zielsystem an zentraler Stelle eingerichtet werden, d. h. dort positioniert werden, wo bereits zum derzeitigen Zeitpunkt die meisten Daten zentral gespeichert werden.

Diese beiden Überlegungen führten zu einer Umsetzung des Systems als Schale oder Aufsatz zu der bestehenden Software SIB-BW, in der derzeit

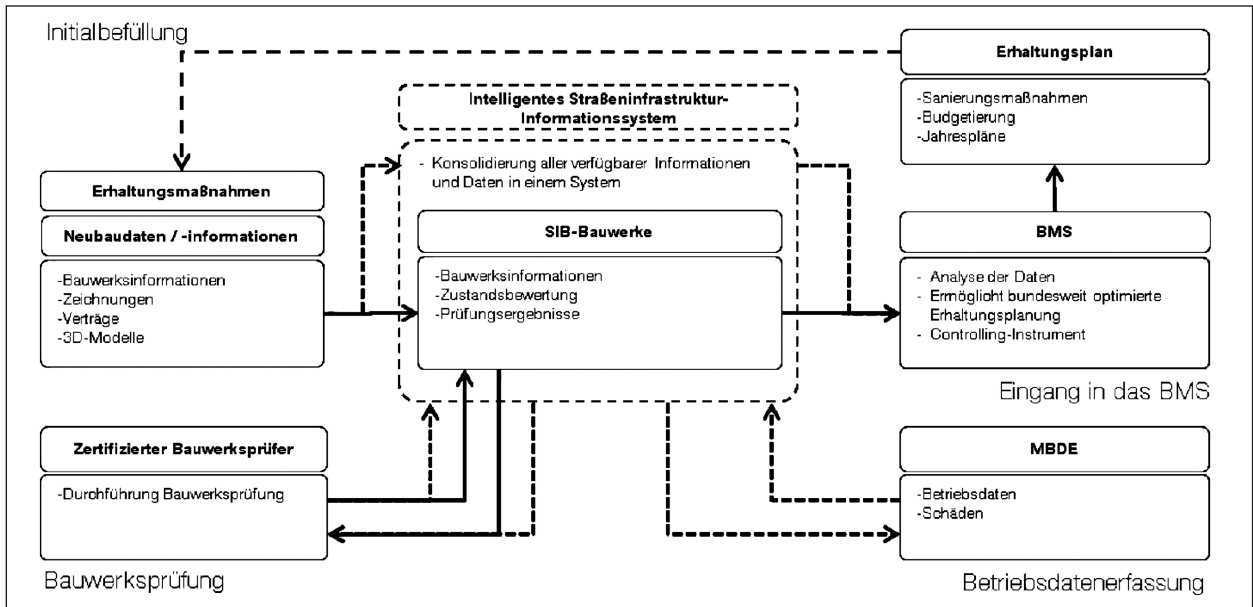


Bild 2: Systemskizze des Zielkonzepts (Prozessdarstellung)

alle Bauwerksdaten und Prüfberichte bzw. Prüfungsergebnisse gespeichert werden. Dies hat zur Folge, dass alle Prozesse und Datenflüsse rund um SIB-BW bestehen und unverändert bleiben.

Zusätzliche Informationen und Dokumente, die an die vorhandenen Datensätze angefügt werden sollen, werden in dem neuen System abgelegt und mit dem Bestandsdatensatz verknüpft.

Bild 2 zeigt die Positionierung des Systems, eingebunden in den bestehenden Prozessablauf.

3.2 Definition relevanter Daten

Grundlage des zu konzipierenden Systems ISIS bildet das 3D-Modell von Brückenbauwerken, die mit dem System verwaltet werden sollen. Neben der Bereitstellung des 3D-Modells muss jedoch abgewogen werden, welche weiteren Eingangsdaten bei dem Informationssystem im laufenden Betrieb zu Mehrwert führen. Würde man alle vorhandenen Informationen und Dokumente in dem Zielsystem konsolidieren, wäre die Folge, dass die für eine Brückenprüfung relevanten Informationen von Unmengen an nutzlosen Daten überlagert werden würden. Filtervorgänge und Wiedergabe der wesentlichen Informationen würden komplizierter und der Zeitbedarf würde ansteigen. Das Resultat wäre, dass ein effektives Arbeiten mit dem System hierdurch ausgeschlossen würde. Tabelle 1 zeigt eine Übersicht von möglichen Planungsdaten, die prinzipiell an das System angefügt werden könnten.

Planungsdaten		
Planungsdaten der Entwurfs- und Rohbauphase Pläne <ul style="list-style-type: none"> • Streckenplanung • Lagepläne • Höhenpläne • Querprofile • Punktdaten • 3D-Geländemodelle (GIS) • Katasterpläne • Bauwerks-Übersichtspläne • Schalpläne • Kappenpläne • Ausstattungspläne • Lagerversatzpläne • Bewehrungspläne • Erdungspläne • Entwässerungspläne • Werkstattpläne • Geländerpläne • Verbaupläne Detaillkataloge Statik Entwässerungsberechnung Normen, Richtlinien Gutachten <ul style="list-style-type: none"> • Bodengutachten • Windkanalgutachten • Materialprüfungen Datenblätter <ul style="list-style-type: none"> • Brückenlager • Fahrbahnübergänge • Entwässerungssysteme • Beschichtungssysteme Zulassungen ...	Planungsdaten zur technischen Ausstattung von Brückenbauwerken Pläne und Schemata <ul style="list-style-type: none"> • Leiteinrichtungen • Lärmschutzwände • Fahrbahnmarkierung • Versorgungsleitungen • Kommunikationseinrichtungen • Entwässerung • Beleuchtung extern / intern • Taumittelsprühsystem • Beschilderung • Windmesssystem • Komm.-/Datenkabel • Videosystem • Mautsystem Betriebsanleitungen ...	Planungsdaten zur technischen Ausstattung von Tunnelbauwerken Pläne und Schemata <ul style="list-style-type: none"> • Beleuchtung, Notbel. • Leiteinr., Beschilderung • Entwässerung • Ventilation • Brandmeldesystem • Löschsysteme • Funkanlagen • Videosysteme • Taumittelsprühsystem • Entfluchtung • Energieversorgung • Notstromversorgung • Verkehrssteuerung • Notrufstellen • Lüftechn. Messsyst. • Zentrale Steuerung • Höhenkontrollsystem • Mautsystem Betriebsanleitungen ...

Tab. 1: Planungsdaten

Im Kapitel 4 wird definiert, welche der Daten, die in das Zielsystem eingebunden werden, welcher Projektbeteiligte bereitzustellen hat bzw. wie ein Konzept für die Datenbereitstellung aussehen könnte. Hierbei ist zwischen Bestands- und Neubauwerken zu unterscheiden.

Da bei der Ausarbeitung des Konzepts für ISIS der Prozess der Brückenprüfung fokussiert werden soll, werden für die Systemkonfiguration nur für Bau-

werksprüfungen relevante Planungsdaten berücksichtigt.

Hierbei ist jedoch anzumerken, dass ggfs. weitere Planungsdaten zu einem späteren Zeitpunkt sinnvoll werden könnten, falls das Konzept um weitere Anwendungsfälle ergänzt werden sollte.

Um abzuwägen, welche Informationen in das ISIS fließen sollen, soll zunächst damit begonnen werden, die notwendigen Daten in das Zielsystem zu integrieren. Da die wesentliche Zielsetzung zunächst die Optimierung des Bauwerksprüfprozesses ist, muss überprüft werden, welche Daten und Informationen notwendig sind und welche zu Mehrwert bei diesem Vorgang führen.

3.2.1 Eingangsdaten bei Bestandsbauwerken

Der wesentliche Unterschied der Eingangsdaten von Bestands- und Neubauwerken liegt darin, dass bei Neubauwerken auf aktuelle Planungswerkzeuge und Datenformate zurückgegriffen werden kann. Bei den Bestandsbauwerken werden die Möglichkeiten der zu verwendenden Daten bereits durch das vorhandene Informationsmaterial eingeschränkt. Wichtigste Datenquelle, die in diesem Zusammenhang genutzt werden soll, ist die SIB-BW. Hierin sind die grundlegenden Bauwerksinformationen, sowie alle Informationen über aufgenommene Schäden und Reparaturen aufgeführt und sollten auf jeden Fall in das neue System übernommen werden. Hierbei müssen neben den Schadensbeschreibungen in Textform ebenfalls die vorhandenen Fotoaufnahmen übernommen werden.

Darüber hinaus sollten Daten übernommen werden, sofern sie für den Prozess der Bauwerksprüfung hilfreich sein können (z. B. Abnahmeprotokolle, Informationen über verwendete Baumaterialien, Bestandspläne, Gutachten)

Da in der Regel zu vorhandenen Brückenbauwerken noch keine 3D-Modelle bestehen, muss hier über eine kostengünstige Alternative nachgedacht werden. Die Notwendigkeit für den Einsatz des Systemkonzepts für jedes Bauwerk ein exaktes 3D-Modell verwenden zu müssen, würde die Einführung eines solchen Informationssystems zunichtemachen. Daher werden vorhandene Bauwerke zunächst mit Platzhaltermodellen visualisiert, d. h. es werden 3D-Modelle verwendet, die die Brücken nicht exakt widerspiegeln, jedoch ermöglichen, dass dennoch bestimmte Positionen (z. B. um

Schäden aufzunehmen) an diesen Platzhaltermodellen definiert werden können.

3.2.2 Eingangsdaten bei Neubauwerken

Im Gegensatz zu den Daten der Bestandsbauwerke ist die Situation bei Neubauwerken etwas freier zu betrachten, da hier die Daten und Informationen noch erstellt werden. Es kann somit frei definiert werden, welche Informationen in ISIS zur Verfügung gestellt werden sollen.

Da bei Neubauwerken noch keine Schäden und keine Prüfungsreports vorliegen, entfallen diese Informationen während des Setups für das System. Allerdings müssen diese Verknüpfungen dennoch vorgesehen werden, um spätere Daten einpflegen zu können.

Folgende Daten sollten zwingend für Neubauwerke vorgesehen werden:

- 3D-Modell (Level of Detail: Bauteilgruppe),
- Grunddaten aus SIB-BW,
- Abnahmeprotokolle,
- Gutachten,
- Bestandspläne.

3.3 Definition 3D-Anwendungsfälle

Neben vielen verschiedenen Einsatzmöglichkeiten für die Verwendung von 3D-Modellen im Bauwesen (siehe Anhang C: Modellbasiertes Arbeiten und 3D-Modelle), haben sich folgende drei Themenbereiche für die Umsetzung in ISIS als am effektivsten herausgestellt:

- 3D-Modelle als Kommunikationsgrundlage

Der Einsatz von 3D-Modellen vereinfacht die Kommunikation über Bauwerke immens. Oft liegen nur Planungsunterlagen als Diskussionsgrundlage vor, die mitunter schwer zu überblicken sind (grade bei komplexeren Bauwerken). Ein 3D-Modell ermöglicht es, den Gesamtzusammenhang eines Bauwerks schneller zu verstehen und relevante Aspekte eines Bauwerks mit weniger Einarbeitungszeit zu erfassen. Der Ingenieur der Bauwerksprüfung nach DIN 1076 (im Folgenden kurz „Bauwerksprüfer“) kann sich somit in einem geringeren Zeitrahmen auf seine Bauwerksprüfung vorbereiten.

- 3D-Bauteilgruppen als Informationsspeicher

Neben der grundlegenden Visualisierung eines Brückenbauwerks werden die einzelnen CAD-Elemente als Ankerelemente für weiterführende Informationen verwendet. So können 2D-Zeichnungen, vertragliche Unterlagen, Ergebnisse früherer Brückenprüfungen, Fotos oder andere Informationen mit den Elementen des 3D-Modells verknüpft werden. Werden weiterführende Informationen zu Elementen wie beispielsweise den Auflagern benötigt, stehen diese direkt in ISIS zur Verfügung und können sofort abgerufen werden. Die Vorbereitung auf eine Bauwerksprüfung wird somit effektiver und informativer gestaltet.

- 3D-Pins zur Lokalisierung relevanter Punkte

Um relevante Punkte wie beispielsweise verbaute RFID-Detektoren oder Schäden, die bei früheren Bauwerksprüfungen festgestellt wurden, zu verorten, werden 3D-Pins an die 3D-Modelle der Brückenbauwerke geheftet. Diese modellierten Stecknadeln verfügen über unterschiedliche Kopfformen und können in unterschiedlichen Farben dargestellt werden. So wird ermöglicht, dass kritische Schäden hervorgehoben oder unterschiedliche Informationsinhalte von einander abgehoben werden können. Hierdurch werden weitere Informationen bereitgestellt, die eine Vorbereitung auf die Bauwerksprüfung wesentlich erleichtern.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die 3D-Modelle von Brückenbauwerken innerhalb des ISIS vorwiegend als Vorbereitungstool für die Bauwerksprüfung dienen. Durch Verknüpfung mit anderen Informationsquellen werden eine Vielzahl von Daten und Unterlagen auf anschauliche Weise zur Vorbereitung auf eine Bauwerksprüfung dem Prüfer zur Verfügung gestellt.

3.4 Definition RFID-Anwendung

Im Rahmen des Forschungsprojekts hat sich herausgestellt, dass der Einsatz von RFID-Detektoren als Korrosionsfrühwarnsystem sich als naheliegender Einsatzgebiet der RFID-Technik im Zusammenhang mit Brückenprüfungen erwiesen hat (siehe Anhang E: RFID in Forschung und in Praxis).

Tabelle 2 zeigt darüber hinaus eine allgemeine Übersicht über mögliche Einsatzgebiete für RFID-

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	
Korrosionsdetektor und Feuchtedektoren	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. 2: Empfehlungen für RFID-Technik im Bauwesen

Technik im Bauwesen und deren thematische Zuordnung im Lebenszyklus eines Bauwerks.

Der anfangs durch die Alkalität des Betons korrosionsgeschützte Bewehrungsstahl verliert durch die Alterung des Betons oder durch chemische Einflüsse mit der Zeit seine schützende Passivschicht. Es entstehen zunächst unbemerkt Korrosionsschäden, die bei Nichtbeachtung in der Folgezeit die Tragfähigkeit der gesamten Konstruktion gefährden können.

Sind Lochfraß, Abplatzungen und Risse erst sichtbar geworden, ist der Sanierungsaufwand bereits erheblich. Um bereits zu einem früheren Zeitpunkt Informationen über das Maß der Eindringung korrosionsfördernder Einflüsse in den Beton erhalten zu können, wurden die Corrodec-Korrosionsdetektoren entwickelt.

Mithilfe dieses RFID-gestützten Frühwarnsystems können korrosionsauslösende Faktoren punktuell festgestellt werden, bevor Schäden an der Betonstahlbewehrung entstehen. Hierfür ist die Bestim-



Bild 3: Probekörper mit Korrosionsdetektor (Quelle: Selsan Consult GmbH)

mung der Einbauorte während der Planungsphase wesentlich, um die Detektoren an den korrosionsgefährdeten Positionen des Bauwerks zu platzieren.

Bei dem Corrodec-System handelt es sich um ein passives, Energie- und kabelloses System, welches einfach zu handhaben und einzubauen ist und im Laufe der Lebenszeit des Bauwerks mit hoher Sicherheit und Zuverlässigkeit Messdaten zur Beurteilung des Bauwerkszustandes liefert. Im Zuge der Brückenprüfungen können die Messdaten unkompliziert und ohne aufwendige Interpretation mit einem mobilen Endgerät erfasst werden. Gemessen an den Bauwerks-Herstellungskosten stellen die Kosten für den Einbau und Betrieb einer gewissen Anzahl an Korrosionsdetektoren eine nur geringe Investition dar.

Die Korrosionsdetektoren können sowohl vor dem Betonieren – zum Beispiel beim Neubau oder im Rahmen einer Instandsetzung – als auch nachträglich, mithilfe einer Kernbohrung installiert werden.

Die Detektoren haben einen Durchmesser von 80 mm und sind in einer Bauhöhe von 25 mm als auch 15 mm erhältlich. Typische Einsatzgebiete sind Wasserbauwerke, Brücken, Parkhäuser oder Schachtbauwerke.

4 Systembeschreibung

Das Konzept des Informationssystems setzt sich aus verschiedenen Einzelkomponenten zusammen, die untereinander verzahnt sind und auf gemeinsame Daten zugreifen bzw. diese zur Verfügung stellen. Dieses Kapitel veranschaulicht und definiert die Teilelemente und Funktionen von ISIS und erläutert deren Vorteile.

Anschließend wird die Testanwendung im Rahmen eines Feldversuchs erläutert, anhand dessen der Einsatz von RFID-Technologie bei Brückenbauwerken untersucht wird.

4.1 Systemkomponenten

Obwohl das Softwarekonzept sich als eine einheitliche Hülle um die bestehende Software SIB-BW legt, besteht das System aus vielen Einzelkomponenten. Bild 4 veranschaulicht das Zusammenspiel dieser Einzelkomponenten. Die verwendeten Nummerierungen finden sich in der dritten Strukturebene dieses Kapitels wieder, sodass der Leser eine genaue Erläuterung zu den Einzelkomponenten schnell nachlesen kann.

4.1.1 Systemeingangsdaten

Bereits in Kapitel 3.2 wurde definiert, welche Informationen und Daten (sowohl für Bestands- als auch für Neubauwerke) in das Informationssystem übernommen werden sollten und im Laufe eines Bauwerksprüfprozesses zu Mehrwert führen.

Diese Informationen und Daten werden in dem Systemdemonstrator integriert (siehe Tabelle 3).

Die Integration der Daten erfolgt über einen CAB-Export aus SIB-BW. Dieser Export liefert alle textlichen Informationen, die zum Zeitpunkt des Exports in SIB-BW zu den einzelnen Bauwerken aufgeführt sind. Neben den textlichen Informationen kann ebenfalls Bildmaterial in SIB-BW enthalten sein, welches ebenfalls zwingend übergeben werden muss.

Die exportierten Daten aus der SIB-BW werden als *.CAB-Datei übergeben. Bei dieser *.CAB-Datei handelt es sich um ein komprimiertes Archiv, welches eine Fox-Datenbank und einige Zusatzdokumente enthält. Die Datenbank beinhaltet alle textlichen und numerischen Werte wie beispielsweise Schadensbewertungen und Beschreibungen der Grunddaten der Brücke (Bezeichnung, Konstruktionsweise, Ausmaße usw.). Bei den Zusatzdokumenten handelt es sich um Bildmaterial, Bestandszeichnungen, Anlagen zum Bauwerksbuch und Prüfungsergebnisse. Die in der *.CAB-Datei enthaltenen Daten sind in oberster Ebene nach der ASB-Nummer (die eindeutige Kennnummer der jeweiligen Brücke) angeordnet. Hierbei zeigte sich während des Projekts, dass die Anordnung der ASB-

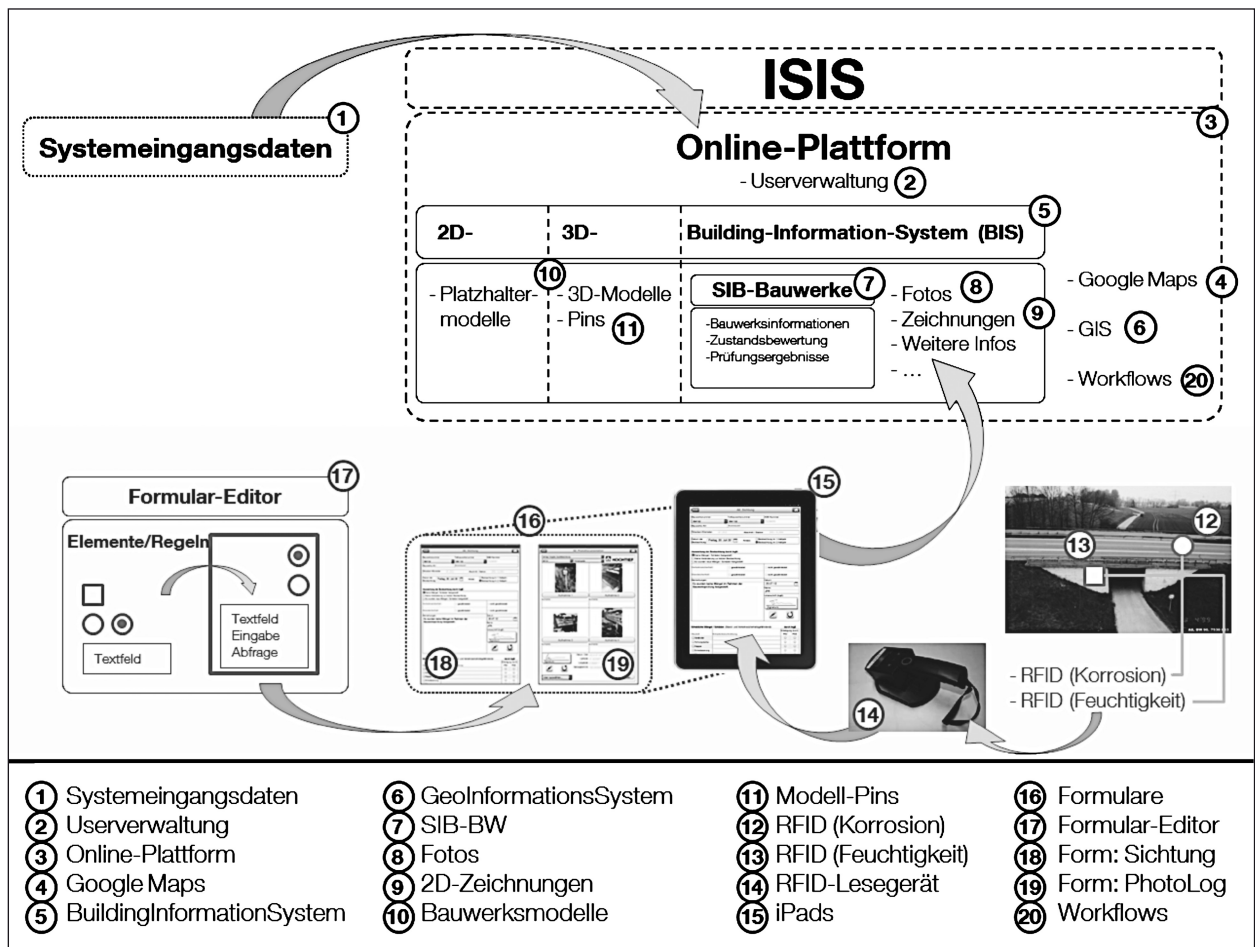


Bild 4: Systemskizze (SW-/HW-Darstellung)

Information/ Daten	Bestandsbauwerk	Neubauwerk
3D-Modell	Platzhaltermodell	3D-Modell
SIB-BW	BW-Grunddaten	BW-Grunddaten
Bestandspläne	Ja	Ja
Protokolle	Soweit vorhanden	Alle Abnahmen
Gutachten	Soweit vorhanden	Ja
Vorhandene Schäden	Ja (inkl. Bildmaterial)	-
Prüfberichte	Ja	-

Tab. 3: Systemeingangsdaten

Nummern sich etwas unterscheiden kann, jedoch grundlegend dem gleichen System folgen.

Beim Export von SIB-BW-Daten der BAB A 4 (Hörseltalbrücke) ist die Ordnerstruktur zunächst nach den ersten vier Ziffern der ASB-Nummer (regionale Bezeichnung) und die zweite Ebene der Ordnerstruktur nach den letzten drei Ziffern (Bauwerksbezeichnung) aufgeteilt. Hingegen zeigte der Ex-

port der SIB-BW-Daten der BAB A 8, dass nur eine Ordnerebene vorlag, die die komplette, siebenstellige ASB-Nummer beinhaltet.

Unabhängig von der Darstellung der Ordnerstruktur, die die ASB-Nummer des Bauwerks wiedergibt, sind die Daten abschließend nach folgender Struktur abgelegt: In dem beschriebenen Verzeichnis liegen Einzelordner für die Teilbauwerke des Bauwerks (sofern vorhanden) und ein darstellendes Foto der Brücke, sowie eine kartografische Übersicht. Die Inhalte der Teilbauwerksordner teilen sich wie folgt auf: ein Ordner mit Prüfungsergebnissen, Bestandspläne, Fotos der Teilbauwerke und Zusatzdokumente zum Bauwerksbuch (z. B. Anlage zum Bauwerksbuch). Der Ordner der Prüfungsergebnisse beinhaltet schlussendlich zum einen den Ordner „Zustand“, der den aktuellen Zustand des Bauwerks beschreibt, sowie weitere Ordner, die einer Namenskonvention folgen, die frühere Prüfungen wiedergibt (vier Stellen für das Jahr, der durchgeführten Prüfung, sowie zwei Stellen, um das Halbjahr zu beschreiben; z. B. „2012H1“).

Durch diese gleichbleibende Datenanordnung ist es möglich, automatisiert auf diese Daten und Dokumente zuzugreifen und diese in ISIS einzubinden.

4.1.2 Userverwaltung

Um zu gewährleisten dass eingetragene Daten nicht verändert werden bzw. vor nicht autorisierten Zugriffen geschützt werden, ist es unumgänglich verschiedene Zugriffsrecht-Stufen zu implementieren. Hier wird zwischen drei verschiedenen Rechtstufen unterschieden:

- Gast

hat nur die Möglichkeit, Informationen und Daten, die im System enthalten sind, zu betrachten und zu analysieren,

- Bearbeiter

hat über die Rechte eines Gasts hinaus die Möglichkeit, neue Informationen und Daten in das System zu integrieren,

- Administrator

hat die gleichen Rechte wie ein Bearbeiter und darüber hinaus auch noch die Möglichkeiten, Daten und Informationen zu löschen oder abzuändern.

Diese verschiedenen Zugriffsrollen werden an einer zentralen Stelle definiert und während des Login-Vorgangs verifiziert.

4.1.3 Online-Plattform

Um allen Beteiligten den Zugriff zu dem Informationssystem zu ermöglichen, wird das System als Online-Plattform ausgeführt. Der Vorteil in dieser Systemvariante liegt darin, dass alle Daten an einer zentralen Position konsolidiert werden können und somit auch nur an einer Stelle aktualisiert werden müssen. Mehrfachdatenhaltung und unterschiedliche System- und Datenversionen werden somit vermieden.

4.1.4 Google Maps

Die Funktion Google Maps bietet eine in das Informationssystem eingebettete Schnittstelle zu dem Karten- und Satellitenbildmaterial von Google. Über Informationen über die GPS-Koordinaten von Brückenbauwerken ist es möglich, diese Bauwerke



Bild 6: Bauwerks-Marker in Google Maps

mittels Markern auf dem Kartenmaterial zu positionieren und um weitere Informationen zu ergänzen. Bild 6 zeigt exemplarisch einen Bauwerksmarker für Bauwerk 90 an der BAB A 8.

Beispiele für Informationen, die angefügt werden können, sind:

- letzte Hauptprüfung,
- nächste Hauptprüfung,
- Erstellungsjahr
- Streckenkilometer,
- Bauwerksnote.

4.1.5 Bauwerksinformationssystem (BIS)

Das Bauwerksinformationssystem (BIS) ist die Kernkomponente, in der alle verfügbaren Informationen über sogenannte Mapping-Tabellen zusammengefügt werden. Eine Mapping-Tabelle definiert in strukturierter Form, welche Informationen einer Datenquelle mit einer anderen Information aus einer anderen Datenquelle in Verbindung stehen und erzeugen somit eine Verknüpfung zwischen den einzelnen Informationen.

Beispielsweise enthält ein 3D-Brückenmodell einen Zeichnungs-Layer „Auflager“, auf dem alle Modellelemente modelliert wurden, die zu den Brückenlagern gehören. In einer anderen Tabelle sind wiederum alle Fotobezeichnungen und Fotospeicherpfade aufgeführt, die zu den Brückenaufslagern gehören. In einer Mapping-Tabelle wird nun definiert, dass der Layer „Lager“ in Beziehung mit der Fototabelle (oder einer bestimmten Spalte dieser Tabelle) steht. Auf diese Weise wird ermöglicht, dass beispielsweise ein Auflager des 3D-Mo-

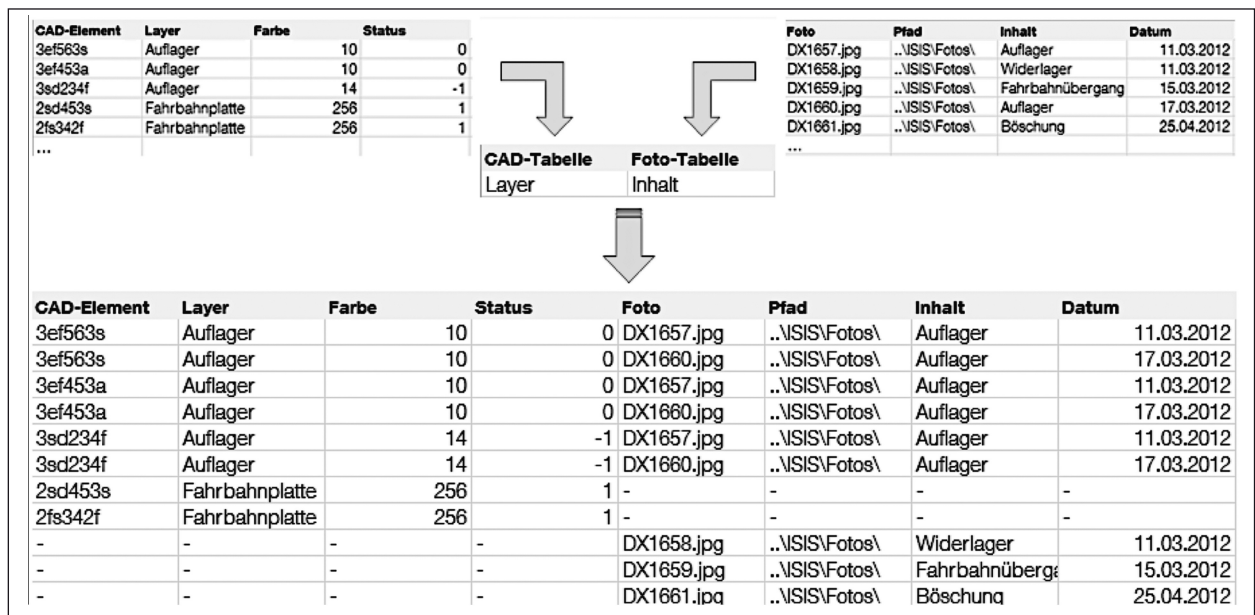


Bild 7: Prinzipskizze eines Mapping-Vorgangs

dells ausgewählt werden kann und alle Daten angezeigt werden können, die mit diesem Modellelement via Mapping-Tabellen in Verbindung steht. In dem oben aufgeführten Beispiel könnte man sich nun alle Fotos zu den Lagern der Brücke anzeigen lassen. Bild 7 skizziert dieses Beispiel.

Anwendung, die Mapping-Tabellen verwenden, um große Mengen von Daten über Verknüpfungen auszuwerten werden Dataming-Tools genannt. Diese Tools ermöglichen das gezielte Filtern nach verschiedensten Kriterien (die wiederum über die Mapping-Tabellen definiert werden).

In dem Konzept von ISIS werden zwei verschiedene Arten von Bauwerksinformationssystemen verwendet. Das 2D-BIS enthält die konsolidierten Informationen von mehreren Bauwerken (beispielsweise den Bauwerken einer bestimmten Strecke), wohingegen das 3D-BIS die Daten zu einem einzelnen Brückenbauwerk enthält.

2D-BIS

Das 2D-BIS (Bauwerks-Informationssystem) verknüpft alle im Informationssystem integrierten Daten mit einer 2D-Darstellung, beispielsweise einer Kartendarstellung. Diese Darstellung wird vorwiegend verwendet, wenn Platzhaltermodelle für die Brückenbauwerke zum Einsatz kommen, da bisher noch keine genaueren 3D-Modelle der Brücken zur Verfügung stehen.

In der 2D-Darstellung sind die Platzhaltermodelle eingefügt, um die exakte Position des Brückenbau-



Bild 8: Kartendarstellung des 2D-BIS

werks zu markieren und zum anderen um Zustände farblich darzustellen (siehe Bild 8). Hierbei können die einzelnen Bauteilgruppen der Bauwerke einzeln für sich betrachtet werden. Das 2D-BIS enthält, im Gegensatz zu dem unten aufgeführten 3D-BIS, die Brückenbauwerke eines gesamten Streckenabschnitts.

3D-BIS

Anders als im 2D-BIS beinhaltet das 3D-BIS die Informationen und Daten eines einzelnen Brückenbauwerks. Diese Daten sind direkt mit dem, im Gegensatz zu den 2D-Platzhaltermodellen genaueren, 3D-Modell verknüpft. Durch die Verwendung des 3D-Modells einer Brücke ist es möglich, Schäden genauer zuzuordnen, als nur einzelnen Bauteilgruppen, wie es im 2D-Platzhaltermodell durchgeführt wird. Bild 9 zeigt exemplarisch das komplexere 3D-Modell einer Talbrücke.

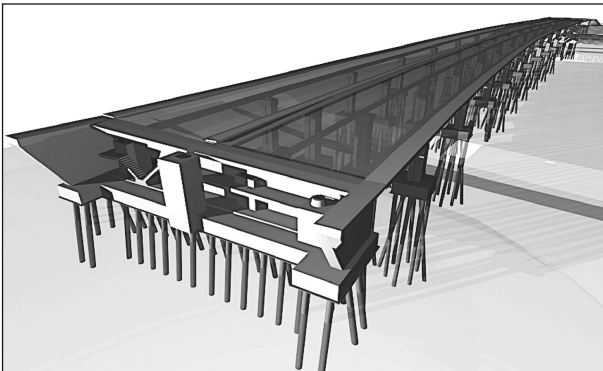


Bild 9: Modelldarstellung des 3D-BIS

4.1.6 GIS-Systeme

Geoinformationssysteme bieten die Möglichkeit, Informationen und Daten mit geografischen Informationen und Kartenmaterial zu verknüpfen. Während Google Maps eine einfache Darstellung ermöglicht, bieten GIS-Systeme wesentlich tiefgreifendere Analysen. So ist es mit GIS-Systemen möglich, auf verschiedene Web-Services zuzugreifen, um beispielsweise Live-Daten von Verkehrsaufkommen darstellen zu können.

4.1.7 SIB-BW

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 zu entwickelnde Zielkonzept anknüpfen muss.

Aufgrund der Tatsache, dass die wesentlichen Bauwerksinformationen bereits in strukturierter Form in SIB-BW vorliegen, wurden die Informationen mit der gleichen Strukturierung in die Bauwerksinfor-

mationssysteme (2D- und 3D-BIS) übernommen. Bild 10 zeigt die Darstellung der SIB-BW Informationen im Bauwerksinformationssystem von ISIS.

Neben den Grunddaten der Bauwerke wurden bei Bestandsbauwerken ebenfalls die bereits erfassten Schäden und Informationen über bereits durchgeführte Haupt- und Nebenprüfungen in das Informationssystem übertragen. Die Integration der Daten in das neue Informationssystem ISIS ermöglicht die Verknüpfung mit weiteren Daten und Informationsquellen.

4.1.8 Fotos

Da während Bauwerksprüfungen Fotos aufgezeichnet werden, werden diese ebenfalls in das System integriert. Jedoch wird der herkömmliche Weg der Fotodokumentation (Foto mit Kamera aufnehmen, Notizen zu Foto machen, Fotos von Digitalkamera auf PC übertragen, ggfs. Foto umbenennen, Fotos in Ordnerstruktur einsortieren, Verweis auf Fotos im System vermerken) vereinfacht und effektiver umgesetzt.

Hierzu werden die Fotos während der Bauwerksprüfung direkt mit einer speziellen Anwendung (siehe Kapitel 4.1.19) aufgenommen und Anmerkungen zu den Fotos eingetragen. Anschließend werden die Fotos direkt via Internetverbindung an das Informationssystem übertragen und in strukturierter Form, zentral abgelegt (siehe Bild 11). Somit entfallen die Aufwände nach Aufnahme der Fotos und werden direkt vom System übernommen.

Tabelle 4 zeigt hierzu den kalkulierten Arbeitszeitgewinn unter Verwendung einer mobilen Fotodokumentations-Anwendung auf einem Handheld (siehe Kapitel 4.1.19).

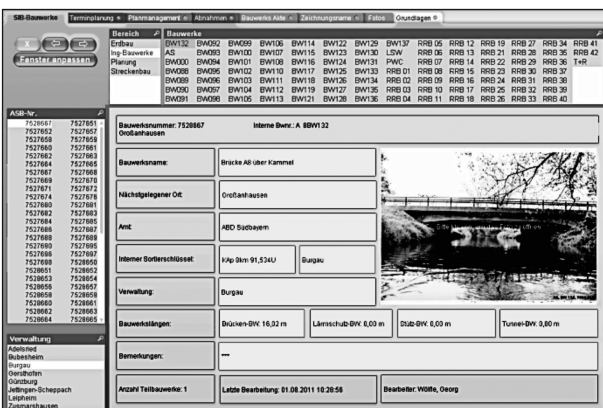


Bild 10: SIB-BW-Daten in ISIS

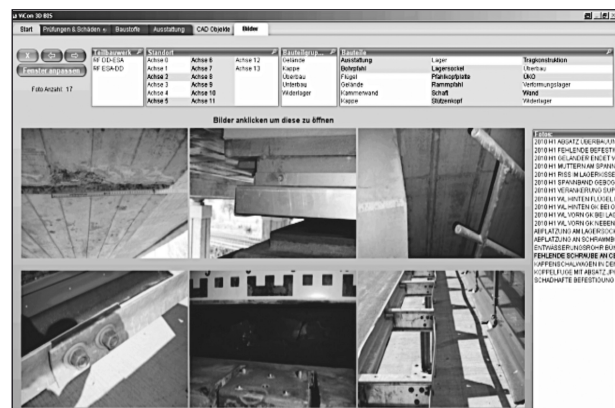


Bild 11: Fotodarstellung in ISIS

Nr.	Beschreibung Arbeitsschritt (konventionell)	Aufwand	[Einheit]
1	Prüfingenieur nimmt Digitalkamera (vorbereiten/einstellen)	1	Min
2	PI nimmt Fotos auf (Annahme: Fotoserie = 8 Fotos)	10	Min
3	PI lädt Fotos aus Kamera-Kartenleser herunter	3	Min
4	PI legt Fotos im zugehörigen Verzeichnis ab	6	Min
5	PI benennt die abgelegten Fotos um	10	Min
Summe Arbeitsaufwand pro Fotoserie in Minuten		30	Min
Summe Arbeitsaufwand pro Fotoserie in Stunden		0,5	h
Geschätzte Anzahl von Fotoserien pro Prüfung		5	Stück
Arbeitszeit je Prüfung in Minuten		150	Min
Arbeitszeit je Prüfung in Stunden		2,5	h

Nr.	Beschreibung Arbeitsschritt (mittels ISIS und Mobilgerät)	Aufwand	[Einheit]
1	Prüfingenieur nimmt iPad (vorbereiten/einstellen)	1	Min
2	PI nimmt Fotos auf und ordnet über Auswahlfelder Metadaten zu	12	Min
3	PI lädt Fotos aus Kamera-Kartenleser herunter	0	Min
4	PI legt Fotos im zugehörigen Verzeichnis ab	0	Min
5	PI benennt die abgelegten Fotos um	0	Min
Summe Arbeitsaufwand pro Fotoserie in Minuten		13	Min
Summe Arbeitsaufwand pro Fotoserie in Stunden		0,2	h
Geschätzte Anzahl von Fotoserien pro Prüfung		5	Stück
Arbeitszeit je Prüfung in Minuten		65	Min
Arbeitszeit je Prüfung in Stunden		1,1	h

Kalkulierte Einsparungen unter Verwendung von ISIS	Aufwand	[Einheit]
Einsparung je Fotoserie	17	Min
Einsparung je Bauwerksprüfung (5 Fotoserien) in Minuten	85	Min
Einsparung je Bauwerksprüfung (5 Fotoserien) in Stunden	1,4	h
Einsparung bei 100 Prüfungen im Jahr (Stunden)	141,7	h
Einsparung bei 100 Prüfungen im Jahr (Arbeitsstage je 8 Stunden)	17,7	d

Tab. 4: Kalkulierter Arbeitszeitgewinn mit ISIS (für PhotoLog)

4.1.9 Zeichnungen

Neben den Grunddaten eines Brückenbauwerks und den Ergebnissen der letzten Prüfberichte ist es gegebenenfalls während der Bauwerksprüfung notwendig, Zugriff auf die Bestandspläne des Bauwerks zu haben.

Daher werden diese Ausführungsunterlagen ebenfalls in das System übernommen und mit Filtermöglichkeiten hinterlegt, sodass schnell auf benötigte Zeichnungen zugegriffen werden kann (siehe Bild 12).

4.1.10 BW-Modelle

Wie bereits in Kapitel 4.1.5 angedeutet, werden in ISIS zwei verschiedene Arten von Bauwerksmodellen eingesetzt. Um eine schnelle Umsetzung des Systems zu ermöglichen, werden Platzhaltermodelle verwendet, um die Funktionen für einen Großteil aller Brücken einsetzen zu können, für die bisher noch kein 3D-Modell erstellt wurde. Die exakteren 3D-Modelle liefern einen höheren Mehrwert, müssen jedoch erst für die jeweiligen Bauwerke modelliert werden, sodass dieser Einsatz mit höheren Anfangskosten verbunden ist. Durch diese Kombination von zwei Modellarten ist gewährleistet, dass das System schnell eingesetzt kann und im Laufe der Zeit um die exakteren 3D-Modelle ergänzt werden kann.

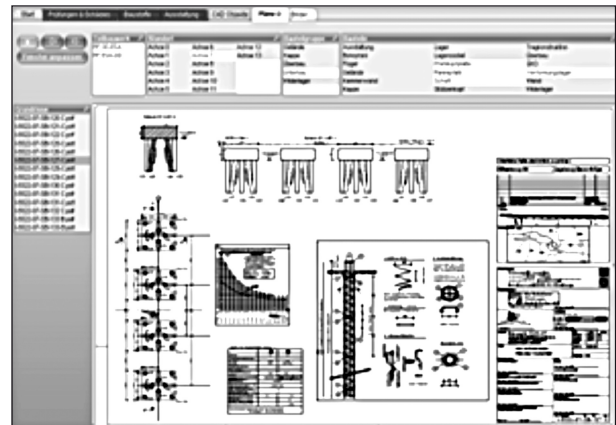


Bild 12: Bauwerkszeichnungen in ISIS

Platzhaltermodelle

Die Platzhaltermodelle repräsentieren in vereinfachter Weise allgemeingültige Bauteilgruppen von Brückenbauwerken. Hierbei ist es wichtig, ein übergreifendes Abbild zu erstellen, welches für alle Brückenbauwerke verwendet werden kann. D. h. es wird dieselbe Symbolik für alle Brücken verwendet, auch wenn bei einigen Bauwerken eventuell (z. B. Pfähle der Gründung) nicht vorhanden sind. Diese nicht vorhandenen Bauteilgruppen können im Informationssystem ausgegraut oder ausgeblendet werden, um Missverständnisse und Verwirrungen zu vermeiden.

Sind die zu repräsentierenden Brücken dennoch zu unterschiedlich in der Konstruktionsweise (beispielsweise eine Stahlbogenbrücke gegenüber einem 2-Feld-Fertigteilüberbau) oder den Ausmaßen (beispielsweise eine mehrfeldrige Talbrücke im Gegensatz zu einer Amphibiendurchlass), so sollten ggfs. mehrere Platzhaltermodelle verwendet werden, um die Brückenstruktur in sinnvoller Weise widerspiegeln zu können. Hierbei ist darauf zu achten, dass jedes Bauteil anhand des Platzhaltermodells eindeutig repräsentiert und lokalisiert werden kann.

Bild 13 zeigt exemplarisch, wie ein solches 2D-Platzhaltermodell aussehen kann. Die Symbolik teilt sich in die drei verschiedenen Gruppen „Gründung“, „Unterbau“ und „Überbau“ auf. Hierbei ist anzumerken, dass der Überbau in Fahrtrichtung, der Unterbau jedoch orthogonal zur Fahrtrichtung abgebildet ist, um alle Bauteilgruppen darstellen zu können.

Um Schäden an den Bauteilgruppen zu visualisieren, können die einzelnen Gruppen im Informa-

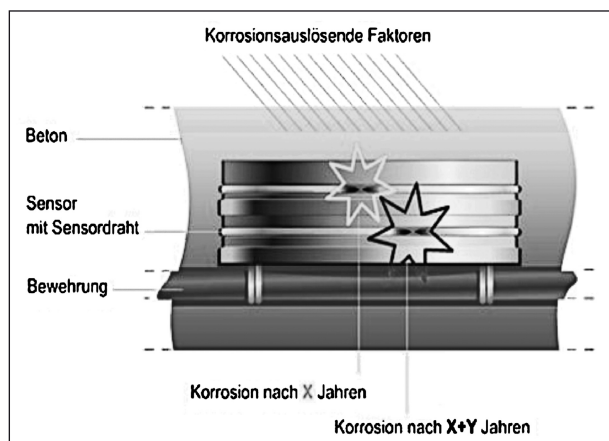


Bild 16: Schematische Darstellung eines Korrosionsdetektors

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. Bild 16 stellt die Funktionsweise schematisch dar.

4.1.13 RFID-Detektoren Feuchtigkeit

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

Diese Detektoren machen sich den unterschiedlichen elektrischen Widerstand des Betons in Abhängigkeit von der Betonfeuchte zu Nutze und liefern somit eine Information darüber, ob das betreffende Bauteil trocken oder durchfeuchtet ist.

4.1.14 RFID-Lesegerät

Die Auslesung von Informationen aus dem RFID-Detektor geschieht im Zuge dieses Forschungsvorhabens mittels eines Lesegerätes von AEG mit der Typenbezeichnung ARE H5 (siehe Bild 17).

Ein aktuelles Ausstattungsmerkmal des ARE H5 ist ein Stellrad, mit dessen Hilfe bei Auflegen des Lesegerätes auf eine Auflagerplatte über dem Detektor, 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 Detektor zu ermöglichen.



Bild 17: RFID-Lesegerät von AEG, Typ ARE H5



Bild 18: Apple iPad mit 3D-Viewer App

4.1.15 iPads

Für den mobilen Einsatz auf der Baustelle werden für das Forschungsvorhaben Apple iPads eingesetzt.

Diese Geräte verbinden verschiedenste Vorteile, die den zuvor aufgestellten Anforderungen entsprechen:

- leichtes Gewicht, was ein Mitführen der Geräte bei einem Baustelleneinsatz ermöglicht,
- hochauflösende Kamerafunktion, um Schäden und Anmerkungen vor Ort aufzuzeichnen,
- Bedienungsfreundlichkeit, um die Akzeptanz zu den neuen Geräten und dem System zu gewährleisten,
- geringe Fehleranfälligkeit, da sich die Geräte bereits in der dritten Generation befinden,
- hohe Verfügbarkeit, bei der keine Probleme in der Beschaffung zu erwarten sind,

- riesige Verfügbarkeit von Schutzhüllen, um die Geräte baustellentauglich zu schützen.

Bild 18 zeigt exemplarisch ein Apple iPad mit der Darstellung eines 3D-Brückenmodells.

4.1.16 Formulare

Formulare dienen zur Informationsaufnahme mit mobilen Eingabegeräten (hier: iPads) in das System. Mittels Formularen lassen sich Texteingaben und Fotoaufnahmen in vordefinierten Formaten aufnehmen und strukturiert in ISIS ablegen. Hierbei wird der User durch Markierung von notwendigen Eingaben und Dropdown-Listen durch die Eingabefelder geführt, sodass Fehleingaben vermieden werden. Nachdem das Formular vollständig (d. h. Eintragung aller notwendigen Felder) ausgefüllt wurde, werden die Daten mittels Sendefunktion an das Informationssystem übertragen. Sollte zum Zeitpunkt, zu dem das Formular gesendet werden soll, keine Internetverbindung bestehen, verbleiben die Daten so lange im Zwischenspeicher des mobilen Gerätes, bis die Verbindung wieder hergestellt werden konnte. Anschließend werden die Daten automatisch an das Informationssystem übermittelt.

4.1.17 Formular-Editor

Um die benötigten Formulare zu entwickeln und bestehende Formulare anzupassen, wird ein Formular-Editor verwendet. Dieser muss es ermöglichen, aufbauende Listenmenüs, Pflichtfelder und Fotos in Formulare einbinden zu können. Der Editor definiert die Übergabestruktur der aufgenommenen Daten an das Informationssystem.

4.1.18 Form-App Bauwerksüberwachung

Bei diesem Formular handelt es sich um das Hauptwerkzeug im Systemkonzept von ISIS für „laufende Beobachtungen im Zuge der Bauwerksüberwachung nach DIN 1076“ (beispielhafte Darstellung in Bild 19) und dient zur Aufnahme festgestellter Schäden und den Datentransfer in das Informationssystem.

Durch das Formular wird der Anwender durch die notwendigen Eingaben, wie z. B. die Eingabe des aktuell beobachteten Bauwerks, geführt. Angaben, die hieraus direkt folgen (wie z. B. die zugehörige ASB-Nummer und Stationierung des Brückenbauwerks) werden durch das Formular automa-

Bauteil	Schadenbeschreibung	PSV	PSS
<input type="checkbox"/> Geländer		<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<input type="checkbox"/> Schutzplanke		<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<input type="checkbox"/> Kappe		<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<input type="checkbox"/> Entwässerung		<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Bild 19: iPad-Formular „Bauwerksüberwachung“

tisch eingetragen. Werden durch den Bauwerksprüfer Mängel festgestellt, werden weitere Angaben notwendig. Hierbei muss durch den Ingenieur festgehalten werden, ob es sich um einen dauerhaftigkeits- oder sicherheitsgefährdenden (Verkehrs- oder Standssicherheit) Schaden handelt und an welcher Bauteilgruppe dieser festgestellt wurde. Abhängig von den Eintragungen in das Formular, werden nach Übermittlung die entsprechenden Bauteilgruppen wie folgt im BIS eingefärbt (die Bauteilgruppen im Platzhaltermodells des 2D-BIS oder die Bauteile des 3D-Modells im 3D-BIS):

- Grün: kein Schaden festgestellt,
- Gelb: Schaden ohne Sicherheitsgefährdung,
- Rot: Schaden mit Sicherheitsgefährdung.

Um die verschiedenen Schadensklassen (Standssicherheit, Verkehrssicherheit und Dauerhaftigkeit) darstellen zu können, werden im 3D-Modell verschiedene Ansichten erstellt, die jeweils eine der aufgeführten Schadensklassen widerspiegelt und das Modell gemäß der ausgewählten Klasse einfärbt. Eine vierte Ansicht wird dazu verwendet, um den Gesamtstatus darzustellen. Hierbei wird das Bauteil jeweils in der schlechtesten Klassifizierung der Schadensklassen dargestellt. Beispielsweise:

- Standsicherheit: Gelb,
- Verkehrssicherheit: Grün,
- Dauerhaftigkeit: Rot.

Daraus folgt eine Gesamtbewertung des Bauteils gemäß der schlechtesten Bewertung der Einzel-schadensklassen (Dauerhaftigkeit):

Gesamtbewertung: Rot.

Darüber hinaus werden weitere Angaben wie Datum der Prüfung, Unterschrift des Bauwerksprüfers und Notizen zu den festgestellten Schäden an das System übermittelt.

4.1.19 Form-App PhotoLog

Bei dem zweiten verwendeten Formular handelt es sich um die fotodokumentarische Aufnahme von Schäden (siehe Bild 20).

Der Anwender wird mithilfe von Dropdown-Listen durch eine kurze thematische Zuordnung der Fotos geführt, bei der festgehalten wird, worauf sich die aufgenommene Fotoserie bezieht (Thematik, Bauwerk, Bauteilgruppe). Anschließend ermöglicht es das Formular, bis zu vier Aufnahmen zu den Eintragungen aufzunehmen. Die aufgenommenen Fotos können um handschriftliche Anmerkungen oder Skizzen innerhalb der Aufnahmen und separate Notizen zu den einzelnen Fotos ergänzt werden. Abschließend kann die exakte Position via GPS durch das iPad abgerufen werden und der Bauwerksprüfer kann die durch das Gerät festgestellte Aufnahmeposition über eine Kartenansicht überprüfen. Diese Überprüfung dient dazu, Fehlinformationen durch technische Störungen zu vermeiden und auszuschließen.

Nachdem das Formular durch den Bauwerksprüfer unterzeichnet wurde, werden die Daten an das Informationssystem übermittelt und dort direkt in strukturierter Form abgelegt.

Ein wesentlicher Vorteil bei der Verwendung einer solchen standardisierten Anwendung liegt darin, dass die übertragenen Fotos immer die gleiche Auflösung und Größe haben. Somit ist das erwartete Datenvolumen, der aufgenommenen Bilder leicht kalkulierbar und die Daten können gezielt im Layout von ISIS (bzw. dem BIS) abgebildet werden.

Darüber hinaus wird durch die automatisierte Übertragung und strukturierte Ablage der Daten der Auf-

The screenshot shows the 'A8_PhotoDocumentation' form on an iPad. At the top, it displays 'Drafts', 'A8_PhotoDocumentation', and a signal strength indicator. Below the title bar, there are dropdown menus for 'Vertragl. Vorgabe: Qualitätssicherung' (set to 'BW132') and 'Fahrbahnplatte'. The HOCHTIEF logo is visible in the top right. The main area contains a 2x2 grid of photo thumbnails labeled 'Aufnahme 1' through 'Aufnahme 4'. Each photo has a 'Kommentar:' field below it. At the bottom, there is a 'Signature' field with a handwritten signature, a 'Datum / Zeit:' field (2012-07-20T10:44:22), 'Latitude:' (51.423467), 'Longitude:' (6.998811), and 'Genauigkeit (m):' (100.000000). There are also icons for a satellite and a location pin. A 'User auswählen...' dropdown and a 'Senden' button are at the very bottom.

Bild 20: iPad-Formular „Fotodokumentation“

wand eingespart, die der Bauwerksprüfer bisher hat, die Fotos von der verwendeten Kamera auf einen lokalen Rechner zu übertragen, umzubenennen und manuell einzuordnen.

4.1.20 Workflows

Um nicht nur die strukturierte Ablage der Daten im System, sondern auch einen vordefinierten Prozessablauf zu gewährleisten, werden Workflows in das System integriert. Innerhalb eines solchen Workflows wird festgehalten, in welcher Form und auf welchem Wege die Daten in das System gelangen. So kann beispielsweise definiert werden, dass die Eintragungen des Bauwerksprüfers nach der Übermittlung der Daten zunächst zu einer Kontrollinstanz gesendet werden und erst anschließend in das eigentliche Informationssystem eingespeist werden, nachdem die Kontrollinstanz das Einstellen der Daten genehmigt hat. Hierdurch können Fehlinformationen abgefangen werden.

Darüber hinaus können durch Workflows Arbeitsprozesse mit mehreren Beteiligten abgebildet werden. Wenn beispielsweise für die Vervollständigung eines Formulars weitere Informationen eines zweiten Beteiligten erforderlich werden, so ist es möglich, einen Workflow zu definieren, der ein halbausgefülltes Formular an die notwendige Instanz wei-

terleitet und dort weiter vervollständigt werden muss, bevor der komplettierte Datensatz an das System übermittelt wird.

4.2 RFID-Versuchsbeschreibung

Zum Zwecke eines Modellversuches im Rahmen des Forschungsprojektes „Intelligente Straßenverkehrsinfrastruktur durch 3D-Modelle und RFID-Tags“ – (ISIS) werden in das Bauwerk 90 der BAB A 8 (ASB-Nr.: 7530672) Korrosionsdetektoren und Feuchtigkeitsdetektoren einbetoniert.

4.2.1 Versuchsbauwerk

Beim dem ausgewählten Testbauwerk BW 90 handelt es sich um ein direkt befahrenes, rahmenartiges Unterführungsbauwerk mit einer Stützweite von 9,80 m bei einer Bauwerkslänge von ca. 38 m.

Die Detektoren werden in den Bauwerksteil eingebaut, der im Zuge des 1. Bauabschnittes errichtet wird. Hierbei handelt es sich um den nördlichen Bauwerksteil, auf dem im Endzustand die Richtungsfahrbahn von München nach Ulm verlaufen wird.

Die Bilder 21 und 23 stellen das Bauwerk in verschiedenen Darstellungen wieder. Bild 21 zeigt das in 3D modellierte Brückenbauwerk, Bild 22 zeigt das in SIB-BW vorhandene Foto des früheren Brückenbauwerks und Bild 23 stellt einen Schnitt durch das Bauwerk mit der Ansicht der Südseite dar.

4.2.2 Verwendete Detektoren

Insgesamt werden 10 Korrosionsdetektoren vom Typ 3B mit zwei Messdrähten und 2 Feuchtigkeitsdetektoren vom Typ 1C eingebaut.

Die verwendeten Korrosionsdetektoren haben einen Durchmesser von 91 mm und eine Bauhöhe von 25 mm. Bild 24 zeigt einen am Bewehrungsstahl befestigten Korrosionsdetektor.

In einem Korrosionsdetektor des verwendeten Typs mit zwei Korrosionsdrähten sind drei RFIDs eingebaut. Eine dieser RFID ist der sog. „Master-Tag“, der der Ortung und Identifikation des Detektors 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 Detektors erreicht hat oder nicht.

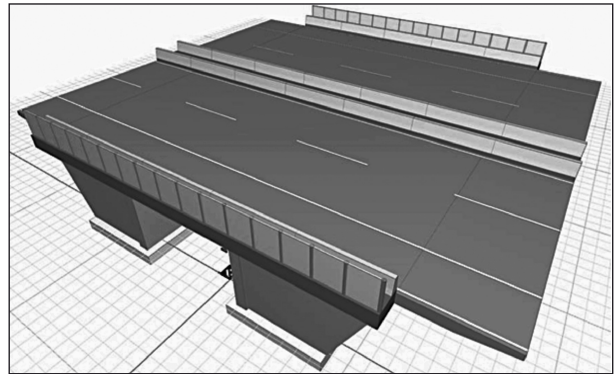


Bild 21: 3D-Modell des Brückenbauwerks BW 90 (A 8)



Bild 22: Foto aus SIB-BW des früheren BW 90

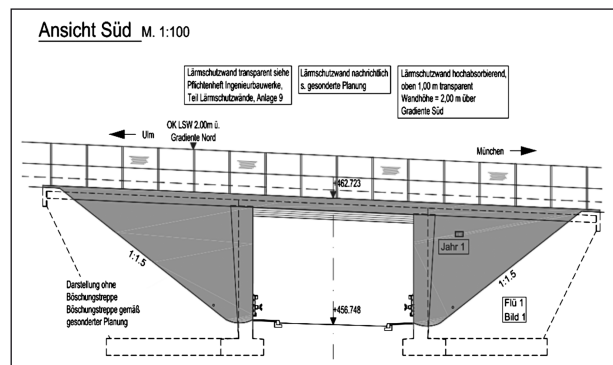


Bild 23: Zeichnung BW 90/Ansicht Süd



Bild 24: Bewehrungsstahl mit Korrosionsdetektor

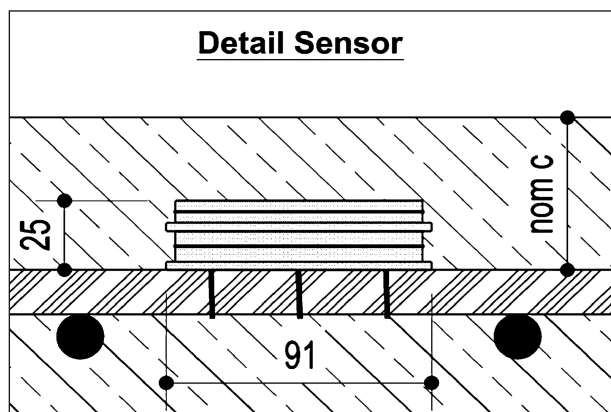


Bild 25: Zeichnung Korrosionsdetektor – Einbaudetail



Bild 26: Bewehrungsstahl mit Feuchtedetektor

Bild 25 zeigt den Ausschnitt einer Detailzeichnung eines Korrosionsdetektors (in der Zeichnung als Sensor bezeichnet).

Die Feuchtedetektoren vom Typ 1C besitzen keine Detektordrähte, sondern zwei Edelstahlbänder, mit deren Hilfe die Zustandsgröße „Bauteil trocken“ oder „Feuchtigkeit vorhanden“ abgefragt werden kann.

Bild 26 zeigt einen am Bewehrungsstahl befestigten Feuchtedetektor.

5 Einbauorte

Die Einbauorte für die Detektoren wurden in Abhängigkeit der Exponiertheit der Bauteile für Chlorideindringung und Bewitterung festgelegt.

In Tabelle 5 sind die in eingebauten Detektoren aufgelistet und in ihrer Einbaulage beschrieben.

Die Detektoren 3B-01 bis 3B-03 liegen in den Bauwerkswänden an Stellen, an denen eine Beaufschla-

Detektor-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
3B-08	Korrosion	Mittelkappe oben Bauwerksachse
3B-09	Korrosion	Randkappe Nord oben
3B-10	Korrosion	Randkappe Nord stirnseitig
1C-01	Feuchtigkeit	Decke oben neben Achse 20 Nähe Tiefpunkt
1C-02	Feuchtigkeit	Decke unten neben Achse 20 Nähe Raumfuge

Tab. 5: Einbauorte der RFID-Detektoren

gung durch Chlorid-belasteten Sprühnebel zu erwarten ist.

Die beiden Korrosionsdetektoren 3B-04 und 3B-05 wurden an der Deckenunterseite an Orten eingebaut, an denen im Falle der Beschädigung der Abdichtung bzw. der Raumfugenabdichtung Chlorid-beaufschlagtes Wasser zu Bewehrungskorrosion führen kann.

Die beiden Korrosionsdetektoren 3B-06 und 3B-07 wurden an der Deckenoberseite an Orten eingebaut, an denen im Falle der Beschädigung der Oberflächenabdichtung Chlorid-beaufschlagtes Wasser zu Bewehrungskorrosion führen kann.

Die Korrosionsdetektoren 3B-08 bis 3B-10 wurden in die Kappen eingebaut und sollen bei diesem besonders exponierten Bauteil Informationen über Korrosionsschäden durch Taumittelbeaufschlagung liefern.

Die Feuchtigkeitsdetektoren 1C01 und 1C02 wurden an den Tiefpunkten bei Achse 20 eingebaut

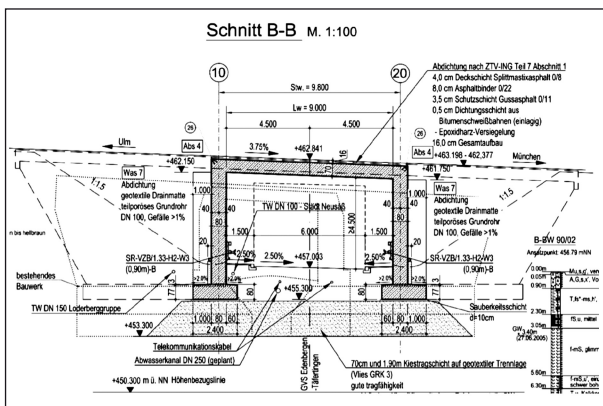


Bild 27: Zeichnung/BW 90 Bauwerksquerschnitt



Bild 28: Abstimmung des RFID-Einbaus bei BW 90

und können Informationen über eine unterläufige Bauwerksabdichtung in den betreffenden Bereichen liefern.

Die planmäßige Einbaulage der Detektoren wurde in die Schalpläne des nördlichen Teilbauwerkes (BA1) von BW 90 eingetragen.

6 Ergebnisse

Während der Ausarbeitung des Gesamtkonzepts für das Informationssystem ISIS hat sich herausgestellt, dass es verschiedene Ansatzmöglichkeiten gibt, dieses Konzept in die Praxis umzusetzen. Die Entwicklung des Demonstrators für das Konzept hat bewiesen, dass es sich nicht nur um ein rein theoretisches Konzept, sondern ein in der Praxis umsetzbares Projekt handelt. Hierbei wurde darauf geachtet, dass das Systemkonzept nicht nur in sich geschlossen funktioniert, sondern um weitere Komponenten wie beispielsweise Auswertungsmodulare für die im System integrierten Daten und Informationen oder neue Funktionsbereiche (z. B. für den Straßenbetrieb) ergänzt werden kann.

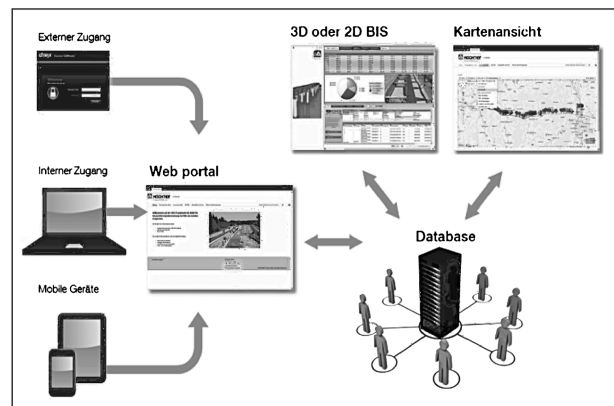


Bild 29: Systemskizze des Gesamtkonzepts

Vorteile des Gesamtkonzepts hinsichtlich Aufwandseinsparungen stellen sich insbesondere in der Kombination von mobilen Endgeräten in Verbindung mit einem umfassenden Informationssystem heraus. Darüber hinaus liefert die Anwendung von Formularen auf den mobilen Endgeräten durch vorgegebene Wertelisten ein System, welches Fehlerquellen weitestgehend ausschließt.

Der Einsatz von 3D-Modellen führt dazu, dass der enorme Umfang von Daten und Informationen zum einen leicht abrufbar zur Verfügung gestellt wird und zum anderen sehr viel schneller inhaltlich erfasst werden kann. Dies führt schlussendlich dazu, dass der Vorbereitungsaufwand auf eine Bauwerksprüfung verkürzt wird und wesentliche und insbesondere kritische Informationen (wie beispielsweise Schäden) über das Bauwerk dem Bauwerksprüfer anschaulicher vermittelt werden können. 3D-Modelle vereinfachen den Informationstransfer von vielen und/oder komplexen Daten gegenüber herkömmlichen Informationsquellen wie 2D-Zeichnungen und tabellarischen Datenblättern erheblich.

Auch im Bereich der RFID-Technologie sind enorme Vorteile für den Bereich des Bauwesens zu erkennen. Allerdings ist die Verwendung von RFID im Bauwesen immer den physikalischen Einschränkungen wie beispielsweise Empfangsreichweite der Lesegeräte, Feldstärken oder auch Beeinflussungen durch angrenzende Oberflächen zu berücksichtigen. Aufgrund der hohen Entwicklungsgeschwindigkeit und aktueller Forschungen auf diesem Gebiet ist allerdings zu erwarten, dass diese Thematik zukünftig weit mehr Potenzial bieten wird, als es zum derzeitigen Zeitpunkt möglich ist (siehe Fazit in Anhang D).

6.1 Anmerkungen zum Systemkonzept

Da das Systemkonzept von ISIS vorsieht, auf die Grunddaten von SIB-BW zuzugreifen, ändert sich an den Pflichten zur Bereitstellung der Bauwerksakte beim derzeitigen Systemkonzept nichts. Bei Errichtung eines Neubauwerks ist es die Pflicht des Bauunternehmens dem Konzessionsnehmer bzw. dem Land die notwendigen Bauwerksdaten in Form einer Bauwerksakte zu übergeben. Die enthaltenen Informationen werden durch das Land in den Datenbestand von SIB-BW eingepflegt.

Neben den Daten die bisher in dieser Informationsbank abgelegt wurden, ermöglicht es das neue Systemkonzept aber nun, auch weiterführende Daten einzubinden, die während der Planungsphase der Bauwerke erstellt werden. Somit entsteht kein Mehraufwand für die Bereitstellung von neuen Informationen, sondern es werden nur mehr Informationen und Daten bereitgestellt, die bisher nur separat und vom Informationssystem getrennt zur Verfügung standen.

Einzige Elemente, die im Systemkonzept von ISIS verwendet werden und bisher noch nicht standardmäßig produziert werden, sind die 3D-Modelle und die für die mobilen Geräte verwendeten Formulare.

Inhalt Bauwerksakte (nach DIN 1076 Anhang A)	
1	Inhaltsverzeichnis
2	Alle mit Genehmigungsvermerk versehene Zeichnungen samt Verzeichnis
3	Alle mit Prüfvermerk versehene Standsicherheitsnachweise samt Inhaltsverzeichnis
4	Korrosionsschutzpläne
5	Stahllisten einschließlich Mengenberechnung für Stahlbeton- und Spannbetonbauwerke oder -bauteile
6	Bei Spannbetonbauwerken mit nachträglichem Verbund Vorspannprotokolle und Auspressprotokolle
7	Stücklisten einschließlich Mengen- und Beschichtungsflächenberechnung für stählerne Bauwerke oder Bauteile
8	Untersuchungsergebnisse, Gutachten (Baugrund, Baustoffe)
9	Vermessungsergebnisse (Pfeilergebnisse, baubegleitende Messungen und Nullmessungen nach Fertigstellung usw.)
10	Allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen, Eignungsprüfungen
11	Zustimmungen im Einzelfall
12	Abnahmezeugnisse, Gütenachweise
13	Hersteller
14	Bautagebuch
15	Angaben über Baugeschichte und Bauablauf
16	Unterlagen über spätere Änderungen und Umbauten
17	Bestandsübersichtszeichnungen
18	Alle Bestandsunterlagen, die entsprechend dem Prüf- und Genehmigungsverfahren und der Bauausführung berichtigt sind
19	Dokumentationsblatt Großbrücken
20	Zusammenstellung der Kostenabrechnung des Bauwerks
21	Wesentliche Verträge, insbesondere Bau-, Gestattungsverträge und Vereinbarungen
22	Behördliche Genehmigungen und Urkunden
23	Sonstiges

Bild 30: Inhalt der Bauwerksakte nach DIN 1076

Durch die Kombination von 2D-Platzhaltermodellen und 3D-Modellen der Brückenbauwerke ist es jedoch möglich, einen fließenden Übergang herzustellen. Prinzipiell kann das System auf Grund der Verwendung der 2D-Platzhalter sofort eingesetzt werden. Entwicklungen im Bereich des Bauwesens zeigen deutlich, dass der Trend zur Erstellung von 3D-Modellen geht, die während der Planungsphase von Architekten oder den Bauunternehmen erstellt wird und schon bei der Planung für mannigfaltige Einsatzgebiete (z. B. Mengenkalkulation, siehe auch Anhang B: Modellbasiertes Arbeiten und 3D-Modelle) verwendet werden. Diese Modelle können für ISIS verwendet werden und im Laufe der Zeit die allgemein gültigen 2D-Platzhaltermodelle ersetzen.

Um eine dezentrale Datenhaltung zu vermeiden, wurde für die Umsetzung des Systemkonzepts der Lösungsansatz einer Online-Plattform, insbesondere die eines Terminalservers gewählt. Bei dem Terminalserver handelt es sich um einen zentralen Rechner, der über das Internet angesteuert werden kann und auf dem die benötigten Anwendungen und Daten abgelegt werden (bzw. an direkt verbundenen Datei- oder Datenbankservern) – auf den Rechnern, die den Terminalserver ansteuern möchten, muss nur ein sogenannter Client installiert werden, d. h. eine Anwendung, die mit dem Terminalserver kommunizieren kann.

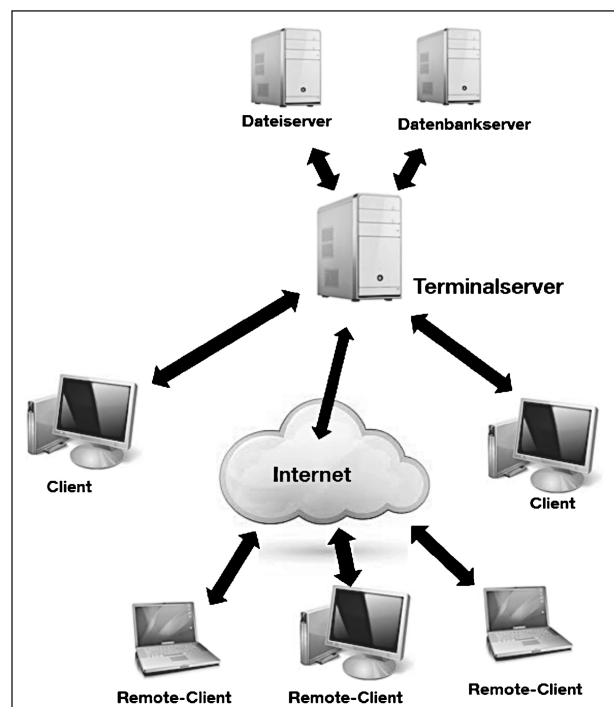


Bild 31: Systemskizze eines Terminalservers

Der Terminalserver bietet hinsichtlich der Umsetzung des Systemkonzepts mehrere Vorteile:

- Erstens wird der Wartungsaufwand für die installierte Software reduziert, da die verwendeten Anwendungen nur auf einem einzigen Rechner gewartet und gepflegt werden müssen,
- Zweitens werden die Daten nur an einer zentralen Stelle abgelegt (nämlich dem Terminalserver), sodass mehrfache Datenhaltung vermieden wird und
- Drittens handelt es sich um eine sehr performante Lösung, da über das Internet nur die grafische Darstellung und Mausbewegungen übertragen werden. Die eigentlichen Anwendungen werden auf dem Terminalserver ausgeführt. Dies ermöglicht auch speicherintensivere Anwendungen an Orten über das Internet zu betreiben, an denen beispielsweise eine schlechte Internetkonnektivität besteht.

Eine Weiterführung des Themas Terminalserver stellt Sharepoint dar. Der Terminalserver wurde konzipiert, um Anwendungen einer Organisation zur Verfügung zu stellen. Sharepoint geht an dieser Stelle einen Schritt weiter und stellt Anwendungen und Daten via Internetseiten zur Verfügung, ohne dass ein Client installiert werden muss. Zwar bietet die Sharepointlösung wesentlich mehr und flexiblere Möglichkeiten, was aber gleichzeitig auch bedeutet, dass der Aufwand zur Aufsetzung eines solchen Systems wesentlich höher liegt.

Für das Forschungsprojekt wurde die Umsetzung auf einem Terminalserver durchgeführt, auf dem die Exportdaten aus SIB-BW (*.CAB-Datei) und die weiterführenden Daten (beispielsweise 3D-Modelle) abgelegt wurden und durch sog. Data-Mining-Tools (2D-/3D-BIS) angesteuert werden. Data-Mining-Tools greifen auf mehrere Datensätze zu und filtern die enthaltenen Daten via Elementbeziehungen (siehe Mappingtabellen im Kapitel 4.1.5) auf geschickte Weise, um dem Anwender die angeforderten Informationen zur Verfügung zu stellen.

Der Prozess der Bauwerksprüfung mittels ISIS sieht vor, dass zunächst ein Datenexport für das zu prüfende Bauwerk aus SIB-BW erstellt wird. Dieser Export wird anschließend in ISIS importiert und mit den zusätzlichen Daten verknüpft. Da es sich bei den Exportdaten aus SIB-BW um immer gleich strukturierte Daten handelt, kann an dieser Stelle der Datenzugriff auf die *.CAB Daten automatisiert

werden, d. h. die exportierten Daten werden auf dem Terminalserver immer an der gleichen Stelle abgelegt und das BIS mittels einer Update-Funktion aktualisiert. Die SIB-BW Informationen werden auf diese Weise mit den zusätzlichen Daten für das jeweilige Bauwerk verknüpft und der Bauwerksprüfer kann auf den vollen Informationsumfang zugreifen.

Während der Bauwerksprüfung werden die durch den Bauwerksprüfer aufgenommenen Daten und Informationen zunächst in ISIS geschrieben und müssen anschließend in den Datensatz von SIB-BW übertragen werden. Derzeit sieht das Systemkonzept von ISIS nur vor, die gesammelten Informationen anschaulich widerzugeben. Für eine praxisorientierte Lösung sollte an dieser Stelle jedoch eine saubere Import-/Export-Schnittstelle zwischen ISIS und SIB-BW implementiert werden, bei der das OKSTRA-Format Berücksichtigung finden muss (siehe Anhang B, Kapitel B).

Der derzeitige Prozessablauf wird somit im Wesentlichen nicht verändert, jedoch um den Export/Import der SIB-BW-Daten ergänzt.

6.2 Versuchsauswertung

Die erste Auslesung der Korrosions- bzw. Feuchtigkeitsdetektoren, die in das Bauwerk 90 der BAB A 8 eingebaut wurden, erfolgte im September und Oktober 2012. Alle Detektoren konnten mit dem RFID-Lesegerät ARE H5 lokalisiert werden und die Kalibrierungsdaten der Master-RFIDs und der Detektor RFIDs wurden erfasst.

Bei der 1. Messung wurde für jeden der in den Detektoren eingebauten RFID-Tags die Identifikationsnummer sowie die für die Identifizierung erforderliche und am Lesegerät eingestellte Induktionsstromstärke ausgelesen und erfasst.

Die erhobenen Messdaten müssen in das ISIS-System importiert werden, um so im Zuge weiterer Messungen in der Zukunft eine historisierte Visualisierung der Messdaten erzeugen zu können.

Die Bilder 33 und 34 zeigen beispielhaft die Visualisierung der Messdaten für den Korrosionsdetektor Typ 3b und den Feuchtedetektor 1C im Zuge fortschreitender Messungen.

Hierfür ist eine eindeutige Benennung der eingebauten Detektoren erforderlich. Der im ISIS-System verwaltete Detektorname sollte sich aus

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

Sensor-nummer	Sensor-typ	Datum Einbau	Einbaueort Brücke AB AB BW 90	Messung-Nr.: / Messung	Messung-Datum / Datum	Tag / Tag	Messwert-Erfassung			Erfassung-Schichtposition	Messwert-Platzwert
							Messwert-Master-RFID	Messwert-Sensor-RFID oben	Messwert-Sensor-RFID unten		
Seitenwand											
7530672.1 3B-01 C	Korrosion 3B	28.08.2012	Flügelwand NW Luftseite	1	17.09.2012		0	01076E2FCC	5	1	
							1	0106A6994B	3	1	
							2	0106A690D5	3	1	
7530672.1 3B-02 C	Korrosion 3B	28.08.2012	Flügelwand NO Luftseite	1	17.09.2012		0	01076E395D	5	1	
							1	0106A693BC	3	1	
							2	0106A69292	3	1	
7530672.1 3B-03 C	Korrosion 3B	28.08.2012	Lingswand NO Luftseite	1	17.09.2012		0	0105CBAB05	5	1	
							1	0106A6928B	3	1	
							2	0106A6961E	3	1	
7530672.1 3B-10 C	Korrosion 3B	noch offen	Außenkappe Nord, Stirnfläche Gesims	1	noch offen		0	01076E3D7C	5	X	X
							1	0106A68EE6	X	X	X
							2	0106A68FE9	X	X	X
Oberrampe											
7530672.1 3B-06 C	Korrosion 3B	noch offen	Decke oben, neben Achse 20, Nahe Teilpunkt, neben Trophulle	1	noch offen		0	0109449115D	X	X	X
							1	010844903B	X	X	X
							2	0106A6930C	24	1	
7530672.1 3B-07 C	Korrosion 3B	28.08.2012	Decke oben, neben Achse 20, Nahe Mittelkappe	1	17.09.2012		0	01084494D2	15	1	
							1	0106A6930C	24	1	
							2	0106A6930C	24	1	
7530672.1 3B-08 C	Korrosion 3B	noch offen	Mittelkappe Nord, oben Bauwerkskappe	1	noch offen		0	01076E6746	X	X	X
							1	0106296416	X	X	X
							2	0106A6962E	X	X	X
7530672.1 3B-09 C	Korrosion 3B	28.08.2012	Randkappe Nord, oben	1	17.09.2012		0	01076E2F8C	X	0	
							1	0106296487	X	0	
							2	0106296521	X	0	
7530672.1 1C-01 H	Feuchte 1C	28.08.2012	Decke oben, neben Achse 20, Nahe Teilpunkt, neben Trophulle	1	17.09.2012		0	0106A6932C	21	2	
							1	0106A6932C	21	2	
							2	0106A6932C	21	2	
Unterrampe											
7530672.1 3B-04 C	Korrosion 3B	28.08.2012	Decke unten, neben Achse 20, Nahe Raumfluge	1	17.09.2012		0	01076E3042	5	1	
							1	0106A69597	2	1	
							2	0106A68E1B	2	1	
7530672.1 3B-05 C	Korrosion 3B	28.08.2012	Decke unten, Bauwerkskappe, Nahe Raumfluge	1	17.09.2012		0	01076E434F	4	1	
							1	01076E434F	1	1	
							2	01076E434F	3	1	
7530672.1 1C-02 H	Feuchte 1C	28.08.2012	Decke unten, neben Achse 20 Nahe Raumfluge	1	17.09.2012		0	01076E3980	1	1	
							1	0106A696CD	2	2	
							2	0106A696CD	2	2	

Bild 32: Messdaten-Tabelle von BW 90 für die 1. Messung

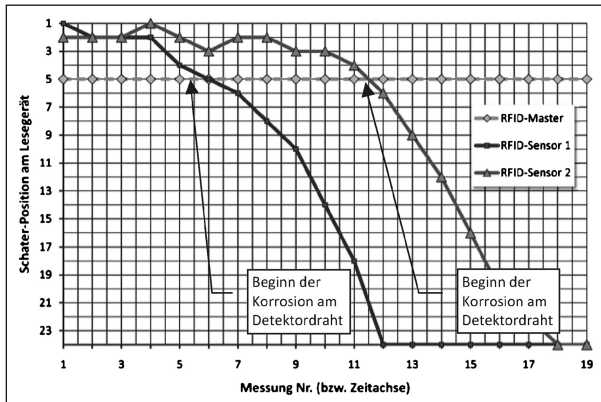


Bild 33: Beispiel für die historisierte Messdaten-Visualisierung für einen Korrosionsdetektor vom Typ 3B

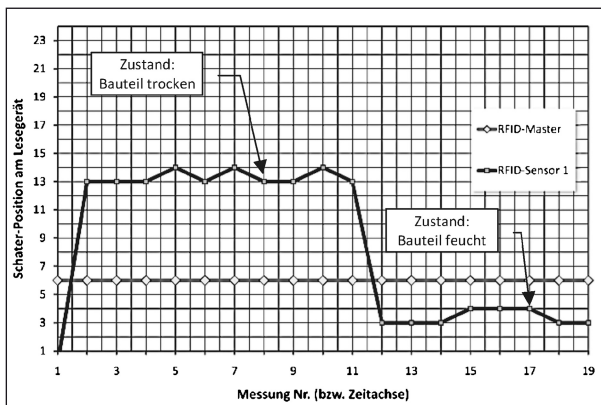


Bild 34: Beispiel für die historisierte Messdaten-Visualisierung für einen Feuchtedetektor vom Typ 1C

der ASB-Nummer des Bauwerks, Kennbuchstaben für den Detektortyp und einer laufenden Nummer zusammensetzen. Tabelle 2 im Anhang F zu diesem Forschungsbericht kann als Entwurf für die Detektor- bzw. Messdaten-Tabelle in einem Datenbankmodell des System ISIS verwendet werden.

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

Für den Bauwerksprüfer stellt die Aufgabe der Erfassung von Messergebnissen von Korrosions- und Feuchtedektoren eine Tätigkeit dar, die über das bisherige Maß der Prüfungsaufgaben hinausgeht. Für die zuverlässige Messwert-Ermittlung ist eine Einweisung in die Bedienung des Lesegerätes sowie Geschick dem Umgang mit der für diese Technik benötigten Hardware erforderlich.

Weitere Informationen sowie Erläuterungen zu Tabelle 2 können dem Anhang F zu diesem Bericht entnommen werden.

Zusätzlich sind für die Auslesung der Detektordaten von hoch liegenden Detektoren im Rahmen der Brückenprüfung Arbeitsbühnen erforderlich.



Bild 35: Messung am Detektor 7530671.1-3B-01-C



Bild 36: Abgleich der Messergebnisse nach erfolgter Messung am Detektor 7530671.1-1C-01-H



Bild 37: Messung am Detektor 7530671.1-3B-07-C mit dem Asphaltdecken-Simulationskörper



Bild 38: Datenerfassung mit dem mobilen Baustellen-PC



Bild 39: Messung an den Detektoren 7530671.1-3B-04-C und 7530671.1-3C-02-H von einer Arbeitsbühne

6.3 Ausblick

Wie bereits früher ausgeführt lässt sich das Systemkonzept von ISIS bereits heute in die Praxis überführen. Durch enorme Fortschritte in der Entwicklung von mobilen Technologien, der Weiterentwicklung im RFID-Bereich und der offenen Konzeption von ISIS ist deutlich erkennbar, dass eine Weiterentwicklung des Systems sinnvoll ist.

Im Bereich der mobilen Technologien ist ein starker Vortrieb von 3D-Viewern erkennbar. So werden neue Viewer entwickelt und bereits vorhandene Viewer stetig verbessert. Es ist absehbar, dass die im Konzept verwendete statische Ansicht von Brückenbauwerken schon in absehbarer Zeit durch 3D-Modelle auf den mobilen Endgeräten ersetzt werden kann. Dies ermöglicht es, nicht nur Platzhaltermodelle für die Positionierung von Pins und somit für die Lokalisierung von Schäden zu verwenden, sondern diese direkt am 3D-Modell einzutragen und in das System einzuspeisen. Hierdurch werden weitere Aufwandsersparungen ermöglicht, die den Prozess der Bauwerksprüfung vereinfachen und effektiver gestalten.

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 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 EPC global 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.

Während das derzeitige Konzept lediglich die Bauwerksprüfung berücksichtigt, ist es naheliegend, die Vorteile, die durch das Systemkonzept von ISIS entstehen, auf weitere Infrastrukturaufgabengebiete auszudehnen. So wurde bei der Betrachtung der Tools und Prozesse der BAST (Anhang A) festgestellt, dass es Parallelen bei den Anwendungen zur Verwaltung und Wartung/Erhaltung von Ingenieurbauwerken und Straßen bestehen (SIB-BW zu BISSTRA und BMS zu PMS). Eine Verbindung zu BISSTRA-Daten für weiterführende Analysemöglichkeiten auch im Straßenwesen ist denkbar und empfohlen.

Auch hier wird erwartet, dass mobile Datenerfassung (z. B. während Kontrollfahrten und während Winter- oder Gründienstesätzen) zu einem gesteigerten Informationsgehalt und somit zu besseren Analysemitteln führen (siehe auch Anhang E). Letztendlich wird hierdurch auch hier eine Effizienzsteigerung im Bereich der Erhaltungsplanung erwartet.

Schriftenreihe

Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

Unterreihe „Brücken- und Ingenieurbau“

2011

- B 80: Lautsprecheranlagen und akustische Signalisierung in Straßentunneln
Mayer, Reimann, Löwer, Brettschneider, Los € 16,00
- B 81: Quantifizierung der Lebensdauer von Betonbrücken mit den Methoden der Systemanalyse
Müller, Vogel, Neumann € 14,50
- B 82: Verkehrslastmodelle für die Nachrechnung von Straßenbrücken im Bestand
Freundt, Böning € 16,00
- B 83: Konzeption zur Nachrechnung bestehender Straßenbrücken
Maurer, Kolodziejczyk, Zilch, Dunkelberg € 16,00
- B 84: Prüfung des Frost-Tausalz-Widerstandes von Beton mit dem modifizierten CDF-Verfahren (XF2)
Gehlen, Lowke, Milachowski € 15,00
- B 85: Entwicklung von Verfahren einer zuverlässigkeitsbasierten Bauwerksprüfung
Zilch, Straub, Dier, Fischer € 19,50
- B 86: Untersuchungen an Bauwerken aus hochfesten Beton
Nguyen, Freitag € 13,50

2012

- B 87: Vermeidung von Glättebildung auf Brücken durch die Nutzung von Geothermie
Feldmann, Döring, Hellberg, Kuhnhenne, Pak, Mangerig, Beucher, Hess, Steinauer, Kemper, Scharnigg € 17,00
- B 88: Anpralllasten an Schutzeinrichtungen auf Brücken – Anpassung der DIN-Fachberichte „Stahlbrücken“ und „Verbundbrücken“ an endgültige Eurocodes und nationale Anhänge einschließlich Vergleichsrechnungen
Kuhlmann, Zizza, Günther € 15,50
- B 89: Nachrechnung von Betonbrücken zur Bewertung der Tragfähigkeit bestehender Bauwerke
Maurer, Heeke, Kiziltan, Kolodziejczyk, Zilch, Dunkelberg, Fitik € 19,50
- B 90: Fugenbewegung an der Ruhrtalbrücke Mintard
Eilers, Quaas, Staack € 14,00

2013

- B 91: Priorisierung und Nachrechnung von Brücken im Bereich der Bundesfernstraßen – Einfluss der Einwirkungen aus Verkehr unter besonderer Berücksichtigung von Restnutzungsdauer und Verkehrsentwicklung
Freundt, Böning € 15,00
- B 92: Kriterien für die Anwendung von unbewehrten Innenschalen für Straßentunnel
Kaundinya € 14,00

B 93: Querkrafttragfähigkeit von Fahrbahnplatten – Anpassung des DIN-Fachberichtes „Betonbrücken“ an die endgültige Eurocodes und nationale Anhänge einschließlich Vergleichsabrechnungen
Hegger, Reißer € 17,50

B 94: Baulicher Brandschutz für Tunnel in offener Bauweise – Rechnerischer Nachweis
Peter, Knief, Schreyer, Piazzola
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 95: Erfahrungen mit selbstverdichtendem und hochfestem Beton im Brücken- und Ingenieurbau an Bundesfernstraßen
Tauscher € 17,00

B 96: Geothermischen Anlagen bei Grund- und Tunnelbauwerken
Adam € 17,00

B 97: Einfluss der veränderten Verkehrsführung bei Ertüchtigungsmaßnahmen auf die Bauwerksbeanspruchungen
Freundt, Böning € 15,00

2014

B 98: Brückenseile – Gegenüberstellung von vollverschlossenen Seilen und Litzenbündelseilen
Friedrich
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 99: Intelligente Brücke – Zuverlässigkeitsbasierte Bewertung von Brückenbauwerken unter Berücksichtigung von Inspektions- und Überwachungsergebnissen
Fischer, Schneider, Thöns, Rücker, Straub
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 100: Roadtraffic Management System (RTMS)
Freundt, Vogt, Böning, Pierson, Ehrle € 15,00

B 101: Adaptive Spannbetonstruktur mit lernfähigem Fuzzy-Regelungssystem
Schnellenbach-Held, Fakhouri, Steiner, Kühn € 18,50

B 102: Adaptive ‚Tube-in-Tube‘-Brücken
Empelmann, Busse, Hamm, Zedler, Girmscheid € 18,00

B 103: Umsetzung des Eurocode 7 bei der Bemessung von Grund- und Tunnelbauwerken
Briebrecher, Städing € 14,00

B 104: Intelligente Brücke – Konzeption eines modular aufgebauten Brückenmodells und Systemanalyse
Borrmann, Fischer, Dori, Wild
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 105: Intelligente Brücke – Machbarkeitsstudie für ein System zur Informationsbereitstellung und ganzheitlichen Bewertung in Echtzeit für Brückenbauwerke
Schnellenbach-Held, Karczewski, Kühn
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 106: Einsatz von Monitoringsystemen zur Bewertung des Schädigungszustands von Brückenbauwerken
Freundt, Vogt, Böning, Michael, Könke, Beinersdorf € 17,00

B 107: Materialeigenschaften von Kunststoffdichtungsbahnen bestehender Straßentunnel
Robertson, Bronstein, Brummermann € 16,00

B 108: Fahrzeug-Rückhaltesysteme auf Brücken
Neumann, Rauert € 18,50

B 109: **Querkrafttragfähigkeit bestehender Spannbetonbrücken**
Hegger, Herbrand € 17,00

B 110: **Intelligente Brücke – Schädigungsrelevante Einwirkungen und Schädigungspotenziale von Brückenbauwerken aus Beton**
Schnellenbach-Held, Peeters, Miedzinski

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 111: **Erarbeitung von Modellen zur Bestimmung der Schadensumfangsentwicklung an Brücken**
Müller € 15,00

2015

B 112: **Nachhaltigkeitsberechnung von feuerverzinkten Stahlbrücken**
Kuhlmann, Maier, Ummenhofer, Zinke, Fischer, Schneider € 14,00

B 113: **Versagen eines Einzelelementes bei Stützkonstruktionen aus Gabionen**

Placzek, Pohl

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 114: **Auswirkungen von Lang-Lkw auf die sicherheitstechnische Ausstattung und den Brandschutz von Straßentunneln**
Mayer, Brennerberger, Großmann

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 115: **Auswirkungen von Lang-Lkw auf die sicherheitstechnische Ausstattung und den Brandschutz von Straßentunneln**
Mayer, Brennerberger, Großmann

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 116: **Überwachungskonzepte im Rahmen der tragfähigkeitsrelevanten Verstärkung von Brückenbauwerken aus Beton**
Schnellenbach-Held, Peeters, Brylka, Fickler, Schmidt

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 117: **Intelligente Bauwerke – Prototyp zur Ermittlung der Schadens- und Zustandsentwicklung für Elemente des Brückenmodells**
Thöns, Borrmann, Straub, Schneider, Fischer, Bügler

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 118: **Überwachungskonzepte für Bestandsbauwerke aus Beton als Kompensationsmaßnahme zur Sicherstellung von Standicherheit und Gebrauchstauglichkeit**

Siegert, Holst, Empelmann, Budelmann

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 119: **Untersuchungen zum Brandüberschlag in Straßentunneln**

Schmidt, Simon, Guder, Juknat,

Hegemann, Dehn € 16,00

B 120: **Untersuchungen zur Querkrafttragfähigkeit an einem vorgespannten Zweifeldträger**

Maurer, Gleich, Heeke, Zilch, Dunkelberg

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 121: **Zerstörungsfreie Detailuntersuchungen von vorgespannten Brückenplatten unter Verkehr bei der objektbezogenen Schadensanalyse**

Diersch, Taffe, Wöstmann, Kurz, Moryson

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 122: **Gussasphalt mit integrierten Rohrregistern zur Temperierung von Brücken**

Eilers, Friedrich, Quaas, Rogalski, Staeck

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

2016

B 123: **Nachrechnung bestehender Stahl- und Verbundbrücken – Restnutzung**

Geißler, Krohn € 15,50

B 124: **Nachrechnung von Betonbrücken – Systematische Datenauswertung nachgerechneter Bauwerke**

Fischer, Lechner, Wild, Müller, Kessner

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 125: **Entwicklung einheitlicher Bewertungskriterien für Infrastrukturbauwerke im Hinblick auf Nachhaltigkeit**

Mielecke, Kistner, Graubner, Knauf, Fischer, Schmidt-Thrö

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 126: **Konzeptionelle Ansätze zur Nachhaltigkeitsbewertung im Lebenszyklus von Elementen der Straßeninfrastruktur**

Mielecke, Graubner, Roth

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 127: **Verstärkung von Stahlbrücken mit Kategorie-2-Schäden**

Kuhlmann, Hubmann € 21,50

B 128: **Verstärkung von Stahlbrücken mit Kategorie-3-Schäden**

Ungermann, Brune, Giese € 21,00

B 129: **Weiterentwicklung von Verfahren zur Bewertung der Nachhaltigkeit von Verkehrsinfrastrukturen**

Schmellekamp

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 130: **Intelligente Straßenverkehrsinfrastruktur durch 3D-Modelle und RFID-Tags**

Tulke, Schäfer, Brakowski, Braun

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

Fordern Sie auch unser kostenloses Gesamtverzeichnis aller lieferbaren Titel an! Dieses sowie alle Titel der Schriftenreihe können Sie unter der folgenden Adresse bestellen:

Fachverlag NW in der Carl Schünemann Verlag GmbH

Zweite Schlachtpforte 7 · 28195 Bremen

Tel. +(0)421/3 69 03-53 · Fax +(0)421/3 69 03-63

Alternativ können Sie alle lieferbaren Titel auch auf unserer Website finden und bestellen.

www.schuenemann-verlag.de