

17th International Conference on the Applications of Computer
Science and Mathematics in Architecture and Civil Engineering
K. Gürlebeck and C. Könke (eds.)
Weimar, Germany, 12–14 July 2006

MOBILE FACILITY MANAGEMENT ZUR INSPEKTION UND INSTANDHALTUNG VON INGENIEURBAUWERKEN

Dr.-Ing. Thomas Klauer

CIP GmbH Hannover, Büro Darmstadt – <http://www.cip.de>
Robert-Bosch-Strasse 7, 64293 Darmstadt
thomas@klauer.info

Keywords: Facility Management, Ingenieurbau, Mobile Computing, Brückeninspektion, Datenerfassung, DIN 1076.

Abstract. *In diesem Beitrag wird eine mobile Software-Komponente zur Vor-Ort-Unterstützung von Bauwerksprüfungen gemäß DIN 1076 „Ingenieurbauwerke im Zuge von Strassen und Wegen, Überwachung und Prüfung“ vorgestellt, welche sich im praktischen Einsatz bei der Hochbahn AG Hamburg befindet. Mit Hilfe dieses Werkzeugs kann die Aktivität am Bauwerk in den gesamten softwaregestützten Geschäftsprozess der Bauwerksinstandhaltung integriert und somit die Bearbeitungszeit einer Bauwerksprüfung von der Vorbereitung bis zur Prüfbericht-Erstellung reduziert werden. Die Technologie des Mobile Computing wird unter Berücksichtigung spezieller fachlicher Randbedingungen, wie z.B. dem Einsatzort unter freiem Himmel, erläutert und es werden Methoden zur effizienten Datenerfassung mit Stift und Sprache vorgestellt und bewertet. Ferner wird die Einschränkung der Hardware durch die geringere Größe der Endgeräte, die sich durch die Bedingung der Mobilität ergibt, untersucht.*

1 EINLEITUNG

Die Instandhaltung von Ingenieurbauwerken, wie z.B. Brücken oder Tunnel, stellt im Ingenieurbau einen immer größer und wichtiger werdenden Bereich dar. Das zunehmende Alter der Bauwerke, aber auch die steigende Belastung durch Verkehrszunahmen, Zulassung höherer Achslasten und Umwelteinflüsse erfordern eine Fülle von Baumaßnahmen mit neuen, veränderten Randbedingungen. Die Bauwerksinstandhaltung erfolgt grundsätzlich in zwei Arbeitsbereichen, der Bauwerksprüfung mit Feststellung und Bewertung des Ist-Zustands sowie der Unterhaltung mit Bewahrung und Wiederherstellung des Soll-Zustands. Grundlage der Bauwerksprüfung ist hierbei die DIN 1076 („Ingenieurbauwerke im Zuge von Strassen und Wegen, Überwachung und Prüfung“), welche unter anderem vorschreibt, dass in vorgeschriebenen Abständen eine Überwachung oder Prüfung der betroffenen Bauwerke stattfindet und hierzu ein Bauwerksverzeichnis, die Bauwerksakte und das Bauwerksbuch zur Verfügung stehen sollen ([1]).

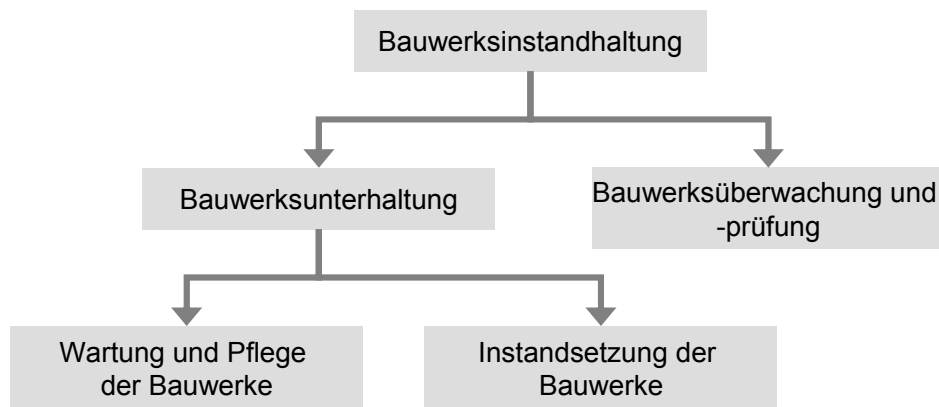


Abbildung 1: Bauwerksinstandhaltung nach DIN 1076

Die in der erwähnten Norm vorgeschriebenen Überwachungen bzw. Prüfungen dienen maßgeblich der Instandhaltung der betrachteten Bauwerke. Die DIN 31051 („Grundlagen der Instandhaltung“) definiert Instandhaltung durch „alle Maßnahmen zur Bewahrung und Wiederherstellung des Soll-Zustandes sowie zur Feststellung und Beurteilung des Ist-Zustandes von technischen Mitteln eines Systems“. Bezogen auf die Ingenieurbauwerke ist, wie in Abbildung 1 dargestellt, neben genannter Überwachung und Prüfung auch die Unterhaltung der Bauwerke ein wichtiger Bestandteil der Instandhaltung. Während die Überwachung einmal pro Jahr im Rahmen einer Besichtigung durchgeführt wird, finden die Prüfungen alle 3 (einfache Prüfung) bzw. alle 6 Jahre (Hauptprüfung) statt.

Ergänzend zur DIN 1076 sind die Bauteilarten, die möglichen, auftretenden Schäden und die Bewertung der Bauwerke in der Norm in Form von Katalogen nach der RI-EBW-PRÜF, der „Richtlinie zur einheitlichen Erfassung, Bewertung, Aufzeichnung und Auswertung von Ergebnissen der Bauwerksprüfungen nach DIN 1076“ [2] klassifiziert. Abbildung 2 zeigt einen Ausschnitt aus der Richtlinie.

Um die im Rahmen der Bauwerksinstandhaltung entstehenden Informationsmengen fachgerecht zu verwalten eignet sich der Einsatz von softwaregestützten Systemen zur Unterstützung der Geschäftsprozesse. Zur Unterstützung der Arbeitsprozesse der Bauwerksprüfung bei der Hochbahn AG Hamburg wurde das Softwaresystem *BW Prüf* wurde

von der CIP Ingenieurgesellschaft in Kooperation mit den Brückenprüfern der Hochbahn entwickelt und befindet sich im praktischen Einsatz in Hamburg.

Schadensbewertung „Dauerhaftigkeit“	
Bewertung	Beschreibung
0	Der Mangel/Schaden hat keinen Einfluß auf die Dauerhaftigkeit des Bauteils/Bauwerks.
1	Der Mangel/Schaden beeinträchtigt die Dauerhaftigkeit des Bauteils , hat jedoch langfristig nur geringen Einfluß auf die Dauerhaftigkeit des Bauwerks . Eine Schadensausbreitung oder Folgeschädigung anderer Bauteile ist nicht zu erwarten . Schadensbeseitigung im Rahmen der Bauwerksunterhaltung .
2	Der Mangel/Schaden beeinträchtigt die Dauerhaftigkeit des Bauteils und führt langfristig auch zur Beeinträchtigung der Dauerhaftigkeit des Bauwerks . Die Schadensausbreitung oder Folgeschädigung anderer Bauteile kann nicht ausgeschlossen werden . Schadensbeseitigung mittelfristig erforderlich .
3	Der Mangel/Schaden beeinträchtigt die Dauerhaftigkeit des Bauteils und führt mittelfristig zur

Abbildung 2: Auszug Schadensklassifizierung im Bereich „Dauerhaftigkeit“ nach RI-EBW-Prüf [2]

2 BAUWERKSPRÜFUNGEN NACH DIN 1076 AM BEISPIEL VON BRÜCKEN

Bauwerksprüfungen am Beispiel der Hochbahn Hamburg werden an Bauwerken der Typen *Brücke, Tunnel, Stützmauer* und *Tragkonstruktionen im Haltestellenbereich* durchgeführt. Die Bauwerke sind teilweise in mehrere Teilbauwerke und diese wiederum in einzelne Felder unterteilt (bei Tunneln sind dies Streckenabschnitte). Eine Prüfung wird an einem kompletten Bauwerk vorgenommen und wird feldweise durchgeführt. Im Rahmen der Prüfung werden am Bauwerk evtl. vorhandene Schäden ermittelt und mit multimedialen Hilfsmitteln, wie z.B. mit Bildern einer Digitalkamera ergänzt. Im Anschluss an die Erfassung der Schäden wird der Zustand des Bauwerks ermittelt und gegebenenfalls Maßnahmen (Sperrung, Sanierung etc.) vorgeschlagen bzw. eingeleitet. Abbildung 3 stellt die Bestandteile der Bauwerksprüfung als UML-Modell dar.

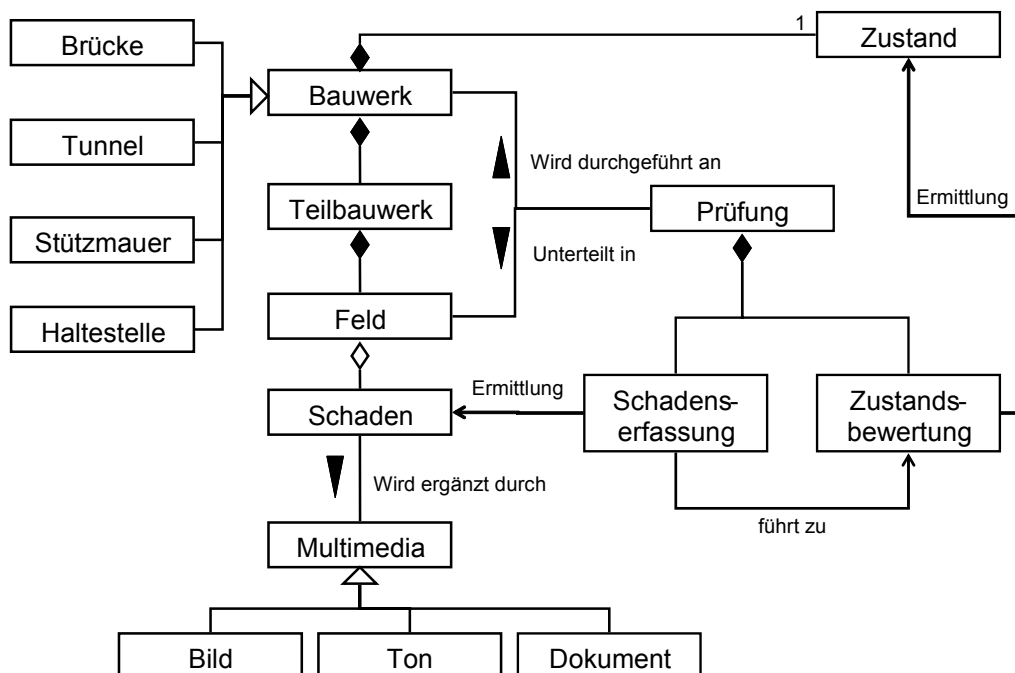


Abbildung 3: Bestandteile einer Bauwerksprüfung

Für jeden Schaden wird, falls erforderlich, eine Historie erzeugt um die Entwicklung bzw. Behebung des jeweiligen Schadens über mehrere Prüfungen hinweg zu verfolgen. Der Ablauf der Prüfung, grafisch dargestellt in Abbildung 4, findet zum einen im Büro und zum anderen vor Ort statt. Im Büro werden zunächst alle vorbereitenden Aktivitäten durchgeführt, wie z.B. das Heraussuchen der Pläne des zu prüfenden Bauwerks oder das Anlegen der Prüfung mit eventueller Übernahme zu beobachtender Altschäden in der Prüfsoftware BW Prüf.

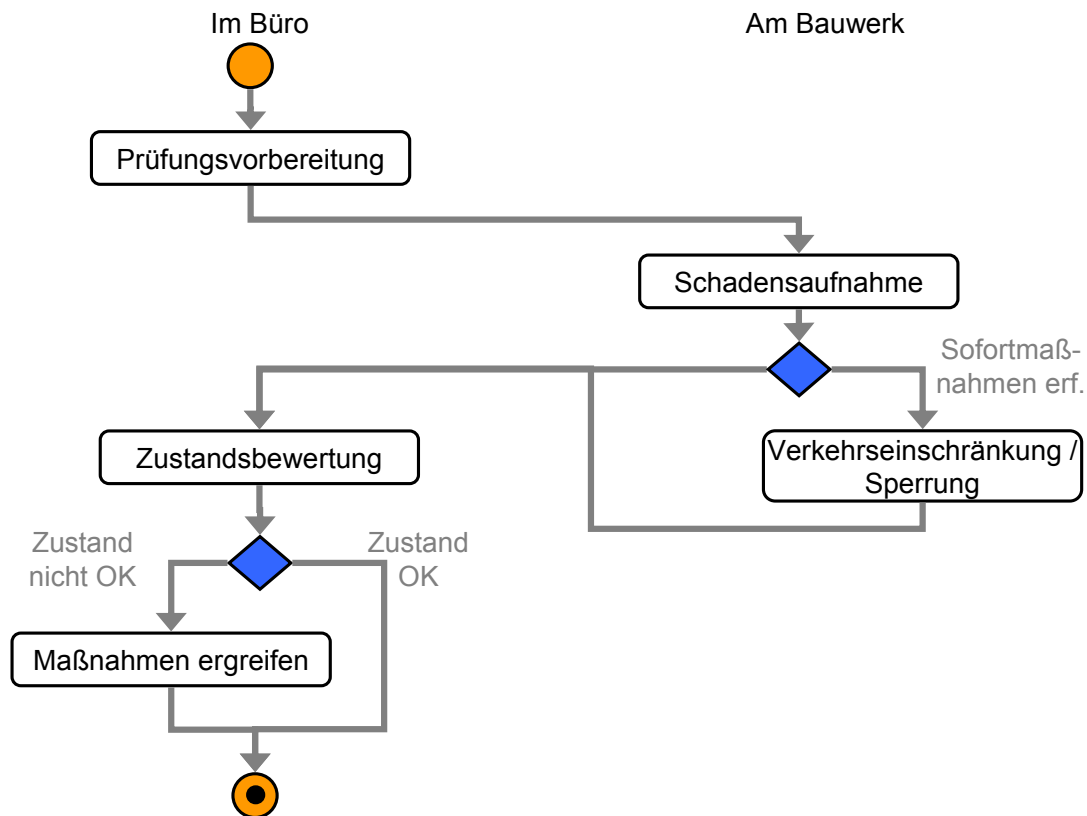


Abbildung 4: Ablauf der Bauwerksprüfung

Am Bauwerk werden dann die Schäden mit der Software erfasst und dokumentiert. Im letzten Schritt werden zurück im Büro die erfassten Informationen ausgewertet, der Zustand des Bauwerks ermittelt und ein Prüfbericht erstellt, der für das weitere Vorgehen zur Instandhaltung des Bauwerks herangezogen wird.

3 UNTERSTÜTZUNG DER VOR-ORT-AKTIVITÄTEN BEI DER BAUWERKSPRÜFUNG DURCH MOBILE COMPUTING

Da die Bauwerke direkt vor Ort geprüft werden müssen, ist es erforderlich, alle relevanten Bauwerksinformationen, die in Bauwerksverzeichnis, -akte oder -buch festgehalten wurden, dem Prüfer am Bauwerk während der Prüfung zur Verfügung zu stellen. Gleiches gilt für die erwähnten Kataloge zur Erfassung von Schäden an beliebigen Bauteilen oder auch CAD-Zeichnungen des betrachteten Bauwerks. Hierzu wurde das Softwaresystem BW Prüf auch auf einem Tablet-PC-basierten System mit einer Bildschirmauflösung von 800x600 Bildpunkten umgesetzt, so dass die Möglichkeit der Darstellung von CAD-Plänen am Bauwerk besteht. Die ermittelten Schäden können am Bauwerk direkt vor Ort in das System

eingetragen werden, ohne den Umweg über eine Erfassung mit Papier und Stift sowie einer anschließenden Übertragung in die Software gehen zu müssen.

3.1 Berücksichtigung spezieller Anforderungen

An den Einsatzorten der Bauwerksinspektion, den Brücke, Haltestellen, Tunneln etc. (siehe Abbildung 5) herrschen spezielle Rahmenbedingungen, die hinsichtlich des Einsatzes von mobilen Informations- und Kommunikationstechnologien berücksichtigt werden müssen. So ist mit Schmutz, Staub, Wasser und Lärm zu rechnen, ebenso wie mit extremen Witterungen, wie starkem Regen, Schneefall sowie hohen oder niedrigen Temperaturen bzw. Temperaturschwankungen (vergl [3]).



Abbildung 5: Brückenprüfung mit Steiger auf einem Hamburger Fleet.

Diese Parameter erfordern eine fachgerechte Betrachtung bei der Wahl der einzusetzenden Hard- und Software (siehe auch [4] und [5]).

3.2 Hardware

Die Hardware sollte grundsätzlich möglichst robust, d.h. beispielsweise stoß- und schlagfest sein, da „Berührungen“ mit anderen Gegenständen am Bauwerk nicht ausgeschlossen werden können. Ein Spritzwasser- und Staubschutz sollte bei einer Verwendung der Hardware unter freiem Himmel und in Wassernähe gegebenenfalls in Erwägung gezogen werden.

Da am Bauwerk in der Regel keine feste Stromversorgung vorliegt, spielt die Lebensdauer der Akkus eine wichtige Rolle. Die gestestete Hardware lieferte Strom für ca. 4 Stunden, so dass für einen Einsatz mit Dauer eines Arbeitstags ein Wechselakku verwendet werden sollte. Ein wichtiges Kriterium für den ingenieurgerechten Einsatz der Hardware ist das Display des mobilen Gerätes, das sehr stark variieren kann (Handy, PDA, Tablet-PC, Notebook). Da im betrachteten Anwendungsfall (CAD-) Pläne als Information bei der Planung und Durchführung der Prüfungen von großer Wichtigkeit sind, muss der Bildschirm eine gewisse Größe haben, um eine ausreichend große Darstellung der Pläne zu gewährleisten. Wie bereits erwähnt, fiel die Entscheidung hier auf den in Abbildung 6 dargestellten Tablet-PC mit einer Auflösung von 800x600m Bildpunkten.

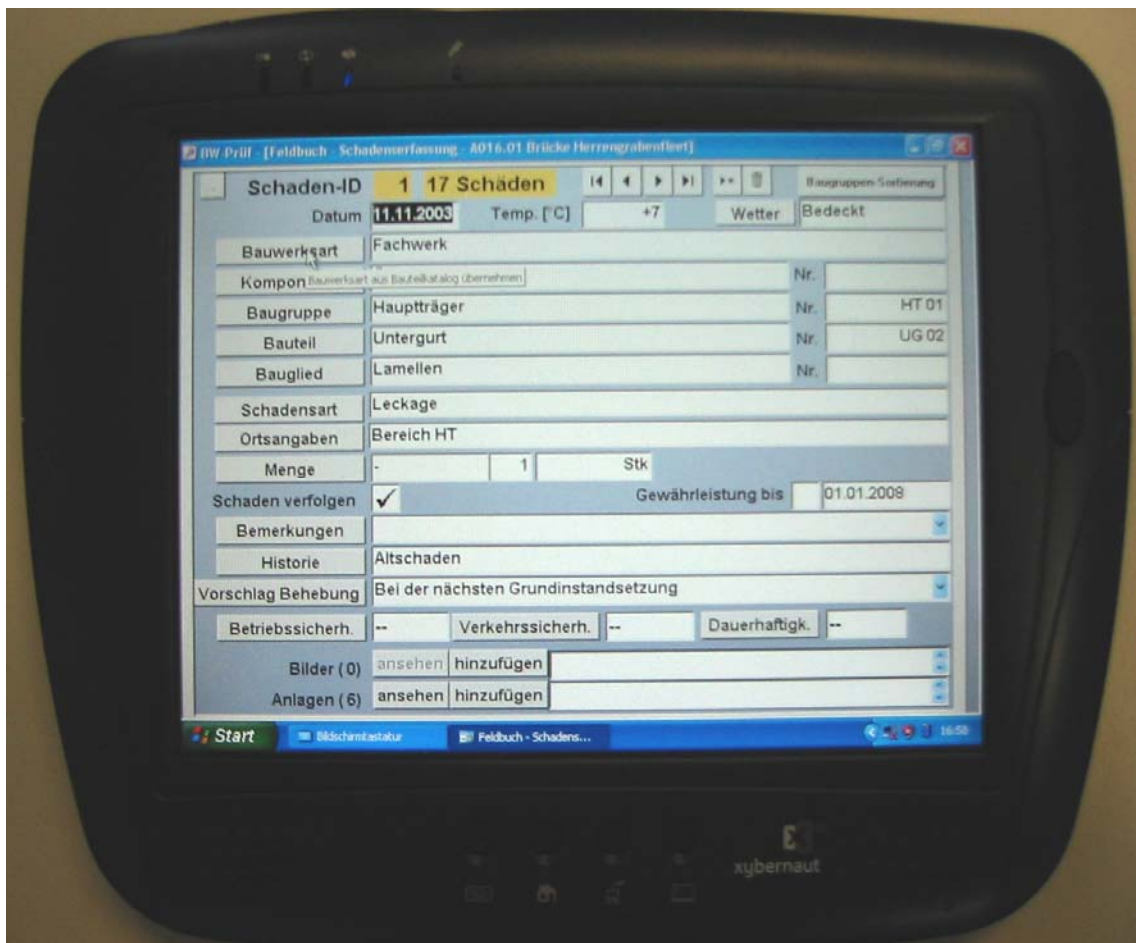


Abbildung 6: Schadenserfassung auf dem Tablet-PC Kaleo der Firma TeXXmo

Das Sonnenlicht und seine spiegelnde oder blendende Wirkung auf das Display spielen ebenfalls eine wichtige Rolle. Hier war die maximale Helligkeit zur guten Erkennbarkeit erforderlich, was sich natürlich negativ auf die Akku-Lebensdauer auswirkt.

Da an den Bauwerken oft beide Hände zur Durchführung der Arbeit eingesetzt werden müssen, kann darüber hinaus eine Befestigung der Hardware am Körper („hands free“, „head-mounted“ Display) oder an einem Gegenstand, wie z.B. dem in Abbildung 5 bzw. Abbildung 7 dargestellten Steiger, erforderlich werden (siehe auch [5]). In diesem Fall kann die Möglichkeit der Feststromversorgung gegeben werden.



Abbildung 7: Montage des Tablet-PCs an einem Steiger

3.3 Datenerfassungsmethoden

Zur effizienten Eingabe von Informationen, hier der Schäden, werden verschiedene Erfassungsmethoden zur Verfügung gestellt. Besonders bei Prüfungen an Bauwerken, die eine Sperrung von Hauptverkehrswegen oder -knotenpunkten erforderlich machen, ist dies zur Minimierung der Prüfzeit ein wichtiger Aspekt. Da eine Eingabe über die standardmäßige Bildschirmstatur des Tablet-PCs in dieser Situation nicht immer praktikabel wäre, kommen hier alternative Methoden zum Einsatz.

Eine Verbesserung stellt hier eine Handschrifterkennung dar, die auf manchen Geräten bzw. Betriebssystemen standardmäßig vorhanden ist und bei anderen nachgerüstet werden kann. Zusätzlich ist eine Aufzeichnung handschriftlicher Notizen als Bilddatei möglich. Mit der in der hier vorgestellten Anwendung verwendeten Software *PenOffice* von *Phatware* konnten gute Erfahrungen gewonnen werden, wenn auch trotzdem noch einige Nachbearbeitungen erforderlich sind.

Eine Reduktion des Stifteinsatzes ermöglicht die Unterstützung von Spracheingaben. Zum Beispiel können gesprochene Notizen als Datei auf dem Gerät aufgezeichnet werden, wobei jedoch eine Transformation in Schriftzeichen erforderlich ist, wenn ein bestimmtes Anwendungsprogramm mit Daten gefüllt werden soll. Spracherkennungsprogramme ermöglichen diese Transformation - auch direkt bei der Eingabe. Allerdings ist die Qualität der Transformation sehr stark von der Stimme und den sprachlichen Merkmalen des Sprechers, wie etwa dem Dialekt abhängig. Auch können Einflüsse wie Hintergrundgeräusche (z.B. Straßenlärm) die Erkennung negativ beeinflussen. Untersuchungen im Einsatz bei der Hochbahn Hamburg haben gezeigt, dass diese Technologie bei dem jetzigen Stand der in der Praxis verfügbaren Software für die meisten Anwendungsfälle im Bau- und Infrastrukturwesen nicht ausreichend geeignet ist.

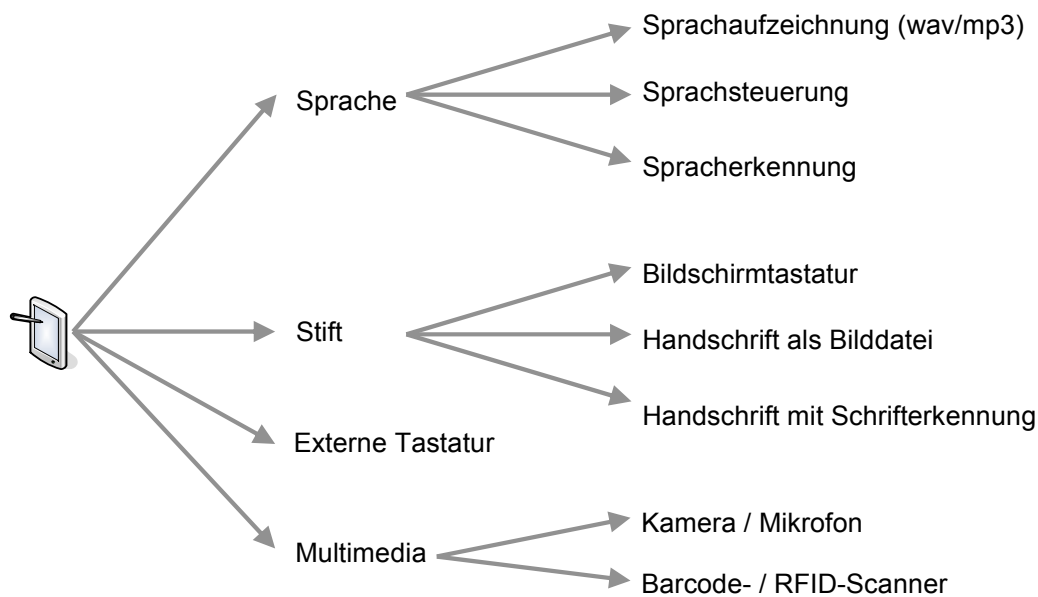


Abbildung 8: Datenerfassungsmethoden für mobile Endgeräte [3]

Einen Zwischenschritt dieser Entwicklung stellt die Sprachsteuerung dar. Für die Eingabe von Daten per Sprachsteuerung müssen Wortschätze hinterlegt werden, welche die innere Logik der Applikation widerspiegeln. Nur zuvor im Wortschatz definierte Worte können erkannt werden. Situationsbedingt wird jeweils der entsprechende Wortschatz aktiviert. Wird im Strom der erkannten Wörter eine gültige Sprachsequenz gefunden, so sucht der verwendete Spracherkenner aus einer Sequenzdatei den zu diesem Wort gehörenden Identifier heraus und gibt ihn an die Applikation weiter. Im Rahmen der mobilen Anwendung der Software BW Prüf wurde die Sprachsteuerungs-Komponente *SpeaKing* von *MediaInterface* mit guten Ergebnissen getestet.

Multimediale Inhalte, wie z.B. Bild- und Tonaufzeichnungen können als Ergänzungen zur Datenerfassung von großem Nutzen sein. Durch die hohe Verfügbarkeit kleiner leistungsfähiger Digitalkameras oder Mikrofone, die direkt an mobile Endgeräte angeschlossen werden können, lassen sich diese Inhalte gut in mobile Softwaresysteme integrieren.

Abbildung 8 gibt einen Überblick über die Datenerfassungsmethoden.

3.4 Kommunikations-Strategien mit Arbeitsplatz- und Server-Rechnern

Zur Bereitstellung relevanter Informationen auf dem mobilen Endgerät und zur Übertragung mit diesem Gerät erfasster Informationen muss eine Kommunikation mit Arbeitsplatz- oder Server-Anwendungen möglich sein. Dies kann sowohl eine ortsgebundene als auch eine ortsunabhängige Kommunikationsverbindung sein.

Eine ortsunabhängige Verbindung erfordert die Integration von mobilen Kommunikationstechnologien, wie WLAN oder Mobilfunk und ist dadurch mit zusätzlichen Kosten für die Kommunikation verbunden. Diese Variante sollte deshalb nur gewählt werden, wenn die Situation eine zeitnahe Kommunikation mit Server-Anwendungen erfordert (vergl. auch [3] und [6]).

Ortsgebundene Kommunikationsverbindungen erlauben das direkte Integrieren des mobilen Geräts in die interne (Netzwerk-) Umgebung des Arbeitsplatz- bzw. Server-Rechners und

können zum einen mit Hilfsgeräten, beispielsweise einer so genannte Cradle oder einer Synch-Station und zum anderen mit einer Netzwerkverbindung hergestellt werden. Sie sind allerdings an das Vorhandensein der vorgesehenen Infrastruktur gebunden, so dass ein Datenabgleich in der Regel nur im Büro stattfinden kann. Diese Methode ohne zusätzliche Kosten eignet sich für zeitunkritische Anwendungsfälle und stellt den Regelfall im hier vorgestellten Anwendungssystem BW Prüf dar.

Während der Durchführung einer Prüfung am Bauwerk werden zur Sicherstellung der Integrität und Konsistenz der betroffenen Daten diese für andere Nutzer zum Schreiben gesperrt („aus-gecheckt“). Im Anschluss an eine Prüfung werden die ermittelten Ergebnisse in die Arbeitsplatzversion bzw. auf den Server synchronisiert („ein-gecheckt“) und können im Zuge des Geschäftsprozesses weiterbearbeitet werden. In der Arbeitsplatzversion der Software können dann auf der Grundlage der Schadenserfassung beispielsweise eine Zustandsbewertung und Maßnahmenvorschläge definiert werden.

4 FAZIT UND AUSBLICK

Die Aspekte mobiler Informations- und Kommunikationstechnologien sind für das Bau- und Infrastrukturwesen von immer größerer Bedeutung. Bei der hier vorgestellten Inspektion von Brücken ermöglichen sie eine nahezu nahtlose Integration der Vor-Ort-Aktivitäten in die softwaregestützten Geschäftsprozesse der Bauwerksinstandhaltung. Doppelte Eingaben durch eine Papier-Erfassung werden vermieden und somit die Bearbeitungszeit einer Brückenprüfung reduziert und Fehlerquellen durch die Übertragung vom analogen ins digitale Medium minimiert.

Ereignisse in den Nordalpen im Winter 2005/2006, speziell der Einsturz einer Eislaufhalle in Bad Reichenhall im Januar 2006 mit 15 Todesfällen und mehreren Verletzten, haben den Anlass zu Überlegungen gegeben, auch Bauwerke, die außerhalb der DIN 1076 stehen, regelmäßig zu prüfen. Die Anpassbarkeit der Software und des verwendeten Konzepts für die Integration mobiler Endgeräte auf andere Bauwerkstypen wurde bei der Entwicklung berücksichtigt.

Aktuelle Forschungsvorhaben im Bereich des Mobile Computing zielen unter anderem auf verbesserte Datenerfassungsmethoden mit Spracherkennung, ingenieurgerechten Darstellungsverfahren auf den kleineren Bildschirmen der mobilen Endgeräte und die Lokalisation von beweglichen Objekten ab. So könnten z.B. Bauteile oder Baustoffe von der Vorfertigung in einem Betrieb über die Lieferung und Lagerung auf der Baustelle bis zum Einbau am richtigen Ort auf Basis von leistungsfähigen RFID-Tags verfolgt und identifiziert werden. Ebenfalls untersucht wird der Einsatz mobiler Technologien im Bereich agentenbasierter Kooperationsplattformen [7]. Die Lokalisation von beweglichen Objekten, wie z.B. Personen, in Gebäuden zur Navigation und lokationsabhängigen Informationsbereitstellung ist ein weiteres Forschungsgebiet [8].

LITERATURVERZEICHNIS

- [1] Vollrath, Fritz; Tathoff, Heinz: Handbuch der Brückeninstandhaltung, Verlag Bau + Technik, Düsseldorf 2002
- [2] Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen: RI-EBW-PRÜF, Richtlinie zur einheitlichen Erfassung, Bewertung, Aufzeichnung und Auswertung von Ergebnissen der Bauwerksprüfungen nach DIN 1076, 1998

- [3] Klauer, Thomas: Mobile Computing im Bau- und Infrastrukturwesen. In: Lecture Notes in Informatics: Mobile Informationssysteme - Potentiale, Hindernisse, Einsatz. Proceedings der 1. Fachtagung Mobilität und mobile Informationssysteme, Köllen Druck&Verlag GmbH, Februar 2006
- [4] Berbig, T.; Dittrich, J.; Menzel, K.; Eisenblätter, K.; Domschke, S.: Mobile Computing – Anforderungen und Einführungsstrategie aus Sicht der Baupraxis. In: Proceedings zum Internat. Kolloquium über Anwendungen der Informatik und Mathematik in Architektur und Bauwesen (IKM), Weimar 2003
- [5] Bürgy, Christian: An Interaction Constraints Model for Mobile and Wearable Computer-Aided Engineering Systems in Industrial Applications. PhD Thesis, Dept. of Civil and Environmental Engineering, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, USA 2002
- [6] Höpfner, Hagen; Türker, Can; König-Ries, Birgitta: Mobile Datenbanken und Informationssysteme, Dpunkt Verlag 2005
- [7] Bilek, Jochen: Integration mobiler Kleinstcomputer in ein Multiagentensystem für die vernetzt-kooperative Tragwerksplanung. In: Lars Weber, Frank Schley (Hrsg.): Forum Bauinformatik 2005 - Junge Wissenschaftler forschen, Shaker Verlag, ISBN 3-934934-11-0, S. 319-326 Cottbus, Oktober 2005
- [8] Zentrum für Integrierte Verkehrssysteme: PIG - Ortung in Gebäuden - Untersuchung zur Realisierbarkeit von Personennavigation in Gebäuden und Entwicklung eines Ortungskonzepts, Projektbericht, Darmstadt 2004