

Use of RFID technology in civil engineering

The Smart Element

Einsatz der RFID-Technologie im Bauwesen

Das Intelligente Bauteil

Die Autoren



Univ.-Prof. Dr.-Ing. Peter Jehle, Jahrgang 1957, Studium des Bauingenieurwesens mit den Schwerpunkten Massivbau, Statik, Entwerfen und Konstruieren an der Universität Stuttgart, Sprengberechtigter für Allgemeine Sprengarbeiten und Bauwerksprengungen, Promotion 1989 bei Prof. Dr.-Ing. V. Kuhne am Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft der Universität GHS Essen, leitende Tätigkeit als Mitgesellschafter in einem Abbruch- und Tiefbauunternehmen, 1995 Gründung eines Ingenieurbüros für Projektplanung und Projektsteuerung, 2001 Berufung an das Institut für Baubetriebswesen der Technischen Universität Dresden, Schwerpunkte in Forschung und Lehre: Bauverfahrenstechnik, Abbruch, Recycling und Sprengtechnik, Projektentwicklung und Projektmanagement, Bau- und Betrieb von Hochleistungsbahnen.
peter.jehle@tu-dresden.de

Radio frequency identification (or RFID) has been used for several decades in stationary industrial installations and in the fields of inventory management, logistics, physical access control, and animal husbandry. The rapid progress of this technology during the past few years is now increasingly opening up new application opportunities in the construction industry. This article describes RFID technology as a link between object and data level.

RFID enables contactless identification of objects and is being used worldwide in most diverse industrial applications. It also plays an important role in many aspects of everyday life. Shown in Fig. 1, the system comprises three main components: the RFID transponder, the reader with antenna, and the middleware. This configuration is complemented by application servers.

The reader (or reading device) can be designed as a read/write or read-only unit. Each reader requires an antenna, which is often integrated in mobile units while it is connected to stationary readers from externally.

Die Radio Frequenz Identifikation, kurz RFID, wird in der stationären Industrie, der Warenwirtschaft, der Logistik, bei Personenzugangskontrollen oder bei der Tierhaltung schon seit einigen Jahrzehnten zur Kennzeichnung genutzt. Die rasante Entwicklung dieser Technologie in den letzten Jahren öffnet zunehmend auch Einsatzpotenziale in der Bauindustrie. Nachfolgend wird die RFID-Technologie als Bindeglied zwischen Objekt- und Datenebene vorgestellt.

RFID dient der kontaktlosen Identifikation von Objekten und wird weltweit in den unterschiedlichsten Bereichen der Industrie und des öffentlichen Lebens eingesetzt. Das System, dargestellt in Abb. 1, besteht aus den Hauptkomponenten RFID-Transponder, dem Reader mit Antenne sowie der Middleware. Applikationsserver ergänzen diese Konfiguration.

Der Reader, auch Lesegerät genannt, kann als Schreib-Lese- oder reine Leseinheit ausgeführt werden. Jeder Reader benötigt eine Antenne, die bei mobilen Einheiten häufig integriert und bei stationären Lesegeräten extern angeschlossen wird.

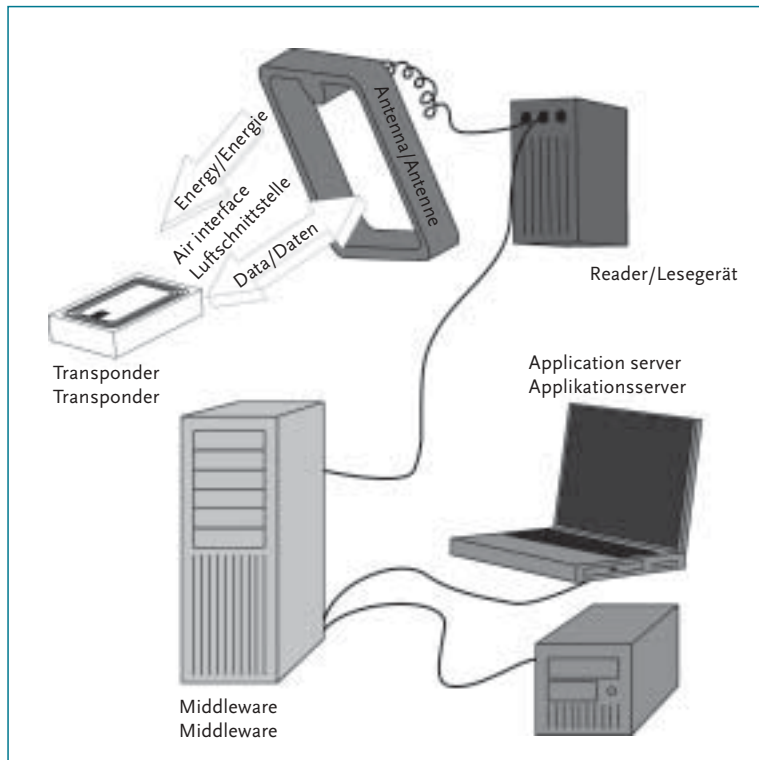


Fig. 1 Setup and operation of an RFID system with passive transponders.
 Abb. 1 Aufbau und Funktionsweise eines RFID-Systems mit passiven Transpondern.

The transponder contains electronic circuitry and an antenna, and is attached to the object/product to be identified. Each transponder also includes a memory. 1-bit transponders have the smallest storage capacity. Such devices are mainly used in electronic anti-theft systems. As part of such a system, the reader only recognizes if a transponder is located within the field. For object/product labeling purposes, transponders with a storage capacity of 64 or 96 bits are used. Such a memory stores unique numerical codes. To each code, specific object information can be allocated centrally on an application server. Transponders with a memory capacity of up to 64 Kbytes are currently available for more complex, distributed data storage systems.

Using magnetic or electromagnetic fields, stored data is exchanged between the reader and the transponder in a contactless fashion via the so-called air interface. This principle works even without visual contact.

The operating frequencies used form part of the approved low-frequency (LF, 135 kHz), high-frequency (HF, 13.56 MHz), ultra high frequency (UHF, 868 or 915 MHz) and microwave (2.45 or 5.8 GHz) bands.

Transponders are supplied with energy in two ways: "active" transponders use an integrated battery while "passive" transponders use electric induction. "Semi-active" transponders are equipped with their own source of energy but use it only to operate any integrated sensors. When transmitting or receiving data, energy is supplied by the reader, as in the case of passive transponders.

Pre-RFID situation in the construction industry

Shown as an example in Fig. 2, the conventional data flow model is split into object and data levels. When looking at the data level alone, we find numerous so-called media discontinuities where digital data is converted to analog data or vice versa. These conver-

Der Transponder enthält eine elektronische Schaltung sowie eine Antenne und wird an dem zu identifizierenden Objekt/Produkt befestigt. In jedem Transponder ist ein Speicher integriert. Das kleinste Speichervolumen besitzen die 1-Bit-Transponder, welche hauptsächlich bei der elektronischen Diebstahlsicherung eingesetzt werden. Dabei erkennt der Reader lediglich, ob sich ein Transponder im Feld befindet oder nicht. Für die Objekt-/Produktkennzeichnung kommen Transponder mit einem Speichervolumen von 64 oder 96 Bit zur Anwendung. Auf diesen Speichern werden eindeutige Zifferncodes gespeichert. Jedem Code können spezifische Objektinformationen zentral auf Applikationsserver zugeordnet werden. Für komplexere, dezentrale Datenhaltung sind derzeit Transponder mit Speichergrößen bis 64 kByte erhältlich.

Der Austausch der gespeicherten Daten zwischen dem Lesegerät und dem Transponder erfolgt mithilfe von magnetischen bzw. elektromagnetischen Feldern kontaktlos, auch ohne Sichtkontakt, über die so genannte Luftschnittstelle.

Die Arbeitsfrequenzen liegen innerhalb der freigegebenen Frequenzbänder der Langwelle (Low Frequency – LF, 135 kHz), der Kurzwelle (High Frequency – HF, 13,56 MHz), der Ultrakurzwelle (Ultra High Frequency – UHF, 868 bzw. 915 MHz) und der Mikrowelle (2,45 bzw. 5,8 GHz).

Die Energieversorgung der Transponder erfolgt bei den „Aktiven Transpondern“ über eine integrierte Batterie und bei den „Passiven Transpondern“ über die elektrische Induktion. Die „semiaktiven Transponder“ besitzen zwar eine eigene Energiequelle, nutzen diese aber nur zum Betreiben möglicher Sensoren. Beim Senden und Empfangen von Daten wird die Energie wie bei passiven Transpondern vom Lesegerät bezogen.



Dipl.-Ing. Stefan Seyffert
 Jahrgang 1974, Studium des Bauingenieurwesens mit den Schwerpunkten Baubetriebswesen an der Technischen Universität Dresden, nach dem Studium Arbeitsvorbereiter in der Dresdner Niederlassung der Firma Dyckerhoff & Widmann AG mit Hauptaufgabe Betonbautechnologie sowie Bauwerksprüfer in der Dresdner Niederlassung der Firma Bauteil Gesellschaft für Forschung und Materialprüfung im Bauwesen mbH. Ab Januar 2002 als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Baubetriebswesen tätig. Schwerpunkte in Lehre und Forschung sind Bauverfahrenstechnik im Betonbau, RFID-Technologie im Bauwesen.

stefan.seyffert@tu-dresden.de

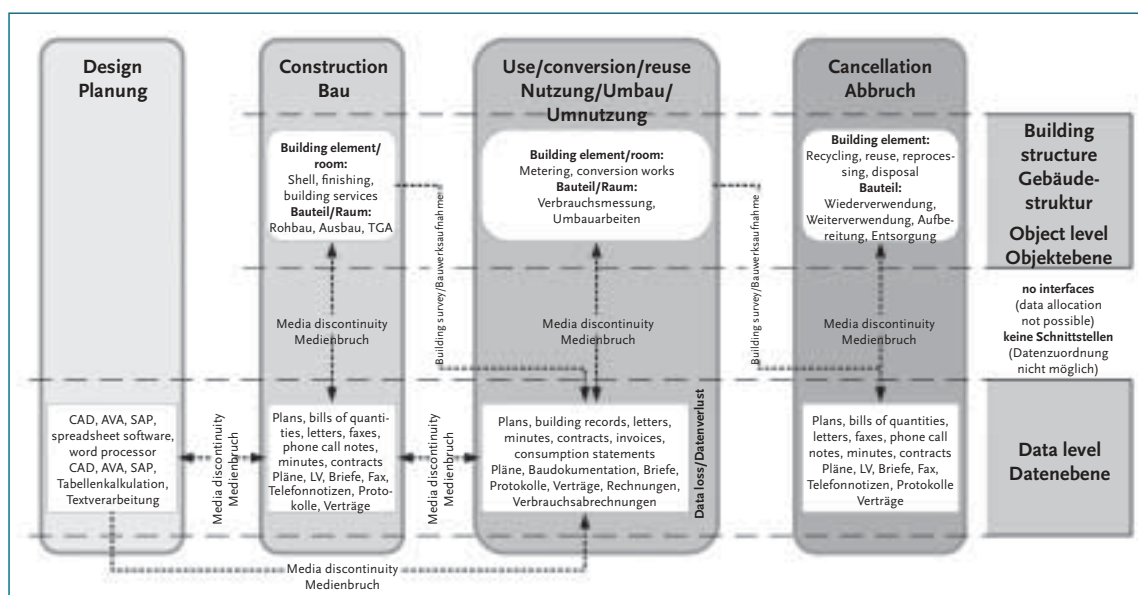


Fig. 2 Conventional data flow model for a building across all lifecycles.

Abb. 2 Klassisches Datenflussmodell eines Gebäudes über alle Lebenszyklen.

sions are error-prone and regularly lead to data loss. Error corrections, extensive building surveys, or the recovery of lost data result in significant additional cost.

Today, digital tools such as complex CAD programs or applications for tendering, contract award and invoicing are used at the design stage. Digital information is then printed out and forwarded to the parties involved in the design process, as well as to the relevant construction companies. Digital data transfer has not yet gained a dominating position.

The same severe media discontinuity occurs at the transition from the construction phase to the actual use of the building. In this case, digital information stored during the construction phase is submitted to the client in analog form, i.e. as a set of building documentations.

The erection of buildings requires an exchange of data between the object level (real object, production site) and the data level (virtual object, site supervision and planning). Digital interfaces are not involved at this point. Alternatively, analog data (e.g. delivery slips or records documenting construction progress) are fed into computer systems by site management while digital information from the design process or meetings is printed out or communicated orally to the production site. This results in delays and overtime as changes to plans or designs arrive too late, or not at all, at the point of work execution.

By using defined data exchange standards, state-of-the-art means of communication and Internet-based project spaces or platforms, such media discontinuities occurring between the individual lifecycles can be overcome to a very large extent at the data level. However,



Fig. 3 "Smart elements" – labeling of elements by means of transponders.

Abb. 3 „Intelligente Bauteile“ – Kennzeichnung der Bauteile mit Transpondern.

Ausgangssituation im Bauwesen

Das klassische Datenflussmodell, exemplarisch dargestellt in der **Abb. 2**, ist unterteilt in die Objekt- und Datenebene. Allein bei der Betrachtung der Datenebene ist eine Vielzahl so genannter Medienbrüche, bei denen eine Umwandlung von digitalen Daten in analoge Daten oder umgekehrt erfolgt, zu finden. Diese Wechsel sind fehleranfällig und regelmäßig mit Datenverlusten verbunden. Die Fehlerbehebung, aufwändige Bauwerksaufnahmen oder die Wiederbeschaffung der verlorenen Daten sind mit erheblichen zusätzlichen Kosten verbunden.

In der Planungsphase werden heute üblicherweise digitale Werkzeuge wie z. B. komplexe CAD- und AVA-Anwendungen eingesetzt. Die digitalen Daten werden dann ausgedruckt und an die Planungsbeteiligten sowie an die Bauausführung weitergegeben. Die digitale Datenübermittlung hat sich bisher nicht durchgesetzt.

Der gleiche große Medienbruch erfolgt beim Übergang von der Bauphase zur Nutzungsphase. Dabei werden die während der Bauphase gespeicherten digitalen Daten analog, in Form einer Bauwerksdokumentation, an den Bauherren übergeben.

Die Herstellung der Bauobjekte erfordert einen Datenaustausch zwischen der Objektebene (reales Objekt, Produktionsort) und der Datenebene (virtuelles Objekt, Bauleitung und Planung). Digitale Schnittstellen fehlen an dieser Stelle. Alternativ werden analoge Daten (z. B. Lieferscheine oder Bautenstände) durch die Bauleitung in digitale Systeme eingepflegt und digitale Daten aus der Planung oder aus Besprechungen ausgedruckt oder mündlich zum Produktionsort gegeben. Die Folge sind Verzögerungen sowie Mehrarbeiten, da Planänderungen zu spät oder gar nicht am Ausführungsort ankommen.

Durch die Nutzung vorgegebener Datenaustauschstandards, moderner Kommunikationsmittel und Projekträume oder Projektplattformen im Internet lassen sich die Medienbrüche zwischen den einzelnen Lebenszyklen in der Datenebene weitestgehend beheben. Werden die üblichen Gebäudenutzungen von 80 Jahren oder Nutzer- beziehungsweise Besitzerwechsel berücksichtigt, besteht weiterhin das Risiko eines Datenverlustes. Außerdem können die modernen Kommunikationswege das Schnittstellenproblem zwischen der Objektebene und der Datenebene nicht beheben.

Das „Intelligente Bauteil“ als Lösungsansatz

Das Bindeglied zwischen der Objektebene und der Datenebene stellt die RFID-Technologie dar. Der Modelleinsatz ist, jedes Bauteil mit Transpondern auszustatten, wie es in **Abb. 3** beispielhaft dargestellt ist. Bei Flächenbauteilen werden in der Regel zwei Transponder benötigt, damit eine Adressierung raumbezogen und eindeutig möglich ist. Dem Transponder werden nach dem Halbwandverfahren alle maßgeblichen Objektdaten zugeordnet.

Die Kennzeichnung mit 96-Bit-Transpondern ermöglicht dabei das Abrufen erforderlicher Informationen aus der Datenebene über Funknetze vom Appli-

when considering the usual 80-year period during which a building is used, or any user or ownership changes, there is still a risk of data loss. It should also be noted that state-of-the-art means of communication alone cannot resolve the interface issue between the object and data levels.

The “Smart Element” as a possible solution

RFID technology establishes a link between object and data level. The basic approach is to fit each and every element with transponders, as shown in the example in **Fig. 3**. Extensive, large-scale elements usually require two transponders in order to identify them uniquely according to their position in the respective space or room. All relevant object information is allocated to the transponder using the half-wall method.

In this case, the labeling with 96-bit transponders makes it possible to request required data-level information via radio networks, from the application server to a mobile reader. In logistics and inventory management, centralized data servers are often used as application servers. Such systems can also be used in the construction industry to manage manufacturer-related production data as they are generally accessible. On the other hand, object data should rather be stored in a distributed system. Local application servers can be used to install systems for individual projects, companies or service providers, or for public and private clients. Such systems are well-suited to manage (also sensitive) data in a secure and tailored fashion. As transponder storage capacity increases, this opens up opportunities to implement semi-centralized or even purely distributed solutions.

Future software applications using such distributed RFID transponder data will support and optimize processes across the entire construction phase. The reading of transponder data, e.g. as part of daily inspections, enables completion notices, measurement and invoicing, or approval for subsequent construction trades. The use of “smart elements” results in significant improvements in quality control, documentation, partial and final acceptance procedures, and complaints management.

During the use of the building, the composition or structure of walls can be ascertained by non-destructive methods at any time. Properties or characteristics of individual elements (such as dimensions or load-bearing capacity) can be obtained quickly and unambiguously. Changes to elements during building use are continuously documented in a timely fashion. This distributed data management system is a key component of the digital building model.

RFID transponders provide added benefits for building orientation and guidance systems (not only in the case of emergencies or disasters), for the administration and monitoring of facility management services, or the documentation of maintenance and other works. The possibility of connecting sensors to RFID devices opens up additional areas of application for the RFID technology during building construction and

kationsserver auf ein mobiles Lesegerät. In der Logistik und der Warenwirtschaft werden häufig zentrale Datenserver als Applikationsserver eingesetzt. Für die Verwaltung von herstellerbezogenen Produktionsinformationen können diese Systeme wegen der allgemeinen Zugänglichkeit auch von der Bauindustrie genutzt werden. Objektdaten werden besser dezentral gehalten. Auf lokalen Applikationsservern lassen sich Systeme für einzelne Projekte, für Unternehmen und Dienstleister oder für private und öffentliche Bauherren einrichten. Damit können auch sensible Daten sicher und individuell verwaltet werden. Mit der Entwicklung größerer Speicherkapazitäten auf den Transpondern sind auch semizentrale oder rein dezentrale Lösungen umzusetzen.

Zukünftige Softwareapplikationen, die diese dezentralen Daten der RFID-Transponder nutzen, werden die Prozesse im Bauablauf unterstützen und optimieren. Das Auslesen der Transponder, beispielsweise bei täglichen Begehungen, führt zur Leistungsmeldung, zum Aufmaß bis hin zur Rechnungslegung oder zur Freigabe für das Folgegewerk. Die Qualitätsüberwachung, die Dokumentation, die Teilabnahmen und die Endabnahmen sowie das Mängelmanagement werden durch die „Intelligenten Bauteile“ deutlich verbessert.

In der Nutzungsphase sind Wandaufbauten immer wieder zerstörungsfrei festzustellen oder Bauteileigenschaften (Größe, Tragfähigkeit usw.) schnell und eindeutig zu generieren. Änderungen an Bauteilen während der Nutzungsphase werden zeitnah und dauerhaft fortgeschrieben. Diese dezentrale Datenhaltung ist ein wesentlicher Bestandteil des digitalen Gebäudemodells.

Weitere Vorteile bieten die Transponder bei Gebäude-Orientierungssystemen (nicht nur bei Katastrophen), bei der Verwaltung und Steuerung von FM-Leistungen oder der Protokollierung von Instandhaltungen und sonstigen Dienstleistungen. Die Möglichkeit, Sensoren an die Transponder anzuschließen, eröffnet weitere Einsatzfelder der RFID-Technologie während der Bau- und Nutzungsphase. Anwendungspotenziale finden sich beispielsweise bei der Überwachung von Traglastzuständen, Feuchtigkeits- oder Temperaturverläufen oder der Klimasteuerung. Auch die Fertigteilherstellung kann vom Einsatz dieser Technologie profitieren.

Erste Untersuchungen in der Vorfertigung haben ergeben, dass bei bis zu 75 Arbeitsgangstufen nur bei 5 % der Arbeitsgangstufen entstehende Daten dem Qualitätsnachweis dienen. Bei genauerer Analyse kann festgestellt werden, dass weitere 20 % genutzt werden könnten. Ein wesentlicher Grund ist die fehlende Schnittstelle zwischen der Produktion und der Planung.

Abb. 4 zeigt ein Datenflussmodell unter Einsatz der RFID-Systeme im Fertigteilwerk. Die Automation der Fertigung spielt bei dieser Sichtweise eine untergeordnete Rolle. Die Frage der Qualitätsüberwachung und des Qualitätsnachweises wird hier herausgegriffen.

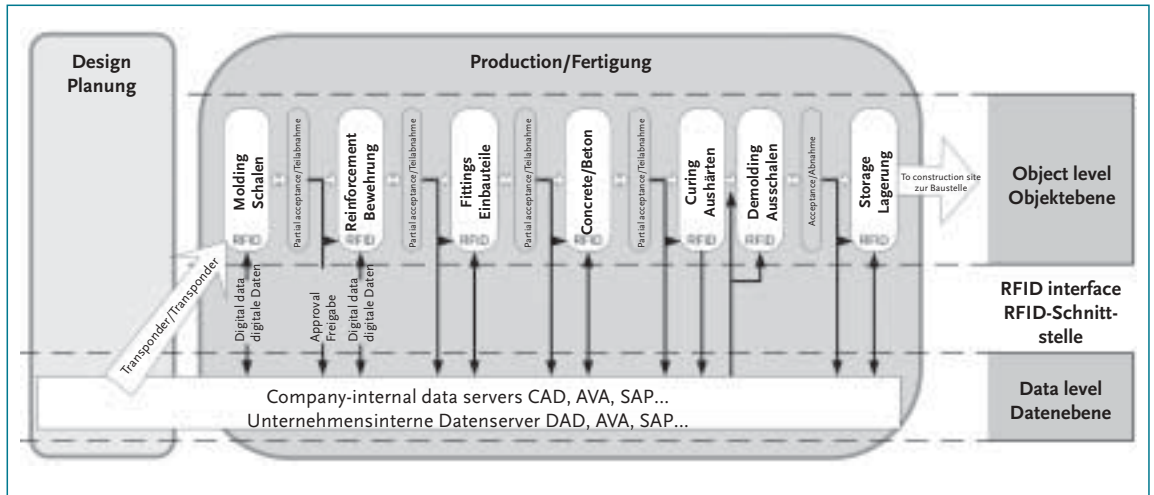


Fig. 4 Data flow model for the prefabrication of a smart element.

Abb. 4 Datenflussmodell bei der Vorfertigung eines intelligenten Bauteils.

use. For example, such opportunities exist when it comes to monitoring loading capacity states, moisture or temperature changes over time, or ventilation and air conditioning. The precast industry can also derive benefits from the use of this technology.

Initial investigations in precasting have shown that, in the presence of over 75 work steps, only data generated in 5% of the work steps are acted as a document product quality. A more thorough analysis leads to the result that another 20% could be used for this purpose. One of the main reasons for this inefficiency is the lacking interface between production and design.

Fig. 4 shows a data flow model using RFID systems in a precast facility. In this model, the degree of manufacturing automation is only of secondary significance. This consideration focuses on the issue of monitoring and documenting product quality.

As in the case of the conventional data flow model, we distinguish between a data and an object level. In this approach, it is important that a local application server be accessed by each process at the production facility. This ensures that production always uses the latest design stage. Once production has begun (this point in time is marked by the communication between transponder and server), the system does no longer accept design changes.

When the detailed design of a precast element has been completed at the data level (design department), the relevant element data is written onto a transponder. This device replaces the analog order sent to production and makes it possible to request the latest molding plan from the server. The molding process is completed by a partial acceptance procedure, which can be carried out either by a person or by optical systems. This quality control procedure is stored on the transponders. The resulting signature allows the request of reinforcement details. As shown in Fig. 4, this procedure is repeated at all workstations.

When the precast element has passed the final acceptance stage and has been moved to interim storage in the stockyard, the two transponders carry

Wie schon beim Modell des klassischen Datenflusses wird auch hier in Daten- und Objektenebene unterschieden. Wichtig ist dabei, dass bei allen Prozessen im Werk auf einen lokalen Applikationsserver zugegriffen wird. Die Produktion greift damit immer sicher auf den letzten Planungsstand zu. Nach dem Beginn der Herstellung, welcher durch die Kommunikation des Transponders mit dem Server gekennzeichnet ist, sind Planänderungen im System nicht mehr möglich.

Mit Abschluss der Detailplanung eines Fertigteils in der Datenebene (Planungsabteilung) wird ein Transponder mit Bauteilinformationen beschrieben. Dieser Transponder ersetzt den analogen Auftrag an die Fertigung und erlaubt das Abrufen des aktuellsten Schalplans vom Server. Der Schalvorgang wird durch eine Teilabnahme, welche durch eine Person oder durch optische Systeme erfolgen kann, abgeschlossen. Diese Qualitätskontrolle wird auf den Transpondern abgelegt. Mit dieser Signatur ist der Abruf der Bewehrungsdetails möglich. Dieser Vorgang wird, wie in Abb. 4 dargestellt, an allen Arbeitsstationen wiederholt.

Hat das Fertigteil die letzte Abnahme durchlaufen und kommt es zum Zwischenlagern auf den Lagerplatz, befinden sich auf den beiden Transpondern neben den Bauteildaten, beispielsweise Baustelle, Materialkennwerte oder Abmessungen, auch die eindeutigen Nachweise der einzelnen Abnahmen. Damit ist eine lückenlose und dem Kunden gegenüber nachweisbare Dokumentation der Qualität vorhanden. Dieses stringente interne Qualitätsmanagementsystem ist beispielsweise auch Grundlage für mehr Rechtssicherheit bei Lieferverträgen.

Weitere Entwicklungspotenziale liegen beim Einsatz von Sensoren. Das Verdichten bzw. das Hydratisieren des Betons könnten zukünftig kontrolliert, optimiert und vor allem dokumentiert werden.

Durch die Kennzeichnung der Fertigteile mit Transpondern entsteht das „Intelligente Bauteil“, welches neben den Prozessen in der Fertigung auch das Lagermanagement und den Transport sicher und effizient

element information, such as the construction site, material parameters or dimensions, but also clear and unambiguous proof of the individual acceptance procedures. This enables a seamless system of quality documentation that can be proven to the client. For example, this consistent internal quality management system is also a basis for added legal certainty in supply agreements.

Further opportunities exist for the use of sensors. Concrete compaction or hydration could in future be controlled, optimized and, most importantly, documented.

The labeling of a precast element with transponders results in a “smart element”, which provides for secure and efficient manufacturing processes but also inventory management and transport. The risk of inappropriate delivery or assembly can be significantly reduced, which does not only lead to cost reliability but also enhances the manufacturer’s reputation from the client’s point of view.

In own research projects, the prerequisites for the implementation of the options outlined above were determined. Initial tests of transponders in concrete showed correct reader operation at a distance of up to two meters. Even the attachment of RFID devices to metal surfaces or highly reinforced elements (**Fig. 5**) is no longer an obstacle to novel developments in the construction industry.

At the Department of Construction Management at Technische Universität Dresden, investigations into the “smart element” focus on the use of state-of-the-art developments in the UHF frequency range. Represented by the Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (Federal Office for Building and Regional Planning), the “Zukunft Bau” (Future in Construction) research initiative funds selected projects, such as the optimization of the place of installation and the analysis and discussion of data and data volumes to be stored. In addition, industry sponsors support ongoing research in this field.

Peter Jehle, Stefan Seyffert, Dresden

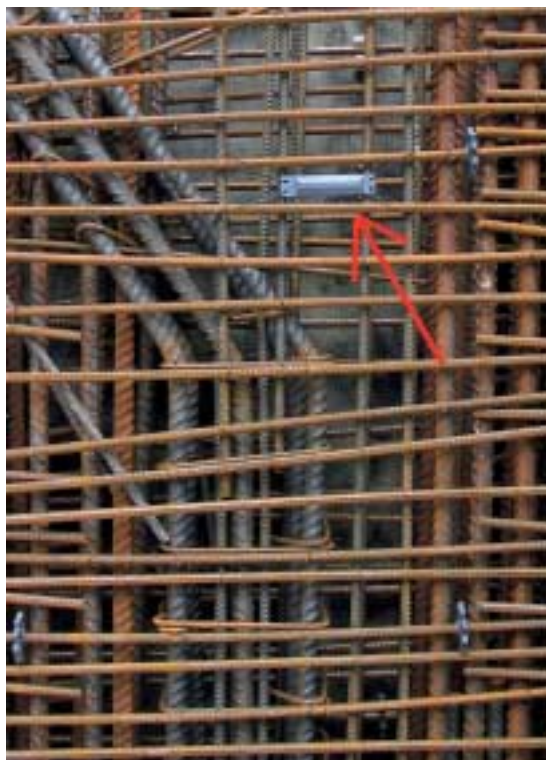


Fig. 5 Transponder attached to reinforcement.

Abb. 5 Transponder, an Bewehrung befestigt.

gestaltet. Die Risiken der Fehllieferungen und Fehlmontagen können deutlich reduziert werden, was nicht nur Kostensicherheit, sondern auch Imagezuwachs beim Auftraggeber bedeutet.

In eigenen Forschungsvorhaben konnten die Grundlagen zur Umsetzung der oben genannten Möglichkeiten definiert werden. Erste Einsätze einbetonierter Transponder haben Leserreichweiten bis zu 2,00 m Entfernung erlaubt. Montagen auf metallischen Untergründen oder in hoch bewehrten Bauteilen (**Abb. 5**) sind heute kein Hinderungsgrund mehr für Entwicklungen im Bauwesen.

Am Institut für Baubetriebswesen der Technischen Universität Dresden konzentrieren sich die Untersuchungen auf dem Gebiet des „Intelligenten Bauteils“ auf die Verwendung modernster Entwicklungen im UHF-Bereich. Die Forschungsinitiative „Zukunft Bau“, vertreten durch das Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung, fördert ausgewählte Schwerpunkte wie die Optimierung der Einbaustelle und die Analyse und Diskussion der zu speichernden Daten und Datenmengen. Darüber hinaus beteiligen sich Industriepartner an der Forschungsförderung.

Peter Jehle, Stefan Seyffert, Dresden