

Das intelligente Bauteil im integrierten Gebäudemodell – Pilotprojekt zur Anwendung der RFID-Technologie in Bauteilen

*Prof. Dr.-Ing. Peter Jehle, Dr.-Ing. Stefan Seyffert,
Dipl.-Ing. Steffi Wagner, Dipl.-Ing. Nikolai Michailenko
Professur für Bauverfahrenstechnik, Technische Universität Dresden*

Die Umsetzung der elektronischen Planungsdaten von Objekten in reale Objekte erfolgt durch Menschen, was regelmäßig zu Medienbrüchen führt. Diese sind mit hohen Datenverlusten in allen Lebenszyklen von Bauwerken verbunden, was wiederum erhebliche zusätzliche Kosten verursacht. Die Radio-Frequenz-Identifikation, kurz RFID, erlaubt als eine Schlüsseltechnologie die Datennutzung ohne Medienbruch. Die Verknüpfung der virtuellen Welt und der realen Welt durch diese Technologie ermöglicht die Bereitstellung aller notwendigen Informationen zur richtigen Zeit am richtigen Ort. Neben den Eigentümern, Betreibern und Nutzern von Bauwerken profitieren insbesondere auch die Bauunternehmen von dieser Informationsbereitstellung.

1 Grundlagen

Durch den Einsatz der RFID-Technologie (Radio-Frequenz-Identifikationstechnologie) werden die Prozesse der Lagerhaltung und Warenwirtschaft sowie der industriellen Herstellung von Gütern seit mehreren Jahren optimiert, wobei die Steigerung der Wirtschaftlichkeit sowie die Steigerung des Qualitätsniveaus die Chancen der Unternehmen im globalisierten Markt deutlich verbesserten.

Die konsequente und durchgängige Nutzung solcher Systeme im Bauwesen ist bisher nicht der Fall. Die ARGE-RFID im Bauwesen forscht seit 2007, um diese Technologie auch für das Bauwesen anwendbar zu machen. Dazu wurde ein Datenflussmodell entwickelt, welches das Weiterleiten großer Datenmengen innerhalb des Lebenszyklus eines Gebäudes medienbruchfrei gestaltet.

Der klassische Datenfluss in Verbindung mit einem Bauwerk, von der Errichtung über den Betrieb bis hin zum Abbruch, dargestellt in Abbildung 1, ist durch so genannte Medienbrüche geprägt. Bei diesen erfolgt eine permanente Umwandlung von digitalen Daten in analoge Daten und umgekehrt. Diese Wechsel sind fehleranfällig und regelmäßig mit Datenverlusten verbunden. Die Fehlerbehebung, aufwendige Bauwerksaufnahmen oder die Wiederbeschaffung der verlorenen Daten sind mit erheblichem zusätzlichem zeitlichem und finanziellem Aufwand verbunden.

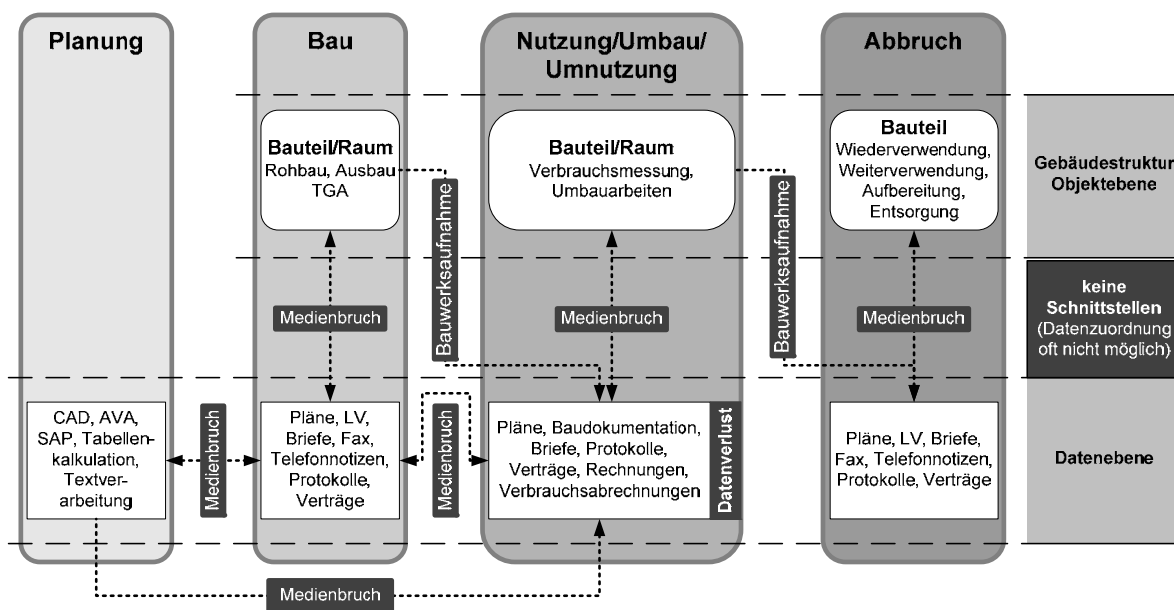


Abbildung 1: Klassischer Datenfluss

Durch die Nutzung moderner Kommunikationsmittel sowie von Projekträumen oder Projektplattformen im Internet lassen sich die Medienbrüche zwischen den einzelnen Lebenszyklen weitestgehend beheben. Die Medienbrüche zwischen der so genannten Datenebene (z.B. Projekträume) und der Objektebene (Bauwerk und Bauteile am Produktionsort) bleiben allerdings erhalten. Das Bindeglied zur Überwindung dieser Medienbrüche zwischen der Objektebene und der Datenebene ist die RFID-Technologie. Dazu sind alle raumbildenden und tragenden Bauteile, wie beispielsweise Wände, Stützen, Böden oder Decken mit Transpondern ausgestattet, die dann die Objektebene bilden. Die Abbildung 2 zeigt die Kommunikation mit diesen eingebauten Transpondern unter Zuhilfenahme eines Lesegerätes. Dieses Lesegerät korrespondiert dann mit der zentralen Datenablage, was der Datenebene entspricht.

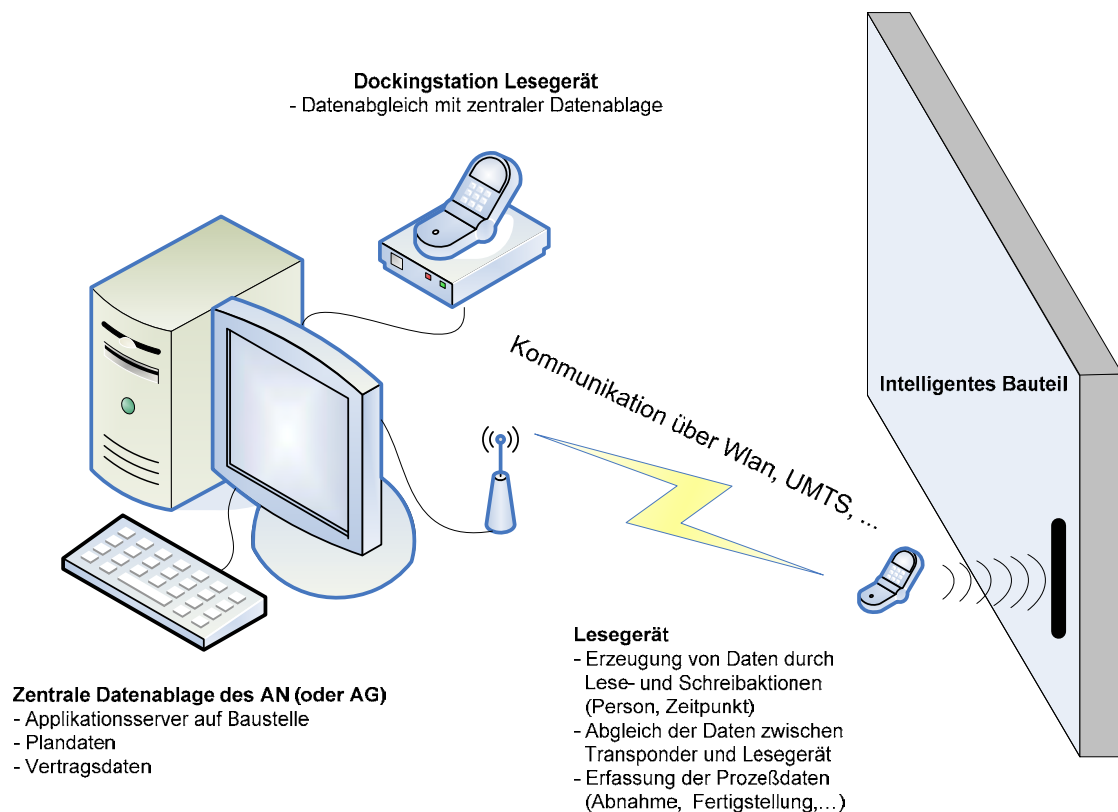


Abbildung 2: Datentransfer innerhalb eines semidezentralen Systems

Mit der Forschungsarbeit „IntelliBau 2“ konnten die theoretisch ermittelten Grundlagen aus der ersten Forschungsphase („IntelliBau 1“) in der Vorfertigung von Stahlbetonbauteilen und auf der Baustelle "Neubau des Ministeriums der Finanzen des Landes Brandenburg in Potsdam (LMdF)" erstmals unter Praxisbedingungen getestet und analysiert werden. Dabei war es wichtig, die in der ersten Phase unter Laborbedingungen entwickelten Vorgaben, wie Einbaustellen der Transponder, Lesereichweiten und das Anwendungsmodell [vgl. Jehle (2011)] unter realen Einflüssen zu prüfen und weiter zu entwickeln.

2 Vorfertigung

Beim Einsatz von RFID-Anwendungen in der Herstellung von Fertigteilen sind vor allem die folgenden Vorgaben von Bedeutung:

1. die Positionierung der Bauteiltransponder,
2. die Bauform sowie
3. die Lesereichweiten.

Die Positionierung der Bauteiltransponder ist für die Herstellung der Fertigteile kein Problem. Da die meisten Fertigteile liegend hergestellt werden, ist einer der beiden Transponder immer nach oben orientiert. Damit beide Transponder beim Verlassen

des Werkes die richtigen Daten enthalten, ist es wichtig, bei der Endkontrolle eine Synchronisation der Daten mit dem zentralen Rechner vorzunehmen. Die Bauform der am Markt verfügbaren Transponder ist prinzipiell akzeptabel. Eine flachere Form, wie sie der im Forschungsprojekt getestete Transponder-Prototyp von Harting aufweist, könnte mit entsprechender Befestigungstechnik den Einbau der Transponder vereinfachen. Die Lesereichweiten sind vom Hydratationsgrad des Betons abhängig. Somit sind im Fertigteilwerk oft nur geringere Lesereichweiten erzielbar, was aber für die Nutzung der RFID-Technologie kein Problem darstellt.

Im entwickelten Modell „Fertigteilwerk“ sind einem Bauteil neben den beiden einzubauenden Transpondern ein Schalungstransponder sowie ein Einbauteiletransponder zugeordnet. Die Untersuchungen zum Einsatz von stationär installierten Lesegeräten in den Produktionshallen haben gezeigt, dass diese nur in Verbindung mit der Schalungsherstellung und der Herstellung von Bewehrungskörben sinnvoll eingesetzt werden können. Dies eröffnet die Möglichkeit, am Fertigungsort automatisch zu überprüfen, ob die richtige Schalung, der richtige Bewehrungskorb und die richtige Kiste mit den Einbauteilen vorhanden sind. Der Einbau falscher Komponenten wird somit fast unmöglich.

Der Einsatz von fest installierten Lesegeräten bei der Schalungsherstellung und der Herstellung der Bewehrungskörbe ist technisch zwar möglich, aber nicht unbedingt erforderlich. Die Lesevorgänge sind üblicherweise an Kontrollprozesse geknüpft. Bevor beispielsweise die Freimeldung der Schalung erfolgen kann, muss diese kontrolliert werden. Dazu muss eine zuständige Person an die Schalung herantreten und diese kontrollieren. Dabei kann ein mobiles Lesegerät, ein sogenanntes Hand-Lesegerät, welches Leseentfernungen bis 1 m zulässt, genutzt werden.

Sobald das Bauteil mit Frischbeton befüllt wird, ist die Nutzung von stationären Lesegeräten nicht mehr möglich. Trotz des Anmachwassers im Frischbeton können Leseabstände von 25 cm bis 50 cm erreicht werden, was für die Nutzung von Hand-Lesegeräten ausreichend ist [vgl. Seyffert (2011)]. Wie eben beschrieben, gilt aber auch hier, dass die fertigen Bauteile von den Bearbeitern kontrolliert und abgenommen werden müssen. Dazu ist eine visuelle Kontrolle unumgänglich, wozu das Lesen und Beschreiben der Transponder mit geringen Leseabständen sehr förderlich ist.

Bei den Untersuchungen gelang der Nachweis, dass die RFID-Technologie in eine am Markt verfügbare Software zur Prozessplanung und -überwachung eingebunden werden kann und eine Datenverbindung zur Schalung, zum Bewehrungskorb und zum fertigen Bauteil aufzubauen ist. Erst mit den Leseereignissen und den daraus entstehenden Daten kann diese Software ihr ganzes Potenzial ausschöpfen. Dieses Potenzial wird aktuell nicht genutzt, da der manuelle Aufwand zur Datenpflege zu hoch ist, da aktuell Prozessschritte wie Freigaben, Fertigstellungsmeldungen etc. manuell durch das Ausfüllen von Formularen (wie dem Bauteiletikett, dem Bewehrungsetikett, der Produktionsliste oder dem Tagesbericht) erfolgen müssen.

Eine manuelle Datenpflege ist mit der RFID-Technologie jedoch nicht mehr notwendig. Es müssen lediglich die erforderlichen Lesevorgänge innerhalb der Produk-

tion vorgenommen werden. Diese Vorgänge sind jedoch immer in Verbindung mit Prozessschritten wie einer Fertigstellungsmeldung, einer Freigabe oder Abnahme verbunden. Das Protokollieren dieser Prozessschritte erfolgt dann nicht mehr manuell, sondern elektronisch über das Lesegerät. Es entstehen also keine zusätzlichen Vorgänge für die beteiligten Personen.

3 Hochbau in Ortbeton

Bei der Errichtung von Hochbauten wirken bereits vor der ersten Leistungserbringung vor Ort zahlreiche Beteiligte zusammen und entwickeln, je nach Fortschrittlichkeit der eingesetzten Werkzeuge, Informationen in einem mehr oder weniger integrativen Bauwerksmodell. Während der Ausführungsphase eines Projektes müssen diese digitalen und analogen Informationen zum Objekt transferiert und dort Prozess- und Materialinformationen zur Qualitätssicherung und Prozesssteuerung erhoben und anschließend weitergegeben werden. Dies erfolgt gerade am Objekt bisher fast ausschließlich mündlich oder analog in Papierform. Den Abschluss der Ausführungsphase bildet die Bauwerksdokumentation, die eine der wichtigsten Grundlagen für den Betrieb darstellt und deren Fortschreibung die Grundlage für die Verwertung sowie den Abbruch bilden sollte.

Für eine medienbruchfreie Kommunikation zwischen Daten- und Objektebene ist eine jederzeit valide Schnittstelle am Bauteil unabdingbar. Die unter Laborbedingungen ermittelten Messwerte und getroffenen Annahmen für die Anwendung der RFID-Technologie im Bauwerk wurden in dieser Forschungsphase unter Praxisbedingungen überprüft und verfeinert. So konnte während der Errichtungsphase im Rohbau und Grundausbau die erfolgreiche Installation des Systems durch den jeweiligen Einbau von mindestens zwei Transpondern in jedes Bauteil nachgewiesen werden. Die entwickelten Einbauvorschriften wurden anhand der praktischen Erfahrungen optimiert und erweitert, so dass diese auf andere übliche Hochbauten übertragen werden können.



Abbildung 3: Anwendung der RFID-Technologie während der Bauphase

Der Einbau der Transponder konnte bauwerksübergreifend mit geringstem Aufwand in den normalen Fertigungsprozess der Bauteile aus Stahlbeton, Mauerwerk und Trockenbau integriert werden. Die meist für die Logistik entwickelten am

Markt verfügbaren Transponder konnten mit ihrer Bauform gut in die Bauteile eingebaut werden. Die Ausfallrate infolge von Beschädigung oder Fehlinstallation wurde über die verschiedenen Phasen von der Erstinstallation der Transponder bis nach der Übergabe des Gebäudes an den Nutzer untersucht und stellt mit lediglich 2,17 % der Transponder ein sehr positives Ergebnis dar. Aufgrund der Nutzung der Datenspeicher in den Bauteilen während der Errichtung und der Möglichkeit, in dieser Phase mit geringem Aufwand fehlerhafte Transponder zu ersetzen, kann von der sehr guten Validität eines zu installierenden Systems ausgegangen werden, da nach dem erfolgreichem Einbau der Transponder kein weiterer Ausfall der Transponder mehr festgestellt werden konnte.

Selbst mit den heute verfügbaren Komponenten, die nicht für das Bauwesen entwickelt worden sind, kann somit der Einsatz auf der Baustelle sichergestellt werden. Die momentane Entwicklungsrichtung der Transponderhersteller zu immer größeren Speicherkapazitäten und energieeffizienteren Mikroprozessoren, die durch eine geringere Stromaufnahme höhere Reichweite erzielen, erleichtert zukünftig auch in derzeit noch schwierigen Anwendungsfällen den Einsatz von Bauteiltranspondern.

In der Anwendung erweist sich das System von Bauteiltranspondern und Lesegeräten im Zusammenhang mit den normalen operativen Aufgaben der Bauausführung und des Gebäudebetriebes vor Ort als praktikabel. Hauptsächlich beeinflusst durch den Aufbau und die Materialien der Bauteile konnten in der Regel Lesereichweiten zwischen einem halben und zwei Metern auf der Baustelle erzielt und die Transponder überwiegend beim ersten Leseversuch ausgelesen werden. Für die einzelnen Anwendungsszenarien wurden akzeptable durchschnittliche Aufwandszeiten ermittelt. So konnten als Durchschnittswerte beispielsweise für das Auslesen der Transponder 13,1 Sekunden, für das Beschreiben 22,4 Sekunden und für das Bearbeiten von Bauteilinformationen innerhalb eines Programmes 48 Sekunden bestimmt werden. Durch die digitale Speicherung und die damit mögliche Auswertung werden diese Aufwendungen durch die sonst notwendige manuelle Erfassung und das Einpflegen in EDV-Systeme oder Ablagen mehr als aufgehoben.

Im Bereich der Lesegeräte wurden Geräte sowohl für den mobilen Einsatz aus dem Logistikbereich als auch ein selbst entwickelter Prototyp getestet. Dieser Prototyp besteht aus einem Tablet-PC, der mit einem Lesegerät gekoppelt wurde. Die Anbindung des Lesegerätes erfolgt per Bluetooth. Der Einsatz des Tablet-PCs kann wie bei einem vollwertigen Notebook erfolgen. Durch installierte Anwendersoftware konnten Daten direkt auf dem Gerät vor Ort ausgewertet und bearbeitet werden. Nachteilig war das hohe Gewicht und die großen Abmessungen des Prototypen. Hier sind die mobilen Lesegeräte deutlich im Vorteil. Aus der Nachfragesituation, beispielsweise auch aus dem Gesundheitswesen, können aber Leistungssteigerungen der verfügbaren Lese- und Anwendungsgeräte beobachtet werden.

Momentan stellt für die vollständige Nutzbarkeit des „Intelligenten Bauteils“ der Dateninput eine Einstiegshürde dar. Aufgrund fehlender Schnittstellendefinition können Anwendungen nicht automatisiert kommunizieren. Durch fehlende Transferprotokolle und Datendefinitionen entlang der Informationskette, vom Planer und

Materialproduzenten bis hin zum Bauteil, besteht ein mehrfacher Bruch. Dieser Bruch ist durch eine einheitliche Festlegung zu überwinden, so dass alle am Gebäude Wirkenden von der detaillierten und sicheren Kommunikationsmöglichkeit am Bauteil und den damit verbundenen Informationen profitieren können. Die erforderliche Integration und Definition der Schnittstellen von tangierenden Anwendungen und Beteiligten ist Ziel einer abschließenden, beantragten Forschungsphase.

4 Anwendungsszenarien in der Nutzungsphase

Hinsichtlich der Anwendungsmöglichkeiten in der Nutzungsphase von Gebäuden gibt es ein breites Spektrum von Szenarien. Dabei kann die RFID-Technologie von allen Nutzergruppen eines Gebäudes vom Betreiber bis zum Mieter genutzt werden.

Im Facility Management kann die RFID-Technologie z. B. dazu verwendet werden, dass Mängelmanagement in der Gewährleistungsphase zu unterstützen. Da in jedem Bauteil Informationen über Materialien und ausführendes Unternehmen hinterlegt sind, lässt sich schnell und einfach die Gewährleistungspflicht des Erstellers in Anspruch nehmen. Zudem können die sich aus der Mängelbeseitigung ergebenden verlängerten Fristen für die Gewährleistung bauteilgenau verwaltet werden. Parallel dazu werden alle Daten in den Bauteilen stets aktualisiert.

Eine andere mögliche Anwendung ist die Unterstützung von Rettungskräften im Einsatz. Neben kontextbezogenen Informationen zum Objekt werden die Rettungskräfte über die RFID-Transponder und deren Position im Bauwerk zum Einsatzort navigiert.

Weitere vorgestellte Szenarien sind Anwendungen zur Unterstützung der Instandhaltung und Wartung, zum Structural-Health-Management von Gebäuden (Gebäudezustandsüberwachung), Anwendungspotenziale für den Gebäudenutzer und Einsatzmöglichkeiten im Zusammenhang mit gebäudebezogenen Dienstleistungen.

Voraussetzung für die vorgestellten Anwendungsszenarien ist jedoch, dass die Transponder bereits in der Bauphase integriert und die Informationen fortlaufend dokumentiert und aktualisiert wurden.

5 Personelle und monetäre Auswirkungen in der Bauphase

Während der Untersuchungen im Pilotprojekt konnte baubegleitend die Erfassung von Einbauzeiten und weiteren Prozessen (z. B. Vorbereitungen zum Einbau und Planungsaufwand) erfolgen. Diese Erfassung bildet die Grundlage für die Beurteilung des Aufwandes für den Einbau der Transponder, also die Integration der RFID-Technologie in den Bauprozess.

Der Aufwand für den Einbau der Transponder in verschiedene Bauteile hat sich in Bezug auf den zeitlichen Aufwand als verschwindend gering erwiesen. Bei den meisten Baustoffen kann er ohne zusätzlichen Aufwand in die regulären Prozesse

eingebunden werden. Der Vergleich der ermittelten Einbaudauern mit dem Gesamtaufwand des Bauvorhabens zeigt, dass der Anteil der Einbauten nur 0,28 % beträgt. Dies ist ein zu vernachlässigender Anteil an der Bauzeit, wenn dadurch andere Prozesse deutlich optimiert werden können.

Der Planungsaufwand lag im Pilotprojekt LMdF Potsdam bei einigen Stunden, die jedoch, bezogen auf die Gesamtbauzeit, nicht ins Gewicht fallen. Die Zeit, die für die Transponderplanung erforderlich war, kann durch verschiedene Entwicklungen in der Bauwerksplanung (Makros, objektorientierte Planung o. ä.) weiter reduziert werden.

In einer beispielhaften Berechnung unter Berücksichtigung verschiedener projektspezifischer Eigenheiten konnte abschließend ein Vergleich zwischen Kosten des RFID-Systems und dem zu erwartenden Nutzen abgeschätzt werden. Dabei zeigte sich, dass der Nutzen deutlich über den Kosten für den Einbau und den Unterhalt des Systems liegt.

Auch wenn der Nutzen des Gesamtsystems an dieser Stelle auf Grund von noch nicht ausreichend entwickelter Hard- und Software nur anhand von ausgewählten Annahmen möglich war, ist doch erkennbar, dass nach der Einführung eines Komplettsystems und einer gewissen Startphase die Investitionskosten schnell amortisiert und weitere Einsparungen erzielt werden können. Zudem ist die enorme Steigerung in der Qualität der vorhandenen Daten für alle Geschäftsbereiche im Bauwesen und im anschließenden Betrieb der Gebäude ein Zugewinn.

Literatur

Jehle (2011): Jehle, Peter ; Seyffert, Stefan ; Wagner, Steffi: IntelliBau : Anwendbarkeit der RFID-Technologie im Bauwesen. 1. Aufl. Wiesbaden : Vieweg + Teubner; Vieweg+Teubner Verlag / Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH Wiesbaden, 2011 (Vieweg + Teubner Research, Schriften zur Bauverfahrenstechnik). - ISBN 978-3-8348-1468-5

Seyffert (2011): Seyffert, Stefan: Optimierungspotenzial im Lebenszyklus eines Gebäudes. 1. Aufl. Wiesbaden : Vieweg+Teubner Verlag / Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH Wiesbaden, 2011 (Vieweg + Teubner Wissenschaft). - ISBN 978-3-8348-1639-9