

BIM- und IoT-basierte Rückverfolgbarkeit von Bauprodukten



Online-Publikation 06/2025 von:
Anica Meins-Becker; Andree Berg, Agnes Kelm, Mohannad Esmail



BERGISCHE
UNIVERSITÄT
WUPPERTAL

Lehr- und Forschungsgebiet
Digitales Planen, Bauen und
Betreiben
DPBB

Entwicklung eines Gesamtkonzepts unter Nutzung eineindeutiger Kennzeichnungssysteme, BIM und IoT für eine medienbruchfreie, digitale Datenverfügbarkeit für die Bauindustrie.

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wohnen, Stadtentwicklung
und Bauwesen

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



Bundesinstitut
für Bau-, Stadt- und
Raumforschung
im Bundesamt für Bauwesen
und Raumordnung



Dieses Projekt wurde gefördert vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Auftrag des Bundesministeriums für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (BMWSB) aus Mitteln des Innovationsprogramms Zukunft Bau.

Aktenzeichen: 10.08.18.7-22.17

Projektlaufzeit: 01.2023 bis 06.2025

IMPRESSUM

Autorinnen und Autoren

*Lehr- und Forschungsgebiet Digitales Planen, Bauen und Betreiben (DPBB), Fakultät Architektur und Bauingenieurwesen, Wuppertal
Ehemals Institut für das Management digitaler Prozesse in der Bau- und Immobilienwirtschaft / BIM-Institut, Wuppertal*

Univ.-Prof. Dr.-Ing.-habil. Dipl.-Wirt.-Ing. Anica Meins-Becker (Projektleitung)

a.meins-becker@uni-wuppertal.de

Andree Berg, Dipl. Ök.

a.berg@uni-wuppertal.de

Agnes Kelm, M.Sc.

kelm@uni-wuppertal.de

Mohannad Esmail, M.Sc.

esmail@uni-wuppertal.de

Redaktion

*Lehr- und Forschungsgebiet Digitales Planen, Bauen und Betreiben (DPBB), Fakultät Architektur und Bauingenieurwesen, Wuppertal
Ehemals Institut für das Management digitaler Prozesse in der Bau- und Immobilienwirtschaft / BIM-Institut, Wuppertal*

Univ.-Prof. Dr.-Ing.-habil. Dipl.-Wirt.-Ing. Anica Meins-Becker

Andree Berg, Dipl. Ök.

Agnes Kelm, M.Sc.

Mohannad Esmail, M.Sc.

Stand

Juni 2025

Gestaltung

*Lehr- und Forschungsgebiet Digitales Planen, Bauen und Betreiben (DPBB), Fakultät Architektur und Bauingenieurwesen, Wuppertal
Ehemals Institut für das Management digitaler Prozesse in der Bau- und Immobilienwirtschaft / BIM-Institut, Wuppertal*

Vervielfältigung

Alle Rechte vorbehalten

Der Herausgeber übernimmt keine Gewähr für die Richtigkeit, die Genauigkeit und Vollständigkeit der Angaben sowie für die Beachtung privater Rechte Dritter. Die geäußerten Ansichten und Meinungen müssen nicht mit denen des Herausgebers übereinstimmen.

Zitierweise

Meins-Becker, Anica; Berg, Andree; Kelm, Agnes; Esmail, Mohannad; 2025: BIM und IoT-basierte Rückverfolgbarkeit von Bauprodukten. Online-Publikation 06/2025, Wuppertal. DOI: 10.25926/BUW/0-890

VORWORT



Liebe Leserinnen und Leser,

mit diesem Bericht liegt ein Beitrag vor, der sich intensiv mit der Anwendung des Electronic Product Code Information Services (EPCIS)-Standards im Bauwesen auseinandersetzt. Dabei handelt es sich um einen international anerkannten Industrie-Standard zur Rückverfolgbarkeit von Produkten und Prozessen, der Tracking und Tracing entlang von Lieferketten ermöglicht und in anderen Branchen bereits erfolgreich eingesetzt wird. EPCIS erlaubt die strukturierte Erfassung und den Austausch von Informationen über den gesamten Lebenszyklus von Gütern hinweg. Der detaillierte Aufbau sowie die konkrete Anwendung des Standards werden im vorliegenden Forschungsbericht erläutert.

Das Thema gewinnt zunehmend auch im Bauwesen an Bedeutung, da die digitale Nachverfolgbarkeit von Bauprodukten nicht nur Transparenz schafft, sondern auch neue Möglichkeiten für Qualitätssicherung, Ressourceneffizienz und Nachhaltigkeit eröffnet.

Die Forschungsarbeit basiert auf einer Kombination aus theoretischer Forschung und einem praxisnahen Demonstrator, die gemeinsam den Umgang mit dem EPCIS-Standard in realen Bauprojekten aufzeigen. Der Demonstrator steht über das Projektende hinaus als modulare Test- und Entwicklungsumgebung im BIM-Labor der Bergischen Universität Wuppertal jederzeit internen und externen Interessierten zur Verfügung und kann bei Bedarf funktional erweitert werden.

Wir danken allen Projektpartnern, Unternehmen, Expertinnen und Experten, die mit ihrer Erfahrung und Anregungen so wie der Bereitstellung ihrer Daten wesentlich zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben. Ihre Unterstützung hat es ermöglicht, die Inhalte anschaulich aufzubereiten und konkrete Umsetzungsbeispiele darzustellen.

Wir wünschen Ihnen eine erkenntnisreiche Lektüre

Univ.-Prof. Dr.-Ing.-habil. Dipl.-Wirt.-Ing. Anica Meins-Becker

Inhaltsverzeichnis

1. Kurzfassung	8
2. Abstract	10
3. Ausgangssituation	12
4. Problemstellung	13
4.1 Herausforderungen	13
4.2 Forschungslücke	13
4.3 Entwicklungsbedarf	14
5. Zielstellung	15
5.1 Projektziele	15
5.2 Übergeordnete Ziele	16
6. Methodisches Vorgehen	17
6.1 Arbeitshypothesen	17
6.2 Methodischer Aufbau	17
6.2.1 Praktische Vorerfahrungen und methodischer Ausgangspunkt	17
6.2.2 Analyse bestehender Standards und Datenmodellierung	18
6.2.3 Use-Case-Analyse & Entwicklung praxisnaher Szenarien	18
6.2.4 Konzeptentwicklung & Prototyping	18
6.2.5 Validierung des Konzepts mit Partnern	18
6.2.6 Evaluation & Weiterentwicklung	19
6.3 Projektteam	19
6.4 Arbeitspakete und Meilensteine	20
6.5 Projektorganisation	22
7. Durchführung und methodische Umsetzung des Forschungsvorhabens	24
7.1 Arbeitspaket 1: Analyse des GS1 Kennzeichnungssystems	24
7.1.1 Ziel des Arbeitspakets	24
7.1.2 Durchführung	25
7.1.3 Ergebnisse	30
7.1.4 Meilenstein 1	32
7.2 Arbeitspaket 2: Analyse des Kennzeichnungssystems der Objekte in den Bauwerksinformationsmodellen aus der Planung	33
7.2.1 Ziel des Arbeitspaket	34

7.2.2 Durchführung	34
7.2.3 Ergebnisse	34
7.2.4 Meilenstein 2	36
7.3 Arbeitspaket 3: Entwicklung eines BIM und IoT-basierten Konzepts für die Bauproduktrückverfolgbarkeit	38
7.3.1 Ziel des Arbeitspakets	38
7.3.2 Durchführung	39
7.3.3 Ergebnisse	57
7.3.4 Meilenstein 3	89
7.4 Arbeitspaket 4: Analyse weiterer BIM-Anwendungsfälle zur Nutzung des entwickelten Konzepts	92
7.4.1 Ziel des Arbeitspaket	92
7.4.2 Durchführung	93
7.4.3 Ergebnisse	96
7.5 Arbeitspaket 5: Entwicklung eines Demonstrators	107
7.5.1 Ziel des Arbeitspaket	107
7.5.2 Durchführung	107
7.5.3 Ergebnisse	107
7.5.4 Meilenstein 4	109
7.6 Arbeitspaket 6: – Dokumentation der Ergebnisse	110
7.6.1 Ziel des Arbeitspaket	110
7.6.2 Durchführung	110
7.6.3 Ergebnisse	110
7.6.4 Änderungen im Rahmen des Projektverlaufs	111
7.6.5 Einordnung der Arbeitshypothesen anhand der Projektergebnisse	111
8. Fazit und Ausblick	112
8.1. Eindeutige Kennzeichnungen	112
8.2. Globale Rückverfolgbarkeits-Standard für ein skalierbares Tracking & Tracing	112
8.3. Datenmanagement	113
8.4. Technische IT-Architektur	114
8.5. Demonstratoren	114
8.6. Umsetzung des Konzepts in weiteren BIM-Anwendungsfällen	115
8.7. Normen, Standards und rechtliche Rahmenbedingungen	115
8.8. Erfolgsfaktoren für die praktische Umsetzung	116
8.9. Forschungslücke und zukünftiger Handlungsbedarf	117

9. Literaturverzeichnis	119
10. Abbildungsverzeichnis	122
11. Tabellenverzeichnis	125
12. Abkürzungsverzeichnis	126
13. Anlagen	127

1. Kurzfassung

Die Digitalisierung von Bauproduktdaten, bestehend aus Informationen zu Bauprodukten und ihren Materialien, stellt eine essenzielle Voraussetzung für die Automatisierung und den transparenten Austausch baubezogener Informationen dar. Durch die Ablösung papierbasierter, fragmentierter Prozesse ermöglicht sie eine verbesserte Ressourceneffizienz durch optimierte Verarbeitung, Nutzung und Vernetzung dieser Daten. Vor dem Hintergrund zunehmender Ressourcenknappheit und steigender Anforderungen an Nachhaltigkeit gewinnt die durchgängige Rückverfolgbarkeit von Bauproduktdaten über den gesamten Lebenszyklus – von der Planung bis zum Rückbau – an Bedeutung.

Gebäude lassen sich dabei als Rohstofflager verstehen, deren Potenziale für Wiederverwendung und Recycling durch digitale Rückverfolgbarkeit sichtbar und nutzbar gemacht werden können. Die daraus resultierende Transparenz bildet die Grundlage zur Umsetzung ökologischer und ökonomischer Zielsetzungen sowie zur Erfüllung gesetzlicher Vorgaben im Sinne einer zirkulären Bauwirtschaft.

Die Transformation hin zu digital vernetzten Workflows ist jedoch mit erheblichen Herausforderungen verbunden. Dazu zählt insbesondere der Mangel an durchgängigen Datenflüssen, isolierte IT-Systeme und unzureichende Kenntnis über bestehende Standards und Technologien. In komplexen Bauprojekten führt diese Fragmentierung häufig zu Ineffizienzen, Verzögerungen und Fehlplanungen. Eine vollständige, digitale Dokumentation der Bauproduktdaten über den gesamten Lebenszyklus hinweg ist bislang nicht realisiert. Die vorliegenden Forschungsarbeiten adressieren diese Defizite und entwickeln Konzepte für eine konsistente, standardbasierte Rückverfolgbarkeit als Grundlage für zukunftsfähiges Bauen.

Das Forschungsprojekt zielt darauf ab, hierfür ein Konzept zu entwickeln, das mittels BIM (Building Information Modeling) [1], IoT (Internet of Things) [2] und eineindeutigen Kennzeichnungssystemen eine medienbruchfreie, digitale Datenverfügbarkeit sicherstellt. Dabei wird insbesondere untersucht, ob und wie der EPCIS-Standard (Electronic Product Code Information Services) [3] aus der Konsumgüterindustrie auf alle wesentlichen Akteure der Bauindustrie übertragbar ist. Im Projekt lag der Fokus auf Herstellern, Planern und Bauunternehmen, ohne dabei die grundsätzliche Anwendbarkeit auf weitere Akteure der Bauindustrie auszuschließen. Die Umsetzbarkeit des Konzepts wurde anhand konkreter Anwendungsfälle validiert.

Der ursprünglich im Projekttitel genannte Zusatz „**umgesetzt am Anwendungsfall der Bauprodukt-rückverfolgbarkeit**“ wurde gestrichen, da sich die Rückverfolgbarkeit im Projektverlauf nicht als einzelner Anwendungsfall, sondern als methodischer Kern des Konzepts herausgestellt hat.

Zur Erreichung des Forschungsziels wurde ein mehrstufiges methodisches Vorgehen gewählt. In einem ersten Schritt erfolgte eine systematische Analyse bestehender Identifikationssysteme und Standards für die Rückverfolgbarkeit hinsichtlich ihrer Übertragbarkeit auf die Bauindustrie. Im Zentrum stand die Evaluation des EPCIS-Standards im Hinblick auf seine Eignung zur digitalen Rückverfolgbarkeit von Bauprodukten.

Die empirische Datenerhebung erfolgte entlang eines realen Produktions- und Einbauprozesses am Beispiel eines Fensterbauteils – beginnend beim Aluminium-Rohmaterial über die Herstellung von Fensterprofilen, deren Zusammenbau und Einbau in Betonfertigteilwände bis hin zur finalen Installation im Gebäude. Ergänzend wurden qualitative Methoden eingesetzt: Prozessbeobachtungen und strukturierte Erhebungen vor Ort bei Industriepartnern, Online-Workshops zur Analyse bestehender

Ist-Prozesse sowie zur partizipativen Entwicklung künftiger Soll-Prozesse, Experteninterviews zur Anforderungserhebung sowie Validierungsschritte in Zusammenarbeit mit Praxispartnern.

Dieses methodische Design ermöglichte eine ganzheitliche Erfassung technischer, organisatorischer und informationstechnischer Aspekte entlang der Wertschöpfungskette.

Zur Validierung des entwickelten Konzepts wurden drei Anwendungsfälle zur Rückverfolgbarkeit entwickelt. Diese zeigen das Potenzial der digitalen Rückverfolgbarkeit auf und bestätigen die Praxistauglichkeit.

1. Nachweis der Rückruf-Readiness

Dieser Anwendungsfall adressiert Szenarien, in denen Bauprodukte aufgrund sicherheitsrelevanter Mängel zurückgerufen werden müssen – auch nach Abschluss der Bauphase. Ziel ist der Nachweis, dass alle erforderlichen Informationen standardisiert erfasst und verfügbar sind, um eine digitale Rückrufbereitschaft zu gewährleisten. Das im Projekt entwickelte Rückverfolgbarkeitssystem ermöglicht es Herstellern, den Verbleib ihrer Bauprodukte im Gebäude nachzuvollziehen und rückrufrelevante Daten gezielt bereitzustellen.

2. Bereitstellung von Daten zu eingebauten Bauprodukten für die Kreislaufwirtschaft

Dieser Anwendungsfall bezieht sich auf die Rückbauphase von Bauprojekten. Er nutzt die Informationen, die mit der digitalen Darstellung der erfassten Bauobjekte (z. B. Aluprofile in Fenstern) verknüpft sind, und überträgt sie an eine Kreislaufwirtschaftsplattform wie z.B. Madaster. Ziel ist es, Bauprodukte für die Wiederverwendung oder das Recycling bereitzustellen.

3. Dokumentation der Wartung für die Gewährleistung

Dieser Anwendungsfall betrifft die Betriebsphase eines Gebäudes. Dabei werden Informationen zum Gebäude (Gebäudestammdaten), zu technischen Anlagen (z. B. Heizungsanlage) und aus Wartungsverträgen erfasst und mit einem digitalen Wartungsbericht verknüpft. Dadurch wird sichergestellt, dass die Wartung als Nachweis für die vertraglich vereinbarten und durchgeführten Maßnahmen digital nachverfolgt werden kann.

Zur Validierung des Konzepts wurde ein Demonstrator entwickelt, mit dem alle Prozessschritte vom Rohmaterial bis zum eingebauten Bauprodukt modellhaft nachgebildet wurden. Die verwendete GS1 Workbench und der epcat-Server ermöglichen eine standardkonforme Erfassung, Übertragung und Abfrage aller relevanten Ereignis-Daten. So konnte die Funktionsfähigkeit des Konzepts unter realen Bedingungen demonstriert werden.

Mit dem entwickelten Konzept zur digitalen Rückverfolgbarkeit wird die systematische Erfassung und Verfügbarkeit von Bauproduktdaten realisiert – ein entscheidender Schritt zur Effizienzsteigerung, Qualitätssicherung und Nachhaltigkeit im Bauwesen. Digitale Daten werden damit zum strategischen Faktor für die Baupraxis der Zukunft.

2. Abstract

The digitalization of construction product data, consisting of information on construction products and their materials, is an essential prerequisite for the automation and transparent exchange of construction-related information. By replacing paper-based, fragmented processes, it enables improved resource efficiency through optimized processing, use and networking of this data. Against the backdrop of increasing resource scarcity and rising sustainability requirements, the end-to-end traceability of construction product data across the entire life cycle - from planning to dismantling - is becoming increasingly important.

Buildings can be seen as urban raw material stores whose potential for reuse and recycling can be made visible and usable through digital traceability. The resulting transparency forms the basis for the implementation of ecological and economic objectives and the fulfillment of legal requirements in the sense of a circular construction industry.

However, the transformation to digitally networked workflows is associated with considerable challenges. These include, in particular, the lack of consistent data flows, isolated IT systems and insufficient knowledge of existing standards and technologies. In complex construction projects, this fragmentation often leads to inefficiencies, delays and planning errors. Complete, digital documentation of construction product data across the entire life cycle has not yet been realized. This research addresses these deficits and develops concepts for consistent, standards-based traceability as the basis for sustainable construction.

The research project aims to develop a concept for this that uses BIM (Building Information Modeling) [1], IoT (Internet of Things) [2] and unambiguous identification systems to ensure digital data availability without media discontinuity. In particular, the project investigates whether and how the EPCIS standard (Electronic Product Code Information Services) [3] from the consumer goods industry can be transferred to all key players in the construction industry. The project focuses on manufacturers, planners and construction companies, without excluding the fundamental applicability to other players in the construction industry. The feasibility of the concept was validated on the basis of specific use cases.

The addition “**implemented in the use case of construction product traceability**” originally mentioned in the project title was deleted, as traceability proved to be the methodological core of the concept rather than an individual use case during the course of the project.

A multi-stage methodological approach was chosen to achieve the research objective. The first step involved a systematic analysis of existing identification systems and traceability standards with regard to their transferability to the construction industry. The focus was on evaluating the EPCIS standard with regard to its suitability for the digital traceability of construction products.

The empirical data collection was carried out along a real production and installation process - starting with the aluminum raw material through the production of window profiles, their assembly and installation in precast concrete walls to the final installation in the building. Qualitative methods were also used: process observations and structured surveys on site with industry partners, online workshops to analyze existing actual processes and for the participatory development of future target processes, expert interviews to determine requirements and validation steps in cooperation with practice partners.

This methodical design enabled the comprehensive recording of technical, organizational and information technology aspects along the value chain.

1. proof of recall readiness

This use case addresses scenarios in which construction products have to be recalled due to safety-relevant defects - even after the construction phase has been completed. The aim is to prove that all necessary information is recorded and available in a standardized manner in order to ensure digital recall readiness. The traceability system developed in the project enables manufacturers to track the whereabouts of their construction products in the building and provide recall-relevant data in a targeted manner.

2. provision of data on installed construction products for the circular economy

This use case relates to the dismantling phase of construction projects. It uses the information linked to the digital representation of the recorded building objects (e.g. aluminum profiles in windows) and transfers it to a circular economy platform such as Madaster. The aim is to make building products available for reuse or recycling.

3. documentation of maintenance for the warranty

This use case relates to the operating phase of a building. Information about the building (building master data), technical systems (e.g. heating system) and maintenance contracts is recorded and linked to a digital maintenance report. This ensures that maintenance can be digitally tracked as proof of the contractually agreed and implemented measures.

To validate the concept, a demonstrator was developed with which all process steps from the raw material to the installed construction product were modeled. The GS1-Workbench that was used and the epcat-server made it possible to record, transfer and query all relevant event data in accordance with the standard. This enabled the functionality of the concept to be demonstrated under real conditions.

The concept developed for digital traceability enables the systematic recording and availability of construction product data - a decisive step towards increasing efficiency, quality assurance and sustainability in the construction industry. Digital data is thus becoming a strategic factor for the construction practice of the future.

3. Ausgangssituation

In zahlreichen Branchen, wie der Logistik, dem Gesundheitswesen, dem Einzelhandel oder der Automobilindustrie, sind Konzepte zur Datendurchgängigkeit und der damit ermöglichten Produktrückverfolgbarkeit entlang der Informationslieferkette erfolgreich etabliert. Diese Konzepte ermöglichen eine nahtlose Überwachung und Rückverfolgbarkeit von Produkten vom Hersteller bis hin zum Endverbraucher.

Auch in der Bau- und Immobilienwirtschaft gibt es erste Ansätze zur Rückverfolgbarkeit von Bauprodukten. Seit Jahren wird die Übertragbarkeit solcher Konzepte untersucht, und verschiedene Teilansätze finden bereits praktische Anwendung. Dennoch bestehen weiterhin Herausforderungen, insbesondere in offenen Lieferketten mit wechselnden Akteuren, was oft beim Übergang zum Endkunden, also den ausführenden Unternehmen oder dem Bauherrn, endet.

Gleichzeitig eröffnet die digitale Rückverfolgbarkeit von Bauprodukten eine neue Perspektive für Nachhaltigkeit und Kreislaufwirtschaft. Nach dem Prinzip „**Jedes Gebäude ist ein Baumarkt voller Ressourcen**“ bildet eine durchgehende Dokumentation von Bauproduktdaten – bestehend aus Informationen zu Bauprodukten und ihren Materialien – die Grundlage für Wiederverwendung und effizientes Recycling. Dies führt nicht nur zu wirtschaftlichen Vorteilen, sondern unterstützt auch ökologische Ziele und regulatorische Anforderungen.

Internationale und europäische Regelwerke wie die Agenda 2030 der Vereinten Nationen [4], der EU Green Deal [5] oder der Digitale Produktpass (DPP) [6] als ein Instrument des European Green Deals, setzen strengere Anforderungen an Unternehmen, um Nachhaltigkeit und Transparenz entlang der Lieferkette sicherzustellen. Der DPP soll Unternehmen und Verbraucher zu nachhaltigeren Entscheidungen anregen, indem er die Transparenz über den gesamten Produktlebenszyklus erhöht und Ressourcenverschwendungen reduziert. Obwohl diese Regelwerke keine spezifische technische Umsetzung vorschreiben, verdeutlichen sie die wachsende Bedeutung digitaler Rückverfolgbarkeitssysteme in der Bauwirtschaft.

In diesem Kontext gewinnen digitale Bauproduktdaten an Bedeutung. Sie bilden eine zentrale Dateneinheit, die durch ihre Digitalisierung den automatisierten elektronischen Datenaustausch ermöglicht. Dies ersetzt intransparente, papierbasierte Prozesse und schafft die Grundlage für eine effiziente Ressourcennutzung sowie eine optimierte Verarbeitung und Vernetzung dieser Daten.

4. Problemstellung

Obwohl erste Ansätze zur digitalen Rückverfolgbarkeit von Bauprodukten existieren, steht die Bau- und Immobilienwirtschaft weiterhin vor zentralen Herausforderungen.

4.1 Herausforderungen

Technische Herausforderungen

- **Interoperabilität:** Viele Unternehmen verwenden proprietäre Systeme und uneinheitliche Datenformate, was eine nahtlose Integration in übergreifende digitale Infrastrukturen erschwert.
- **Datenmanagement:** Die Verwaltung großer Datenmengen erfordert robuste Systeme, die sowohl die Datenqualität als auch die Sicherheit gewährleisteten.
- **Standardisierung:** Einheitliche Standards zur Identifikation und Kennzeichnung von Bauprodukten sowie für die Erfassung, Verarbeitung und Speicherung von Daten sind notwendig.

Organisatorische Herausforderungen

- **Offene und fragmentierte Lieferketten:** Bauprojekte sind durch wechselnde Akteure und komplexe Wertschöpfungsketten geprägt. Dies führt zu lückenhaften Dokumentationen und erhöht das Risiko von Informationsverlusten beim Übergang zwischen Planern, Lieferanten, Bauunternehmen und Bauherren.
- **Kollaboration und Kommunikation:** Eine effektive Zusammenarbeit und Kommunikation zwischen allen Projektbeteiligten ist essenziell, um Datenbrüche zu vermeiden und eine durchgängige Rückverfolgbarkeit zu ermöglichen.
- **Änderungsmanagement:** Die Einführung neuer Technologien und Prozesse setzt eine hohe Akzeptanz und Engagement aller Beteiligten voraus.

Regulatorische Anforderungen

- **Echtzeit-Transparenz:** Die Identifikation und Nachverfolgung von Bauproduktdaten erfolgt oft nur auf Basis statischer Dokumentationen, wodurch wichtige Prozessinformationen – z.B. der tatsächliche Einbau oder Veränderungen während der Bauphase – unzureichend dokumentiert sind.
- **Nachhaltigkeitsanforderungen und gesetzliche Vorgaben:** Die zunehmenden regulatorischen Anforderungen verlangen eine lückenlose Dokumentation über die Herkunft, Nutzung und Entsorgung von Bauprodukten. Ohne eine digitale Lösung wird die Einhaltung dieser Vorschriften für Unternehmen zunehmend aufwendig und ressourcenintensiv.

Diese Herausforderungen verdeutlichen den Bedarf an einer standardisierten und technologiegestützten Lösung für die Bauprodukt-Rückverfolgbarkeit. Im Rahmen des Forschungsprojekts wurde daher ein Konzept entwickelt, das digitale Ansätze nutzt, um diese Herausforderungen sukzessive zu lösen.

4.2 Forschungslücke

In der Bauindustrie existiert bislang kein durchgängiges, standardisiertes System zur lückenlosen Rückverfolgbarkeit von Bauprodukten über ihren gesamten Lebenszyklus hinweg. Während in anderen Branchen (z. B. Logistik, Gesundheitswesen, Einzelhandel, Automobilindustrie) etablierte Standards

wie einheitliche Nummernsysteme für die Identifikation von Produkten, Lokationen und Logistikeinheiten, oder Rückverfolgbarkeitsstandards wie der EPCIS Standard genutzt werden, dominieren in der Bauwirtschaft isolierte Insellösungen (Silodenken):

- **Alle Beteiligten** (z.B. Hersteller, Händler, Bauunternehmen, Betreiber) nutzen ihr eigenes IT-System, das nicht mit anderen kompatibel ist.
- **Hersteller müssen ihre Produkte an unterschiedliche Anforderungen anpassen**, ohne dass eine einheitliche Datenstruktur existiert.
- Es gibt **keine standardisierte Sprache** für Bauproduktinformationen, wodurch der Datenaustausch erschwert wird – insbesondere, weil Merkmale unterschiedlich interpretiert und benannt werden können.
- Viele Prozesse sind noch **papierbasiert**, was zu **hohem Aufwand, Fehleranfälligkeit und mangelnder Transparenz** führt.

Diese fehlende **Interoperabilität** behindert nicht nur die digitale Dokumentation von **Produktbewegungen, Wartungen und Rückbauprozessen**, sondern auch die Umsetzung von **Kreislaufwirtschaftsstrategien** in der Bauindustrie.

Ein zentrales Thema des Forschungsprojekts war zudem die Frage, ob und wie sich der EPCIS-Standard mit bestehenden, proprietären Identifikationssystemen von Herstellern technisch und semantisch verknüpfen lässt. Diese potenziellen Inkompatibilitäten stellen eine zusätzliche Herausforderung für die Umsetzung interoperabler Rückverfolgbarkeitslösungen in der Bauindustrie dar – insbesondere, da viele Hersteller eigene Nummernkreise oder Klassifikationen verwenden, die bislang nicht mit standardisierten EPCIS-Mechanismen abgestimmt sind.

4.3 Entwicklungsbedarf

Zur Schließung der bestehenden Lücke bedarf es eines standardisierten, interoperablen Systems, das von allen Akteuren der Bauindustrie gleichermaßen nutzbar ist. Die Forschung muss aufzeigen, wie der industrielle EPCIS-Standard als einheitlicher Ansatz etabliert werden kann, um:

- die Verknüpfung von Bauteilen mit BIM- und IoT-Daten zu ermöglichen und damit eine digitale Rückverfolgbarkeit über den gesamten Lebenszyklus sicherzustellen,
- Rückbauprozesse durch die Bereitstellung präziser Materialinformationen effizienter zu gestalten,
- eine gemeinsame Datensprache für Bauprodukte zu definieren, um die systemübergreifende Integration und Verständlichkeit zu verbessern,
- Materialkreisläufe zu fördern, indem identifizierbare Bauteile gezielt wiederverwendet werden können,
- Produktfehler und Rückrufe digital abzubilden und dadurch Risiken zu minimieren.

Dazu sind einheitliche, branchenweit akzeptierte Standards erforderlich, die als gemeinsame Grundlage digitaler Prozesse dienen und bestehende Datensilos überwinden. Das im Rahmen dieses Forschungsprojekts entwickelte Konzept zur Anwendung des EPCIS-Standards stellt hierfür einen konkreten Lösungsansatz dar und zeigt exemplarisch, wie eine interoperable und praxisnahe Umsetzung in der Bauindustrie erfolgen kann.

5. Zielstellung

5.1 Projektziele

Das Forschungsprojekt „**BIM- und IoT-basierte Bauproduktrückverfolgbarkeit**“ untersucht, wie sich ein etabliertes Rückverfolgbarkeitskonzept aus der Konsumgüter- und Logistikbranche auf die Bauindustrie übertragen lässt. Dabei fokussiert das Projekt bewusst auf den EPCIS-Standard aus der GS1-Systemwelt, da dieser bereits von zahlreichen Baustoffherstellern – insbesondere im Handelsumfeld – genutzt wird (vgl. Analyse in Kapitel 7.1.3). Ziel des Projekts ist die Entwicklung einer digitalen Infrastruktur auf betrieblicher Ebene, mit der Bauprodukte über ihren gesamten Lebenszyklus hinweg systematisch erfasst, dokumentiert und rückverfolgt werden können.

Zur Erreichung dieses Ziels werden zwei technologische Ansätze kombiniert:

- **Building Information Modeling (BIM)**
BIM ermöglicht die digitale Modellierung und Verwaltung aller relevanten Bauwerksinformationen. Im Forschungsprojekt liegt der Fokus auf den Produkteigenschaften geplanter Baumaterialien sowie auf der Dokumentation tatsächlich verbauter Bauprodukte inklusive baulogistischer Informationen.
- **Internet of Things (IoT)**
IoT-Technologien werden im Projekt genutzt, um die kontinuierliche Erfassung und Bereitstellung von Echtzeit-Daten über den Status und Standort von Bauprodukten zu ermöglichen. Dadurch wird nachvollziehbar, was wann und wo passiert (Tracking und Tracing).

Um eine standardisierte Umsetzung zu gewährleisten, orientiert sich das Forschungsprojekt an den Anforderungen der **ISO-Normen 9000 und 9001** für Rückverfolgbarkeit:

- **ISO 9000** [7] definiert Rückverfolgbarkeit als die Fähigkeit, den Werdegang, die Verwendung oder den Standort eines Objekts zu bestimmen, einschließlich:
 - Herkunft von Werkstoffen und Komponenten
 - Ablauf der Verarbeitung
 - Verteilung und aktueller Standort des Produkts
- **ISO 9001** [8] fordert Unternehmen auf, Produkte und Prozesse eindeutig zu kennzeichnen, um deren Identifizierbarkeit und Überwachung sicherzustellen.

Das Forschungsprojekt analysiert, wie sich BIM und IoT mit diesen Normen kombinieren lassen, um eine durchgängige Bauproduktrückverfolgbarkeit zu realisieren und den steigenden regulatorischen Anforderungen an Nachhaltigkeit und Kreislaufwirtschaft gerecht zu werden.

Der Fokus liegt auf folgenden Aspekten:

- **Tracking & Tracing:** Verfolgen und Nachverfolgen von Bauprodukten über den gesamten Lebenszyklus.
- **Rückverfolgbarkeit:** Sicherstellung der vollständigen Transparenz über Herkunft, Werdegang und Standort von Bauprodukten.
- **Authentifizierung:** Gewährleistung der Echtheit und Integrität der Bauprodukte.

- **Rückrufaktionen:** Effektives Management von Rückrufen bei Qualitätsmängeln.
- **Nachhaltigkeit:** Förderung nachhaltiger Praktiken durch transparente Dokumentation und Überwachung der Bauprodukte.
- **IoT-gestützte Automatisierung:** Reduzierung papierbasierter manueller Erfassungsprozesse durch automatisierte Datenverknüpfung und -kommunikation entlang der Lieferkette.
- **Nutzung offener Standards:** Analyse und Anwendung bestehender Standards für Kennzeichnungssysteme und Datenformate in der Bau- und Immobilienwirtschaft.

Durch die Umsetzung dieser Ziele wurde ein Konzept erarbeitet, das eine lückenlose Bauproduktrückverfolgbarkeit ermöglicht, die Qualitätssicherung verbessert und die Einhaltung gesetzlicher Vorgaben unterstützt.

5.2 Übergeordnete Ziele

Die übergeordneten Ziele des Projekts lassen sich auf drei Ebenen beschreiben – mit Auswirkungen auf einzelne Unternehmen (Mikroebene), Bauwerke und Projekte (Mesoebene) sowie die Bauwirtschaft und Gesellschaft insgesamt (Makroebene).

1. Mikroebene – Unternehmen, Produkte und Prozesse

- **Standardisierung und Interoperabilität:**
 - Entwicklung eines einheitlichen Datenstandards für Bauprodukte zur unternehmensübergreifenden Vernetzung entlang der Lieferkette.
 - Reduktion isolierter Datenstrukturen durch offene, interoperable Systeme.
- **Digitalisierung betrieblicher Abläufe:**
 - Automatisierung von Dokumentationspflichten (z. B. Wartung, Qualitätsnachweise).
 - Minimierung manueller und fehleranfälliger Prozesse durch strukturierte Datenverarbeitung.

2. Mesoebene – Bauwerke und Bauprojekte

- **Qualitätssicherung und Transparenz:**
 - Digitale Nachverfolgung von sicherheitskritischen Komponenten zur Verbesserung von Produktsicherheit und Qualität.
 - Vereinfachte Prüf- und Zertifizierungsprozesse auf Projektebene.
- **Effizienz und Kostensenkung im Bauablauf:**
 - Optimierung der Material- und Produktverfolgung auf der Baustelle zur Vermeidung von Planungsfehlern, Lieferengpässen und Fehlbeständen.

3. Makroebene – Bauwirtschaft und Gesellschaft

- **Förderung der Kreislaufwirtschaft:**
 - Aufbau einer belastbaren Datenbasis für Rückbau, Recycling und die Erstellung digitaler Materialpässe.
 - Beitrag zur Ressourcenschonung und CO₂-Reduktion im Lebenszyklus von Bauprodukten.
- **Gesamtwirtschaftlicher Strukturwandel durch Digitalisierung:**
 - Impulse für die digitale Transformation einer traditionell analog geprägten Branche.
 - Langfristige Effizienzgewinne, Innovationsförderung und Schaffung neuer Geschäftsmodelle im Bausektor.

6. Methodisches Vorgehen

6.1 Arbeitshypothesen

Die **Arbeitshypothesen** stellen zentrale Annahmen dar, die im Rahmen des Forschungsprojekts überprüft wurden. Sie lassen sich in fünf thematische Kategorien unterteilen:

1. Digitalisierung & Effizienz

- Die Digitalisierung reduziert aufwendige papierbasierte Prozesse – ein Aspekt, der im Projekt durch Mockups und einem prototypischen Demonstrator veranschaulicht wird.
- Die Digitalisierung von Wartungs- und Qualitätsprüfungen reduziert Fehlerquoten und steigert die Prozesseffizienz.

2. Rückverfolgbarkeit & Standards

- Eine global standardisierte digitale Erfassung und Verknüpfung von eineindeutigen Bauproduktdaten, z. B. durch die Verwendung globaler Artikelnummern (Global Trade Item Number, GTIN) oder der Globally Unique Identifier (GUID) für die Bauteilkennzeichnung in der Planung verbessert die Qualitätssicherung und Rückverfolgbarkeit entlang der Lieferkette.
- Der globale Rückverfolgbarkeitsstandard EPCIS aus der Konsumgüterbranche ist für ein skalierbares Tracking & Tracing in der Bauindustrie anwendbar und ermöglicht eine durchgängige Rückverfolgbarkeit von Bauprodukten.
- Interoperable IT-Systeme zur Nachverfolgung von Bauprodukten reduzieren isolierte Datenstrukturen in der Branche und verbessern die Datenverfügbarkeit für alle Akteure.

3. Datenmanagement & Interoperabilität

- Datenmanagementsysteme, die Daten aus internen und externen Datenquellen nach dem ISO Standard 23386 strukturieren, bilden die Grundlage für elektronische und automatisierte Prozesse in der Bauindustrie.

4. Nachhaltigkeit & Kreislaufwirtschaft

- Die Implementierung eines digitalen Rückbau- und Recyclingsystems trägt zur Stärkung der Kreislaufwirtschaft in der Bauindustrie bei.

5. Akzeptanz & Implementierung

- Die Akzeptanz und Implementierung digitaler Rückverfolgbarkeitslösungen in der Bauindustrie hängen von standardisierten Schnittstellen, wirtschaftlichen Anreizen und regulatorischen Vorgaben ab.

6.2 Methodischer Aufbau

Der methodische Aufbau orientiert sich am Ziel, ein übertragbares Konzept zur digitalen Rückverfolgbarkeit von Bauprodukten auf Basis des EPCIS-Standards zu entwickeln, dieses praxisnah zu demonstrieren und gemeinsam mit Projektpartnern aus der Praxis zu validieren. Die einzelnen Schritte werden im Folgenden beschrieben:

6.2.1 Praktische Vorerfahrungen und methodischer Ausgangspunkt

Die Konzeption dieses Forschungsvorhabens beruht nicht ausschließlich auf einer theoretischen Analyse, sondern wurde wesentlich durch die praktischen Erfahrungen eines der Autoren im Umfeld von GS1 Germany geprägt. Im Rahmen seiner Tätigkeit im Bereich Standardisierung sowie bei der Entwicklung von Datenmodellen für den elektronischen Datenaustausch und die digitale Rückverfolgbarkeit

bestand über mehrere Jahre hinweg Einblick in konkrete Projekte der Konsumgüter- und Logistikbranche.

Ein besonderes Augenmerk lag dabei auf der Frage, inwiefern sich bewährte Verfahren aus diesen Branchen auf die spezifischen Anforderungen der Bauwirtschaft übertragen lassen. Der methodische Aufbau dieser Arbeit berücksichtigt daher bewusst nicht nur wissenschaftliche Quellen, sondern integriert auch diese Vorerfahrungen systematisch in die Entwicklung praxisrelevanter Konzepte.

6.2.2 Analyse bestehender Standards und Datenmodellierung

- **Ziel:** Untersuchung relevanter Standards (GS1 Kennzeichnungssysteme, GUID, EPCIS), um ein übertragbares Datenmodell für die Bauindustrie zu entwickeln.
- **Methoden:**
 - Dokumentenanalyse und Literaturrecherche
 - Vergleich bestehender Datenstrukturen
 - Experteninterviews
 - Ableitung eines standardisierten Datenmodells

6.2.3 Use-Case-Analyse & Entwicklung praxisnaher Szenarien

- **Ziel:** Identifikation und Beschreibung praxisrelevanter BIM-Anwendungsfälle zur Validierung des Konzepts.
- **Methoden:**
 - Experteninterviews mit Praxispartnern
 - Analyse der Fensterproduktion als exemplarische Lieferkette komplexer Bauprodukte zur modellhaften Untersuchung der Rückverfolgbarkeit
 - On-site-Analyse des realen Fensterproduktionsprozesses
 - Entwicklung von BIM-Anwendungsfällen basierend auf tatsächlichen Geschäftsprozessen (Wartungsmanagement, Rückbau- und Rückrufprozesse)

6.2.4 Konzeptentwicklung & Prototyping

- **Ziel:** Entwicklung eines BIM und IoT-basierten Konzepts für Rückverfolgbarkeit von Bauprodukten.
- **Methoden & Werkzeuge:**
 - Erstellung einer initialen Datenmatrix als Ausgangspunkt zur Definition zentraler Merkmale und Strukturierung relevanter Informationen. Die Datenmatrix wird im weiteren Projektverlauf schrittweise erweitert.
 - Ableitung eines standardisierten Datenmodells, das auf den Erkenntnissen der Datenmatrix basiert und eine konsistente Identifikation sowie Nachverfolgbarkeit von Bauprodukten ermöglicht.
 - Erstellung eines Excel-Rückverfolgbarkeits-Datenhub zur Verknüpfung von EPCIS-, BIM-, Gebäude- und Lieferantendaten auf Basis des erstellten Datenmodells.
 - Entwicklung eines IoT-basierten Prototyps für die Echtzeit-Verfolgung von Bauprodukten, einschließlich eines Mockups zur Veranschaulichung einer möglichen zukünftigen IT-Architektur.
 - Entwicklung eines Bergischen Universität Wuppertal (BUW)-Demonstrators zur Anwendung, Analyse und Visualisierung der zusammengeführten Daten.

6.2.5 Validierung des Konzepts mit Partnern

- **Ziel:** Überprüfung der Umsetzbarkeit des entwickelten Konzepts.
- **Methoden & Hilfsmittel**

- **Hilfsmittel:** GS1 Workbench zur Simulation und Analyse von Eventdaten, epcat-Server als Repository zur Speicherung und Prüfung der Eventdaten
- **Methoden:**
 - Interview mit Prozessverantwortlichen
 - Workshops mit Praxispartnern
 - Soll-Ist-Vergleiche zur Überprüfung der Datenqualität und Nachvollziehbarkeit
 - Erhebung von Feedback zur Praxistauglichkeit

6.2.6 Evaluation & Weiterentwicklung

- **Ziel:** Bewertung des Konzepts hinsichtlich technischer, wirtschaftlicher und regulatorischer Faktoren.
- **Methoden:**
 - Analyse der technischen Machbarkeit
 - Identifikation von Optimierungspotenzialen für eine zukünftige Standardisierung

6.3 Projektteam

Für die erfolgreiche Bearbeitung des Forschungsvorhabens wurde ein interdisziplinäres Projektteam zusammengestellt, das sowohl methodisches als auch anwendungsbezogenes Wissen vereinte. Die Einbindung von Partnern aus Industrie und IT diente gezielt dem Transfer wissenschaftlicher Erkenntnisse in praxisnahe Anwendungsbezüge. Durch die Zusammenarbeit mit den in Abbildung 1 aufgeführten Unternehmen konnten relevante Anforderungen aus der betrieblichen Realität frühzeitig berücksichtigt werden.

Branchenverbände brachten ihre Nähe zu den jeweiligen Mitgliedsunternehmen sowie ein vertieftes Verständnis branchenspezifischer Anforderungen ein. Produkthersteller unterstützten mit ihrem Wissen zu Herstellungsprozessen, Fertigungstechnologien und Produktspezifika. Dienstleister ergänzten das Projekt mit fachlichen Expertisen in Bereichen wie Gebäudemanagement, Kreislauftigkeit, Standardisierung und IT-Umsetzung. Darüber hinaus flossen praxisnahe Perspektiven zum Bauprozess sowie juristische Fachkenntnisse zu rechtlichen Rahmenbedingungen ein.

Diese vielfältige Zusammensetzung ermöglichte eine ganzheitliche Betrachtung der Fragestellungen und förderte die Entwicklung praxisnaher, umsetzbarer Lösungsansätze.



Abbildung 1: Praxis- und Projektpartner

Darüber hinaus wurde in Zusammenarbeit mit dem IT-Dienstleister nexoma GmbH ein Mockup für das entwickelte Konzept realisiert, um die digitale Umsetzung exemplarisch anhand von Anwendungsfällen zu veranschaulichen. Durch diese Kooperationen wurde zusätzliches Know-how in das Projekt eingebbracht.

6.4 Arbeitspakete und Meilensteine

Die nachfolgende Abbildung 2 zeigt die Strukturierung des Forschungsprojekts in sechs aufeinander abgestimmte Arbeitspakete sowie die zeitliche Verortung von vier zentralen Meilensteinen. Die Arbeitspakete orientieren sich an den definierten Zielen des Projekts und bilden gemeinsam die methodische Grundlage zur Entwicklung und Validierung des digitalen Rückverfolgbarkeitskonzepts.

	Arbeits- und Zeitplan	1. Projektjahr 2023												2. Projektjahr 2024												3. Projektjahr 2025															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6										
AP 1	Analyse bestehender Standards und Identifikationssysteme																																								
MS 1	Entwicklung einer systematischen Matrix zur Erfassung relevanter Merkmale entlang der Wertschöpfungskette																																								
AP 2	Entwicklung eines Kennzeichnungssystems für Bauprodukte																																								
MS 2	Entwicklung eines Kennzeichnungssystems zur eindeutigen Identifikation der Objekte der Planung, einschließlich der Integration in bestehende digitale Planungsprozesse.																																								
AP 3	Entwicklung eines anwendungsorientierten EPCIS-Konzepts																																								
MS 3	Ausarbeitung eines anwendungsfähigen Konzepts zur Anwendung des EPCIS-Standards in der Bau- und Immobilienwirtschaft unter Berücksichtigung von BIM- und IoT-Technologien.																																								
AP 4	Analysse weiterer Anwendungsfälle																																								
AP 5	Entwicklung eines Demonstrators																																								
MS 4	Implementierung eines Demonstrators zur Veranschaulichung der entwickelten Konzepte und zur praktischen Erprobung der digitalen Rückverfolgbarkeit im Baukontext																																								
AP 6	Dokumentation der Ergebnisse und Validierung mit Praxispartnern																																								

Abbildung 2: Arbeits- und Zeitplan (eigene Darstellung DPBB 2023)

Im Projektverlauf wurden folgende Arbeitspakete und Meilensteine definiert:

Arbeitspaket 1: Analyse bestehender Standards und Identifikationssysteme

Ziel war die systematische Erhebung und Analyse bestehender Kennzeichnungssysteme, Klassifizierungsansätze und relevanter Standards (z. B. GS1, GUID, BIM-Kodierungen), um eine übertragbare Struktur zu entwickeln, die die eindeutige Identifikation von Bauprodukten ermöglicht und als Grundlage für deren digitale Beschreibung dient.

Aufbauend auf dieser Analyse wurde eine Datenmatrix erstellt, in der zentrale Merkmale für die spätere Rückverfolgbarkeit abgebildet sind. Informationsinhalte, Datenformate und Übertragungswege wurden darin strukturiert beschrieben und hinsichtlich ihrer Integrationsfähigkeit in digitale Planungssysteme bewertet.

Arbeitspaket 2: Entwicklung eines Kennzeichnungssystems für Bauprodukte

Ziel war die Entwicklung eines übertragbaren Kennzeichnungsansatzes zur eindeutigen Identifikation von Bauprodukten in der Planungs- und Ausführungsphase. Dazu wurden die im vorherigen Arbeitspaket abgeleiteten Anforderungen mit bestehenden Kennzeichnungssystemen (z. B. GS1, GUID) abgeglichen und hinsichtlich ihrer Übertragbarkeit auf die Bauindustrie bewertet.

Auf dieser Grundlage entstand eine strukturierte Informationsmatrix, die zentrale Merkmale, Datenformate und Übertragungswege beschreibt. Die Ergebnisse wurden in ein digitales Kennzeichnungssystem überführt, das sowohl die Verknüpfung mit BIM-Objekten als auch die Integration in digitale Prozesse unterstützt und eine durchgängige Rückverfolgbarkeit ermöglicht.

Arbeitspaket 3: Entwicklung eines anwendungsorientierten EPCIS-Konzepts

Auf Basis der zuvor definierten Anforderungen und Datenstrukturen wurde ein standardisiertes Konzept zur digitalen Rückverfolgbarkeit mittels EPCIS erarbeitet. Dabei flossen Erkenntnisse aus der Praxis sowie Anforderungen aus der Bau- und Immobilienwirtschaft ein.

Arbeitspaket 4: Analyse weiterer Anwendungsfälle

Während im Rahmen der Konzeptentwicklung bereits erste Anwendungsszenarien skizziert wurden, lag der Fokus dieses Arbeitspaketes auf der systematischen Ausarbeitung weiterer praxisrelevanter Anwendungsfälle gemäß der Richtlinie VDI/DIN EE 2552 Blatt 12.1. Die Entwicklung erfolgte in enger Zusammenarbeit mit den Praxispartnern und wurde durch Mockups veranschaulicht.

Arbeitspaket 5: Entwicklung eines Demonstrators

In diesem Arbeitspaket wurde ein prototypischer Demonstrator umgesetzt, der die technische Machbarkeit von Tracking und Tracing entlang der Lieferkette – von der Rohstoffbereitstellung bis zum Einbau – veranschaulicht. Ziel war die Demonstration einer funktionierenden Rückverfolgbarkeit auf Basis der entwickelten Struktur.

Arbeitspaket 6: Dokumentation der Ergebnisse und Validierung mit Praxispartnern

Im Rahmen dieses Arbeitspaketes wurde das entwickelte Konzept durch Workshops, Interviews und Soll-Ist-Abgleiche mit Praxispartnern validiert. Dabei wurden Umsetzbarkeit, Herausforderungen und Optimierungspotenziale identifiziert. Die daraus abgeleiteten Erkenntnisse wurden systematisch dokumentiert und bilden die Grundlage für zukünftige Standardisierungsbemühungen.

Meilensteine

Meilenstein 1

Entwicklung einer systematischen Matrix zur Erfassung relevanter Merkmale entlang der Wertschöpfungskette: Hersteller/Händler, Bauprodukt, Kennzeichnungsebene, Kennzeichnungsart, Informationsinhalt, Art der Informationsbereitstellung sowie verwendete Klassifizierungssysteme.

Meilenstein 2

Entwicklung eines Kennzeichnungssystems zur eindeutigen Identifikation der Objekte der Planung, einschließlich der Integration in bestehende digitale Planungsprozesse.

Meilenstein 3

Ausarbeitung eines anwendungsfähigen Konzepts zur Anwendung des EPCIS-Standards in der Bau- und Immobilienwirtschaft unter Berücksichtigung von BIM- und IoT-Technologien.

Meilenstein 4

Implementierung eines Demonstrators zur Veranschaulichung der entwickelten Konzepte und zur praktischen Erprobung der digitalen Rückverfolgbarkeit im Baukontext.

Die erfolgreiche Umsetzung der beschriebenen Arbeitspakete erfordert eine strukturierte und koordinierte Projektorganisation.

Um die interdisziplinären Anforderungen zu erfüllen und den Wissenstransfer zwischen Forschung und Praxis sicherzustellen, wurde das Projektteam so zusammengestellt, dass sowohl methodisch-wissenschaftliche als auch praxisbezogene Kompetenzen eingebunden sind. Die nachfolgende Darstellung erläutert die organisatorische Einbettung sowie die Rollen und Beiträge der beteiligten Akteure.

6.5 Projektorganisation

Die organisatorische Umsetzung des Forschungsprojekts stellte insbesondere aufgrund der Beteiligung zahlreicher Partnerunternehmen mit unterschiedlichen fachlichen Hintergründen und Wissensständen eine Herausforderung dar. Ein zentrales Ziel bestand daher darin, ein gemeinsames Begriffsverständnis sowie eine klare Rollen- und Zieldefinition zu schaffen, um eine zielgerichtete und ergebnisorientierte Zusammenarbeit zu gewährleisten.

Zu diesem Zweck wurden sowohl Online- als auch Präsenzformate genutzt. Es fanden regelmäßig virtuelle Meetings zur Abstimmung innerhalb der einzelnen Arbeitspakete statt. Ergänzend wurden zweimal jährlich Präsenzveranstaltungen mit allen Projektpartnern durchgeführt, in denen die Zwischenergebnisse der jeweiligen Arbeitspakete vorgestellt, diskutiert und verabschiedet wurden.

Die Arbeitspakete 1 und 2 wurden unter aktiver Mitwirkung der Praxispartner Schüco International KG, Gebr. Jäger GmbH, GS1 Germany GmbH und dormakaba GmbH erarbeitet. Hierzu fanden im Rhythmus von drei Wochen virtuelle Abstimmungen statt.

Das Arbeitspaket 3 wurde mit einer erweiterten Partnergruppe entwickelt, zu der neben den bereits genannten Unternehmen auch das Gebäudemanagement der Stadt Wuppertal (GMW), der Bundesindustrieverband Technische Gebäudeausrüstung e.V. (BTGA), der RS-Verband, Goldbeck Technologies GmbH sowie Xella Deutschland GmbH gehörten. Die Abstimmungen erfolgten in vierwöchigen Online-Meetings.

Zur Sicherstellung eines realitätsnahen Praxisbezugs wurden zudem Experteninterviews und Vor-Ort-Besuche durchgeführt, unter anderem beim Rohstofflieferanten Otto Fuchs KG, im Metallbau sowie im Werk für Betonelemente und auf einer Baustelle der Goldbeck Technologies GmbH.

Im Rahmen von Arbeitspaket 4 wurden drei konkrete Anwendungsfälle definiert und in enger Zusammenarbeit mit den jeweiligen Prozessverantwortlichen in mehreren Online-Sitzungen bearbeitet:

- **Rückruf-Readiness**, gemeinsam mit der Jansen AG (Fachverbund Bauprodukt Digital)
- **Datenbereitstellung für die Kreislaufwirtschaft**, gemeinsam mit Schüco International KG und Madaster Germany
- **Dokumentation von Wartungsmaßnahmen zur Gewährleistung**, gemeinsam mit dem Gebäudemanagement der Stadt Wuppertal (GMW)

Der Demonstrator im Rahmen von Arbeitspaket 5 wurde eigenständig durch die Forschungspartner entwickelt und umgesetzt. Der Demonstrator bildet zentrale Funktionen des digitalen Tracking und Tracing ab. Ziel ist die transparente Nachverfolgung des Bauproduktwegs entlang der Lieferkette sowie die Dokumentation von Standort und Status einzelner Produkte im Projektkontext.

7. Durchführung und methodische Umsetzung des Forschungsvorhabens

Der in Kapitel 6.4 dargestellte strukturierte Aufbau des Projekts in Form aufeinander aufbauender Arbeitspakete (vgl. Abbildung 2) bildet die methodische Grundlage für den folgenden Projektverlauf.

Jedes Arbeitspaket wird im Hinblick auf seine spezifischen Zielsetzungen, die durchgeführten Aktivitäten sowie die erzielten Ergebnisse beschrieben. Darüber hinaus werden wesentliche Meilensteine dokumentiert und – sofern erforderlich – Anpassungen am ursprünglich vorgesehenen Vorgehen erläutert.

7.1 Arbeitspaket 1: Analyse des GS1 Kennzeichnungssystems

Kennzeichnungssysteme dienen der eindeutigen Identifikation und Nachverfolgung von Objekten, Materialien oder Produkten entlang der Wertschöpfungskette. Sie bestehen aus standardisierten Nummernsystemen, die eine eindeutige Identifizierung ermöglichen, sowie aus Datenträgern zur Erfassung und Übertragung dieser Identifikationsmerkmale, wie Barcodes oder QR-Codes.

Globale Nummernsysteme wie die **Global Trade Item Number (GTIN)** [9] von GS1 oder der **Unique Device Identifier (UDI)** [10] für Medizinprodukte folgen international anerkannten Standards. Diese Standards gewährleisten Interoperabilität und Plattformunabhängigkeit, sodass die Identifikationsnummern in verschiedenen digitalen Systemen genutzt werden können.

Die Vergabe eindeutiger Identifikationsnummern erfolgt durch spezifische Organisationen. Beispielsweise verwaltet **GS1** die GTIN [9], während **nationale Agenturen** für ISBNs (Internationale Standardbuchnummer) [11] zuständig sind. Diese Organisationen setzen eigene Vergaberegeln und Standards, um eine globale Eindeutigkeit sicherzustellen.

GS1 Standards sind weltweit etabliert und bilden nach Angaben von GS1-Germany mit rund zehn Milliarden Scans täglich eine zentrale Grundlage für effiziente Geschäftsprozesse im globalen Handel. Das globale GS1-Netzwerk besteht aus 116 Länderorganisationen, die eine einheitliche Identifikationslogik sicherstellen. Insgesamt werden 24 GS1-Standards in 25 Branchen von rund 95.000 Unternehmen genutzt – darunter auch im für die Bauindustrie relevanten Baustofffachhandel [12].

Zwar liegen keine differenzierten Nutzungszahlen für die Bauwirtschaft vor, jedoch ist davon auszugehen, dass insbesondere im Umfeld von Baumärkten und Baustoffhändlern bereits zahlreiche Hersteller GS1-konforme Standards zur Identifikation und Kennzeichnung ihrer Produkte einsetzen. Diese Produkte werden häufig von kleineren und mittelständischen Handwerksbetrieben gekauft und weiterverarbeitet, was eine solide Ausgangsbasis für die Anwendung von GS1-Standards in der Bauindustrie schafft. Vor diesem Hintergrund wurde der GS1-Standard als Ausgangspunkt für das vorliegende Forschungsprojekt gewählt.

7.1.1 Ziel des Arbeitpaketes

Ziel des Arbeitspaketes war es, zu analysieren, inwieweit Bauprodukte, die über den Baustoff-Fachhandel verkauft werden, bereits mit GS1-Identifikationsmerkmalen versehen sind und ob dieser Standard für die spezifischen Anforderungen der Bauindustrie nutzbar ist.

Darüber hinaus wurde die praktische Anwendbarkeit des GS1-Standards für die Bauindustrie untersucht, getestet und evaluiert. Ein weiterer Schwerpunkt lag auf der Analyse bestehender Klassifizierungssysteme, um zu prüfen, wie Kennzeichnungssysteme mit Klassifikationsmodellen verknüpft werden können und inwiefern dieser Ansatz für die Rückverfolgbarkeit von Bauprodukten geeignet ist.

7.1.2 Durchführung

Analyse des GS1-Kennzeichnungssystem

Im Arbeitspaket 1.1 wurde das GS1-Kennzeichnungssystem analysiert, das sich aus den Komponenten Identifikation, Datenerfassung und Datenaustausch zusammensetzt. 1974 wurde in den USA der erste Barcode gescannt. Seitdem entwickelt GS1 Standards, die weltweit im Handel verwendet werden [13]. Darüber hinaus wurde untersucht, auf welchen Hierarchieebenen Bauprodukte gekennzeichnet werden, beispielsweise auf Ebene einzelner Produkte oder ganzer Paletten. Aufbauend darauf erfolgte eine Analyse der bei GS1 gelisteten Hersteller, Händler und Bauprodukte. Ziel dieser Untersuchung war es, einen umfassenden Überblick über die aktuelle Nutzung der GS1-Kennzeichnung durch Hersteller von Bauprodukten im Baustoff-Fachhandel zu erhalten und deren Potenzial für die Bauindustrie zu bewerten.

Aufbauend darauf analysierte Arbeitspaket 1.2 die nach GS1 gekennzeichneten Bauprodukte hinsichtlich ihrer Integration in bestehende Klassifizierungssysteme. Dabei wurde geprüft, inwieweit die GS1-Kennzeichnung mit bestehenden Klassifikationsmodellen kompatibel ist und welche Synergien sich für eine optimierte Bauproduktrückverfolgbarkeit ergeben.

Arbeitspaket 1.1 GS1-Kennzeichnungssystem

Das GS1-Kennzeichnungssystem ist ein weltweit anerkanntes System, das der Identifizierung, Erfassung und dem Austausch von Daten dient. Es ermöglicht eine effiziente und präzise Verfolgung von Produkten und Informationen entlang der gesamten Lieferkette, indem es standardisierte Nummern, Kennzeichnungsträger, wie Barcodes etc. und elektronische standardisierte Datenaustauschprotokolle verwendet [14].

Identifikation

Die Identifikationsnummern von GS1 sind die Zahlen unterhalb der Kennzeichnungsträger, z. B. Barcodes. Sowohl in der physischen als auch in der digitalen Welt werden sie verwendet, um Produkte, Logistikeinheiten, Standorte, Vermögenswerte, Dokumente und Beziehungen in der gesamten Lieferkette – vom Hersteller bis zum Verbraucher – eindeutig zu unterscheiden. Insgesamt sind die folgenden Identifikationsnummern relevant; die Reihenfolge stellt keine Gewichtung oder Priorisierung dar:

- **Global Trade Item Number (GTIN)**, eine eindeutige Identifikationsnummer für Produkte und Dienstleistungen. Eine GTIN wird z.B. auf Produktverpackungen verwendet, um diese weltweit eindeutig zu identifizieren. Die GTIN ist in ISO/IEC 24724 genormt.
- **Global Location Number (GLN)**, mit der Unternehmen und Orte eindeutig identifiziert werden, z.B. werden so Lagerhäuser, Geschäfte oder Produktionsstätten gekennzeichnet. Die GLN ist in ISO/IEC 6523 genormt.
- **Serial Shipping Container Code (SSCC)** für die eindeutige Identifizierung von Transporteinheiten.
- **Global Individual Asset Identifier (GIAI)** für die eindeutige Kennzeichnung von Anlagegütern, Fertigungs-, Transport-, IT- und medizinische Ausrüstung.
- **Global Returnable Asset Identifier (GRAI)** für wiederverwendbare Transportverpackungen und Ladungsträger wie eine Palette oder Kiste.

- **Global Service Relation Number (GSRN)** für die Beziehungen z. B. zwischen Dienstleister und Leistungsempfänger.
- **Global Document Type Identifier (GDTI)** für die Kennzeichnung von Dokumenten
- **Global Identification Number for Consignment (GINC)** wird von Frachtführer/Transporteure für Sendungen von logistischen Einheiten genutzt, die zusammen in einem Seecontainer transportiert werden.
- **Global Shipment Identification Number (GSIN)** für z. B. Verkäufer/Versender für die Identifikation von Logistikeinheiten, die zusammen an Kunden geliefert werden.
- **Global Coupon Number (GCN)** für die Identifikation von Gutscheinen.
- **Component/Part Identifier (CPID)** für die Identifikation von Komponenten in Kraftfahrzeugen.
- **Global Model Number (GMN)** für die Kennzeichnung von Produktmodellen von Medizinischen Geräten oder Produktmodellen in der Modebranche.

Datenerfassung [15]

Die GS1-Standards zur Datenerfassung machen die Identifikationsnummern über Barcodes und Radio Frequency Identification (RFID), eine Technologie, die es ermöglicht, Objekte, Waren oder Personen kontaktlos zu identifizieren [16] auslesbar:

- **Barcodes:** Barcodes sind Datenträger, die Informationen in maschinenlesbarer Form darstellen. Es gibt verschiedene Arten, wie EAN Barcode, 2D Codes (GS1 DataMatrix oder GS1 QR-Code).
- **RFID (Radio-Frequency Identification):** Ermöglicht das berührungslose Auslesen von Informationen aus RFID-Tags.



Abbildung 3: Datenerfassung mittels Barcode, 2D-Codes und RFID (eigene Darstellung)

Datenaustausch [17]

GS1-Standards ermöglichen die sichere und effiziente Kommunikation von Daten zwischen verschiedenen Geschäftspartnern:

- **EDI (Electronic Data Interchange):** Standards für den elektronischen Austausch von Geschäfts-dokumenten.
- **GS1 XML:** Ein Standard für den Datenaustausch im XML-Format.
- **EPCIS (Electronic Product Code Information Services):** Ein Standard zur Erfassung und gemein-samen Nutzung von Ereignisdaten entlang der Lieferkette.

Vorteile globaler Standards (z.B. GS1) für die Rückverfolgbarkeit

- **Globale Akzeptanz und Standardisierung:**
GS1-Standards werden weltweit anerkannt und genutzt, was die internationale Zusammenarbeit und den Handel erleichtert.
- **Effizienzsteigerung:**
Automatisierte Datenerfassung und -verarbeitung reduzieren Fehler und beschleunigen die Pro-esse entlang der gesamten Lieferkette.

- **Rückverfolgbarkeit:**

Verbesserte Rückverfolgbarkeit und Transparenz helfen bei der Einhaltung gesetzlicher Vorschriften und erhöhen das Vertrauen der Anwendenden.

Ebene der Kennzeichnung von Bauprodukten

Die geeignete Kennzeichnungsebene von Bauprodukten hängt vom jeweiligen Anwendungsprozess ab. Bei Massenprodukten aus dem Baustoffhandel, wie etwa Gipskartonplatten, die typischerweise palettenweise geliefert werden und bei denen die Identifikation primär logistikbezogenen Zwecken dient (z.B. Wareneingang, Lagerung, Transport) ist eine Kennzeichnung auf Ebene der Versandseinheit (z.B. Palette) sinnvoll.

Handelt es sich hingegen um ein einzelnes Produkt der Technischen Gebäudeausrüstung (TGA), dessen Identifikation auch für Prozesse im Betrieb genutzt wird, empfiehlt sich eine Kennzeichnung auf Produkteinheit.

Die Bezeichnung Verpackung ist laut GS1, einfach gesprochen, als eine „vom Produkt lösbar teilweise oder vollständige Umhüllung“ zu verstehen. Der Verpackung kommen innerhalb der Lieferkette die verschiedensten Funktionen und Aufgaben zu. Sie ist davon abhängig wie das Bauprodukt zum Handel geliefert und verkauft wird, oder direkt vom Hersteller zur Baustelle geliefert wird.

In der Standardisierung wird von GS1 für den elektronischen Datenaustausch die 4-stufige Verpackungshierarchie [18] angewendet. Hierbei sind die Primär-, die Sekundär-, die Tertiärverpackung, sowie der Ladungsträger gemeint. Die für den Handel entwickelte Hierarchie ist auf Bauprodukte übertragbar.

Die Primärverpackung bezeichnet z.B. die Verkaufspackungen, die dem Endverbraucher im Einzelhandel als Verkaufseinheit angeboten werden. Beim Bauprodukt wäre dies die Verpackung des einzelnen Produktes oder der Produkte, wie sie auf Baustellen angeliefert werden.

Sekundär- und Tertiärverpackungen sind von ihrer Funktion ähnlich, z.B. Kartonagen mit denen einzelne Bauprodukte versendet werden.

Ladungsträger können Paletten sein, die dem Transport dienen. Es kann aber auch eine Verkaufseinheit oder Versandseinheit von Bauprodukten sein, sofern diese als Abgabeeinheiten angeboten werden. Jede Ebene kann eindeutig identifiziert werden. Die folgende Abbildung soll das verdeutlichen:

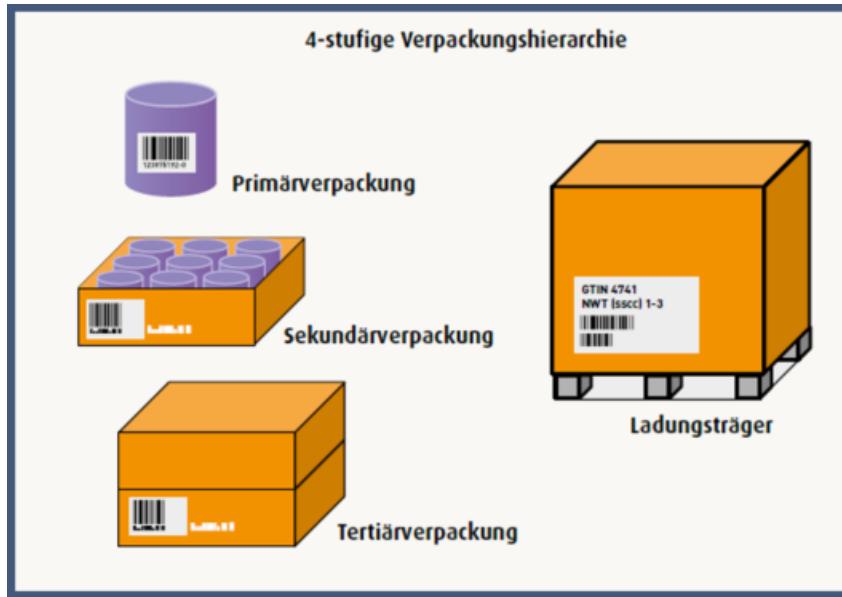


Abbildung 4: 4-stufige Verpackungshierarchie, Quelle: BHB Handelsverband, https://www.bhb.org/fileadmin/user_upload/publikationen/BHB_Guideline_2016.pdf (abgerufen am 14.04.2025)

AP 1.2 Integration bestehender Klassifizierungssysteme

Während das GS1-Kennzeichnungssystem entscheidend für die eindeutige Identifikation und Nachverfolgung von Produkten in der Lieferkette ist, ergänzen Klassifizierungssysteme diese Funktionalität durch eine strukturierte und standardisierte Kategorisierung der Produkteigenschaften. Diese Systeme spielen eine entscheidende Rolle bei der effizienten Datenorganisation, der Einhaltung regulatorischer Anforderungen und der Unterstützung internationaler Handels- und Logistikprozesse. Im Rahmen des Forschungsprojektes sind folgende Klassifizierungen betrachtet worden:

GPC (Global Product Classification)

Die GPC ist ein Klassifizierungssystem, das von GS1 entwickelt wurde, um Produkte weltweit in einer einheitlichen Struktur zu kategorisieren. Die GPC ist ein regelbasiertes, vierstufiges System mit Segmenten, Familie, Klasse und Baustein. Die ersten drei Stufen sind an die UNSPSC-Klassifikation angelehnt. Die vierte Ebene des Bausteins, bildet gleichartige Produkte ab [19].

ETIM (Electro Technical Information Model)

ETIM ist ein Klassifizierungssystem speziell für die Elektrotechnik- und Elektronikbranche und wird zunehmend auch im Baustoff-Fachhandel genutzt. Es standardisiert die Beschreibung von technischen Produkten, um deren Vergleich und Verwaltung zu erleichtern. ETIM verwendet eine hierarchische Struktur und standardisierte Merkmale, um Produkte eindeutig zu klassifizieren [20].

ECLASS

ECLASS ist ein weltweit genutztes Klassifizierungssystem für Produkte und Dienstleistungen. Es bietet eine standardisierte Struktur zur Beschreibung und Klassifizierung von Produkten über verschiedene Branchen hinweg. ECLASS verwendet ein vierstufiges Hierarchiemodell und standardisierte Merkmale zur Produktbeschreibung [21].

UNSPSC (United Nations Standard Products and Services Code)

UNSPSC ist ein hierarchisches System zur Klassifizierung von Produkten und Dienstleistungen. Es wird für elektronische Beschaffung und eCommerce-Anwendungen verwendet. [22]

Verknüpfung von GS1 Standard und Klassifikationen

GS1-Standards bieten eine Methode zur Identifikation von Bauprodukten, die globale Identifikationsnummern umfassen, und so eine eindeutige Kennzeichnung und Nachverfolgung von Produkten entlang der gesamten Lieferkette ermöglichen.

Eine erweiterte Datenintegration durch die Kombination von GS1-Identifikationsnummern mit Attributen der Klassifikationssysteme erlaubt eine umfassende und detaillierte Datenerfassung und -verwaltung. Im Rahmen des Forschungsprojekts wurden einzelne Anwendungsfälle weiter analysiert, um zu bestimmen, inwieweit diese Integration für die Bauproduktverfolgbarkeit genutzt werden kann.

Das Vergabesystem von GS1 Germany

Im Rahmen der Analyse wurde das Vergabesystem von GS1 Germany untersucht, das Unternehmen die strukturierte Zuweisung eindeutiger Nummern ermöglicht [23]. Dabei wurde insbesondere betrachtet, wie Identifikationsnummern wie die Global Trade Item Number (GTIN), die Global Location Number (GLN) und die SSCC (Serial Shipping Container Code) generiert und verwaltet werden, um eine konsistente und interoperable Rückverfolgbarkeit über verschiedene Systeme hinweg sicherzustellen.

Die GS1 Kunden erhalten eine Basisnummer, die in der GLN verschlüsselt ist (siehe Abbildung 5). Die Basisnummer, in diesem Beispiel die 4012345, ist weltweit eindeutig, dafür garantiert GS1. Mit dieser Basisnummer können u.a. Unternehmen, Produkte und Logistikeinheiten eindeutig identifiziert werden. Das komplette Ident enthält einen Bereich für die Eigengenerierung sowie eine Prüfziffer.

GLN	(Global Location Number)	4012345 00001 P	für Lokationen
GTIN	(Global Trade Item Number)	4012345 00001 P	für Artikel
NVE/SSCC	(Serial Shipping Container Code)	3 4012345 000000001 P	für Transporteinheiten
GRAI	(Global Returnable Asset Identifier)	4012345 10000 P 12345	für Mehrweggebinde
GIAI	(Global Individual Asset Identifier)	4012345 000000001	für Individuelle Anlagegüter
GDTI	(Global Document Type Identifier)	4012345 20000 P 000001	für Dokumente
GSRN	(Global Service Relation Number)	4012345 000000001 P	für Servicebeziehungen

█ Basisnummer
 █ Eigengenerierung
 █ Prüfziffer

Abbildung 5: Das GS1-Nummernsystem in Anlehnung GS1 Germany (eigene Darstellung)

Die Nummernkapazitäten richten sich nach der Wahl der Basisnummer (siehe Abbildung 6). Je kleiner die Basisnummer, desto größer die mögliche Anzahl zu kennzeichnenden Produkte; die Auswahl der Basisnummer muss daher unter Berücksichtigung des Kennzeichnungsumfangs vorab vom Unternehmen getroffen werden. Die Prüfziffer erfolgt meist automatisch durch IT-Systeme oder Tools, die von Unternehmen eingesetzt werden, wie z.B. einem Barcode-Generator.

Die Basisnummer enthält die ersten Ziffern Ihrer GLN – diese bekommen Sie von GS1 Germany.

Individueller Nummernbereich

Die Prüfziffer berechnet sich aus den vorderen Ziffern der GTIN.

GS1 Basisnummer	Individueller Nummernbereich					Prüfziffer	Nummernkapazität
4 0 1 2 3 4 5	0	0	0	0	0	9	100.000 GTINs
4 2 1 2 3 4 5 6	0	0	0	0	0	5	10.000 GTINs
4 3 1 2 3 4 5 6 7	0	0	0	0	0	5	1.000 GTINs

Abbildung 6: Darstellung der GS1 Basisnummer Kapazitäten, Quelle: GS1 Germany, <https://www.gs1-germany.de/standards/identifikation/unternehmen-gln/> (abgerufen am 14.04.2025)

Der offene GS1-Standard ermöglicht eine weltweit eindeutige Identifikation und eine logische Verknüpfung von Objekten und Standorten entlang der Wertschöpfungskette. Die strukturierte Vergabe von Identen – wie GLN (Global Location Number) für Standorte und GTIN (Global Trade Item Number) für Produkte – basiert auf einem einheitlichen Aufbau, wird jedoch durch unterschiedliche Datenbezeichner [24] im Prozess eindeutig differenziert.

Beispiel GLN:

- Datenbezeichner (414) 401234500001P → Standort 1
- Datenbezeichner (414) 401234500002P → Standort 2

Beispiel GTIN:

- Datenbezeichner (01) 401234500001P → Produkt 1
- Datenbezeichner (01) 401234500002P → Produkt 2

Diese eindeutige und strukturierte Identifikation ist von zentraler Bedeutung für die Ereignisverarbeitung im EPCIS-Standard, da sie eine präzise Verknüpfung von Produkten, Standorten und Prozessen ermöglicht und somit eine lückenlose Rückverfolgbarkeit sowie eine transparente Analyse entlang der gesamten Lieferkette gewährleistet.

7.1.3 Ergebnisse

Die Analyse in Arbeitspaket 1 ergab, dass 75–90 % der Bauprodukte, die über den Baustoff-Fachhandel vertrieben werden, mit GS1-Kennzeichnungen versehen sind (vgl. Tabelle 1). Die Einschätzung basiert auf Experteninterviews, die im Rahmen strukturierter Arbeitskreise einer Stammdaten-Initiative im September 2023 durchgeführt wurden. Da quantitative Daten zur Verbreitung der GS1-Kennzeichnung im Bauproduktbereich aktuell nicht öffentlich verfügbar sind, stützt sich die Bewertung vorwiegend auf das fundierte Fachwissen der beteiligten Expertinnen und Experten.

Die nahezu identische Prozentzahl der Nutzung von GS1-Identifikationen bei fast allen Händlern ergibt sich daraus, dass viele Hersteller ihre Sortimente flächendeckend bei diesen Händlern listen. Einige Händler gaben Produktanzahlen und Prozente der GS1-Nutzung an, andere nur Prozentzahlen. Die gemessenen Werte bei den Händlern spiegeln sich zudem bei Dienstleistern wider, was die einheitliche Anwendung der GS1-Standards entlang der gesamten Wertschöpfungskette unterstreicht.

Diese Ergebnisse unterstreichen die hohe Akzeptanz und Nutzung der GS1-Standards im Bauproduktsektor und heben die Bedeutung einer präzisen sowie einheitlichen Datenbereitstellung durch die Hersteller hervor, um eine nahtlose Integration und Interoperabilität entlang der Lieferkette sicherzustellen.

Datenquellen	Art der Datenquellen	Anzahl Hersteller	Anzahl Produkte	Fokus	Nutzung GS1 Ident GTIN
Bauvista	Fachhandel	1.000	-	Baustoffe	75%
BayWa	Fachhandel	1.500	-	Baustoffe	75%
Eurobaustoff	Fachhandel	2.000	-	Baustoffe	75%
GS1 zertifizierte Datenpools ca. 40 weltweit	Datenpool	-	-	Konsumgüter	100%
Hagebau	Fachhandel	2.000	-	Baustoffe	75%
Heinze Lieferantenportal	Datenpool	8.000	385.000	Bauprodukte	75%
ProMaterial	Datenpool	400	1,5 Mio.	Bauprodukte	70-80%
Stark Deutschland	Fachhandel	2.000	-	Baustoffe	75%
Zedach	Fachhandel	800	1 Mio.	Dachprodukte	90%
ZVSHK Open Datapool (Angabe ZVSHK)	Datenpool	400	-	SHK qualitätsgeprüfte Herstellerdaten	80%

Tabelle 1: Analyseergebnisse (eigene Darstellung), Quelle: Experteninterviews mit Bauvista, BayWa, Hagebau, EUROBAUSTOFF, Heinze, Stark, Zedach, ZVSHK, ProMaterial, GS1, September 2023.

Die Analyse der bei GS1 gelisteten Hersteller und Händler von Bauprodukten verdeutlicht, wie die Anwendung von GS1-Standards die Identifikation, Verfolgung und Verwaltung von Bauprodukten optimiert. Die Integration von GS1-Standards ermöglicht eine präzisere Erfassung und Verwaltung von Bauprodukten entlang der gesamten Lieferkette. Dabei ist zu beachten, dass Produkte auf unterschiedlichen Ebenen gekennzeichnet werden können – etwa als Einzelprodukt, als Verkaufseinheit oder als Logistikeinheit. Während im Handel vor allem die Kennzeichnung der Verkaufseinheit für den Kassiervorgang entscheidend ist, spielt in der Logistik die Identifikation von Transporteinheiten eine zentrale Rolle. In der Bauindustrie müssen analoge Kennzeichnungs- und Verwaltungsprozesse entwickelt und integriert werden, um eine vergleichbare Transparenz und Effizienz zu erreichen. Dies erleichtert nicht nur die Logistik und das Bestandsmanagement, sondern auch die Rückverfolgung von Produkten bei Rückrufaktionen oder Qualitätsprüfungen.

Die Bereitstellung von Produktinformationen über vernetzte Datenbanken und elektronische Kataloge verbessert die Transparenz und unterstützt Unternehmen bei der Einhaltung gesetzlicher Vorschriften und Qualitätsstandards.

Die im Januar 2024 durchgeföhrten Experteninterviews bestätigten die beschriebenen Vorteile der GTIN nochmals. Es wurden leitfadengestützte, halbstrukturierte Interviews mit Vertreter*innen des Baustoff Fachhandels und relevanter Dienstleister durchgeführt, darunter Hagebau, EUROBAUSTOFF, Stark sowie Heinze. Die Interviews fanden telefonisch oder per Videokonferenz statt. Ziel war es, die Potenziale der GS1-Kennzeichnung und des digitalen Datenaustauschs im Kontext der Bauproduktverfolgung zu bewerten. Die Auswertung erfolgte inhaltsanalytisch anhand vorab definierter Kategorien, insbesondere zu Produktkennzeichnung, elektronischem Datenaustausch und Rückverfolgbarkeit.

Die wichtigsten Erkenntnisse im Einzelnen sind:

- Der größte Vorteil der eindeutigen Kennzeichnung von Produkten, Produktvarianten und Umverpackungen besteht – vorausgesetzt, alle Anwender folgen den Standardvorgaben – in der überschneidungsfreien Identifizierung über alle logistischen Stufen hinweg.
- Im Bereich des elektronischen Datenaustauschs liegt der Vorteil darin, dass Produkte in den jeweiligen Nachrichten, wie Bestellungen oder Rechnungen, eindeutig beschrieben werden können.

- Im Rahmen der Nachverfolgbarkeit ergibt sich der Vorteil, dass aus der GTIN der Hersteller bzw. Inverkehrbringer eines Produkts eindeutig abgeleitet werden kann.

Darüber hinaus zeigt ein Blick in die Lebensmittelbranche, dass Rückrufe heute erfolgreich auf Basis von GS1-Identen gemäß dem GS1 EPCIS-Standard durchgeführt werden, was im Arbeitspaket 3 weiter analysiert wird.

Vergleich: GS1-Nummernsysteme versus proprietäre Herstelleridentifikationen

Die Analyse zeigte, dass standardisierte GS1-Nummernsysteme gegenüber proprietären Herstelleridentifikationen erhebliche Vorteile für die Bauindustrie bieten. Während proprietäre Systeme häufig nur innerhalb eines Unternehmens funktionieren und die Interoperabilität mit anderen Akteuren einschränken, ermöglichen GS1-Standards eine unternehmens- und plattformübergreifende Rückverfolgbarkeit. Insbesondere für Anwendungen wie digitale Lieferketten, Baustellenlogistik und späteres Recycling bietet das GS1-System eine belastbare und zukunftssichere Grundlage. An den globalen eindeutigen Strukturen können sich Anwender für die IT-Integration orientieren (siehe Abbildung 7).

Global eindeutige Struktur				
	14. Stelle	Basisnummer	Eigengenerierung	Prüfziffer
GS1 GTIN	0	4003982	00136	8

Abbildung 7: Darstellung strukturierte Aufbau der GTIN (eigene Darstellung)

Individuelle Artikelnummern von Herstellern und Lieferanten sind in der Regel proprietär und folgen keinem einheitlichen, global eindeutigen System. Sie eignen sich daher nicht für den unternehmensübergreifenden, automatisierten Datenaustausch. Abbildung 8 zeigt beispielhaft anonymisierte Herstellernummern unserer Projektpartner und veranschaulicht die fehlende Vergleichbarkeit.

Hersteller Artikelnummer (HAN) 1	382150
Hersteller Artikelnummer (HAN) 2	SC481790
Hersteller Artikelnummer (HAN) 3	605.685.2Z

Abbildung 8: Darstellung individuelle Hersteller Idente (eigene Darstellung)

Proprietäre Artikelnummern und fehlende Standards bei der Anlieferung von Bauprodukten erschweren jedoch die durchgängige Rückverfolgbarkeit entlang der gesamten Lieferkette. Diese Herausforderungen sowie potenzielle Lösungsansätze werden im weiteren Projektverlauf systematisch analysiert.

7.1.4 Meilenstein 1

Mit Meilenstein 1 wurde eine strukturierte Datenmatrix entwickelt (siehe Tabelle 2), die die Beziehung zwischen Herstellern, Bauprodukten, Datenträgern, Datenaustauschformaten, Logistikinformationen

und Klassifikationssystemen, am Beispiel von ETIM, systematisch erfasst. Durch die Verknüpfung mit einer Klassifikation und deren spezifischen Klasse konnten relevante Produktmerkmale eindeutig hinterlegt werden. So ist eine solche Verknüpfung grundsätzlich möglich und in bestimmten Anwendungskontexten – etwa zur Produktauswahl oder im Beschaffungsprozess – sinnvoll. Für die Umsetzung der Rückverfolgbarkeit nach dem EPCIS-Standard ist die Nutzung solcher Klassifikationen jedoch nicht erforderlich, da der Fokus auf der Identifikation einzelner Einheiten und deren Ereignisverlauf liegt, nicht auf ihrer funktionalen Beschreibung.

Merkmal	Beschreibung	Beispiele
GTIN/EAN der Artikeleinheit	Die Global Trade Item Number (GTIN) identifiziert eine bestellbare Artikeleinheit. Diese Einheit ist nicht mehr teilbar oder ein Gebinde aus gleichartigen oder unterschiedlichen Produkten	4003950101885
Name Hersteller/Händler	Angabe des Namens des Herstellers oder Händlers	Jansen AG
GLN	Global Location Number (GLN) die Unternehmen und Standorte weltweit eindeutig identifiziert	4005595010199
Artikelkurzbeschreibung	Die Artikelkurzbeschreibung dient dazu, den Artikel anhand seiner charakteristischen Merkmale eindeutig zu beschreiben	Ausbauplatte GKB 12,5 600 2000 HRK (60)
Kennzeichnungsebene	Beschreibt, auf welcher Hierarchieebene ein Bauprodukt gekennzeichnet ist	Einzelstück, Verpackung, Palette
Angabe der Klassifikation	Angabe der Klassifikation (z.B. ETIM) einschließlich Versionsangabe	ETIM-9.0
ETIM-Klassenbeschreibung	Angabe der ETIM-Beschreibung	Gipskartonplatte
ETIM-Produktklassencode	Angabe der ETIM-Klasse der Gipskartonplatte	z.B. EC000123
ETIM-Wert 1-n	Der ETIM-Wert dient zur Identifikation und Kategorisierung von Produkten in Online-Shops, Datenbanken und anderen Systemen	z.B. EV012345
ETIM Wertbeschreibung	Beschreibung des ETIMs-Wert (z.B. feuchtraumgeeignet: ja/ nein)	ja
Logistikinformationen	Angabe des Ladungsträgers, z.B. Karton oder Palette	Palette
Datenträger	Art des Datenträgers, der sich physisch auf dem Bauprodukt oder der Versandeinheit befindet	QR-Code, Barcode
Datenaustauschformat	Format, in dem die Informationen vorliegen und übertragen werden (z.B. Excel, XML, JSON)	Excel

Tabelle 2: Datenmatrixaufbau (eigene Darstellung)

Diese Datenmatrix bildet den Ausgangspunkt für die weiteren Arbeiten im Projekt: In Arbeitspaket 2 wurde sie inhaltlich erweitert und vertieft und mündete anschließend in Arbeitspaket 3 in die Entwicklung eines standardisierten Datenmodells als Basis für die Entwicklung eines BIM und IoT-basierten Konzepts für die Bauproduktrückverfolgbarkeit (siehe Abbildung 9).

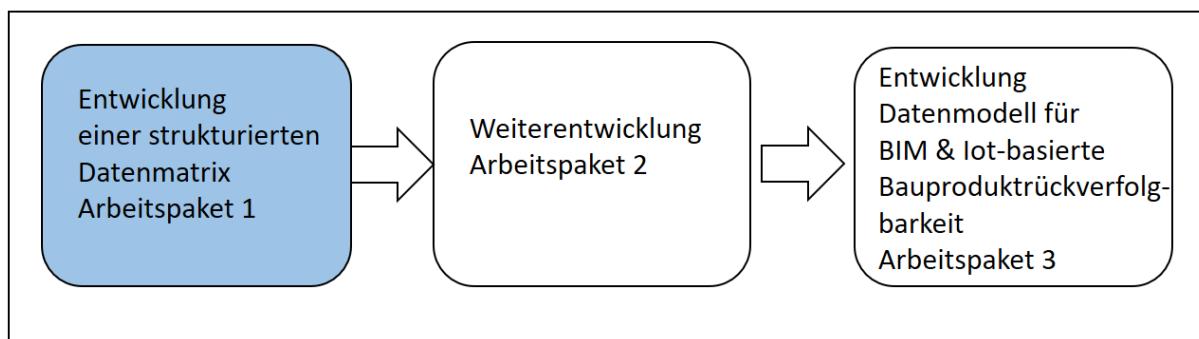


Abbildung 9: Von der Datenmatrix zum Datenmodell – schematische Darstellung des Projektverlaufs (eigene Darstellung)

7.2 Arbeitspaket 2: Analyse des Kennzeichnungssystems der Objekte in den Bauwerksinformationsmodellen aus der Planung

7.2.1 Ziel des Arbeitspakets

Ziel dieses Arbeitspakets war es, die Globally Unique Identifier (GUID) [25] aus dem Building Information Modeling (BIM) als stabile Referenz für die Identifikation geplanter Bauobjekte ab der Planungsphase zu analysieren. Dabei sollte ihre Eignung für die Verknüpfung mit realen Bauprodukten geprüft werden, die über GTINs oder serialisierte Produktkennzeichnungen identifiziert werden. Der Fokus lag auf der Verbindung zwischen digitalen Planobjekten (z. B. ein im Modell vorgesehenes Fenster) und physisch verbauten Produkten, um einen durchgängigen digitalen Zwilling zu ermöglichen.

Hierbei sollte insbesondere überprüft werden, inwiefern die GUID im praktischen Betrieb tatsächlich eineindeutig bleibt und inwieweit sie für den gesamten Lebenszyklus eines Bauprodukts (Planung – Ausführung – Nutzung – Rückbau) zuverlässig genutzt werden kann.

7.2.2 Durchführung

Die Durchführung konzentrierte sich auf die Analyse der eineindeutigen Identifikation von Objekten im BIM mittels GUID. Im Mittelpunkt standen die Anforderungen verschiedener Stakeholder, die technischen Voraussetzungen zur Sicherstellung der GUID-Stabilität über den gesamten Projektverlauf hinweg sowie die Möglichkeiten zur Wiederverwendung der GUID für die Verknüpfung mit realen Bauprodukten.

Darüber hinaus wurden die Anforderungen aus diesem Arbeitspaket mit den Ergebnissen der Datenmatrix aus Arbeitspaket 1 abgeglichen, um eine konsistente und integrierbare Lösung für ein EPCIS-basiertes Nachweis- und Rückverfolgbarkeitssystem zu entwickeln.

7.2.3 Ergebnisse

In der Bauplanung spielt das Kennzeichnungssystem für Objekte in Bauwerksinformationsmodellen eine entscheidende Rolle. Sie wird üblicherweise automatisch durch die BIM-Autoren Software generiert und soll über den gesamten Projekt- und Lebenszyklus hinweg unverändert bleiben. Jedes Objekt in einem Bauwerksinformationsmodell muss eindeutig identifizierbar sein, um Verwechslungen oder Doppelungen zu vermeiden. Hier spielt die GUID (Globally Unique Identifier) eine zentrale Rolle. Die nachfolgenden Analysen überprüfen die Eindeutigkeit der GUID.

Analyse der vorhandenen Eineindeutigkeit der GUID – Rein Mathematisch

Die Wahrscheinlichkeit der Duplikate bei der Verwendung von 128-Bit-GUIDs ist äußerst gering. Selbst bei der Generierung von 1.000.000.000 GUIDs pro Sekunde für ein Jahr beträgt die Wahrscheinlichkeit eines Duplikats nur 50%.

Analyse der vorhandenen Eineindeutigkeit – Zertifizierung und Feedback von BuildingSMART Deutschland¹

Die Hauptfunktion einer GUID besteht darin, ein Objekt eindeutig zu identifizieren. Im Rahmen der BuildingSMART Zertifizierung wird geprüft, dass in einem einzelnen Teilmodell keine doppelten GUIDs vergeben werden. Unsicherheiten entstehen hier aus folgenden Gründen:

- Faktor Mensch: Durch falsche Anwendung können Fehler entstehen.
- IT-Fehler: Durch eine falsche Programmierung können ebenfalls Fehler entstehen, die aber durch eine Zertifizierung durch BuildingSMART entdeckt werden.

Zwischenfazit der Analyse der vorhandenen Eineindeutigkeit

Die Analyse zeigt, dass die Wahrscheinlichkeit von doppelten GUIDs in der Praxis sehr gering ist und somit die Eindeutigkeit der Kennzeichnung in der Regel gewährleistet wird.

Stakeholder-Anforderungen

Die Untersuchung zeigt, dass die Anforderungen an die Eindeutigkeit der Objekte und den Detaillierungsgrad des Kennzeichnungssystems stark von den jeweiligen Stakeholdern abhängen. Fachmodellübergreifende und bauwerksübergreifende Eindeutigkeit sowie ein hoher Detaillierungsgrad der Objekte sind für alle Stakeholder von höchster Priorität. Grundstücksübergreifende und länderübergreifende Eindeutigkeit sind ebenfalls wichtig, insbesondere für große und internationale Projekte.

Die Rückverfolgbarkeit ist besonders relevant für Baustoffe und Bauteilgruppen mit sicherheits- und qualitätskritischer Funktion sowie für solche, die gesetzlichen oder normativen Anforderungen unterliegen. Dazu zählen beispielsweise tragende Bauteile, sicherheitsrelevante Komponenten wie Brandschutzelemente oder Haustechniksysteme. Durch die gezielte Nachverfolgung dieser Produkte können Qualität, Sicherheit und Compliance im Bauprozess nachhaltig gewährleistet werden.

Durch die Berücksichtigung dieser Anforderungen können Bauprojekte effizienter und erfolgreicher geplant, ausgeführt und verwaltet werden.

Wiederverwendung von GUIDs

Über mehrere Teilmodelle hinweg ist es sinnvoll, dieselbe GUID zu verwenden. Ein Beispiel hierfür ist die Liegenschaft (IfcSite), die in verschiedenen Teilmödellen wiederverwendet werden kann und sollte, da es sich immer um dasselbe Objekt handelt. Bei der (Weiter-)Entwicklung von Modellen und den darin enthaltenen Objekten ist es wichtig, darauf zu achten, dass Komponenten, unabhängig davon, ob sie unverändert bleiben oder geändert werden, dieselbe GUID behalten. Dies ist besonders wichtig, um Änderungen nachvollziehen zu können und sicherzustellen, dass alle Prozesse, die auf der GUID basieren, auch nach einer Änderung weiterhin funktionieren, beispielsweise die Kostenkalkulation¹.

Technische Herausforderungen

Abhängig vom Modellierungstool und der Modellierungstechnik können Probleme bei der Beibehaltung der GUIDs auftreten, die berücksichtigt werden sollten. Es sollte auf keinen Fall vorkommen, dass GUIDs bei einem Export neu vergeben werden. Dies sollte ausgeschlossen sein, da in den meisten Tools die interne ID der Bauteile auf die IFC-GUID abgebildet wird, was bedeutet, dass eine direkte Verbindung besteht. Die GUID kann nur geändert werden, wenn sich die interne ID des Bauteils ändert oder wenn der Export schlecht implementiert ist.

Ein klassisches Beispiel wäre, wenn ein Bauteil nicht geändert, sondern kopiert wird. Dadurch wird eine neue GUID generiert, da es sich nicht mehr um dasselbe Bauteil handelt. Dies würde zu einer neuen GUID in der IFC-Datei führen.

Im Rahmen des Arbeitspakets wurden die Anforderungen an den Detaillierungsgrad und die Eindeutigkeit der Objektkennzeichnung in der Planungsphase analysiert. Dabei wurde auch untersucht, ob es sinnvoll ist, bereits in dieser frühen Phase zusätzlich zur GUID eine GS1-Identifikation (z. B. GTIN) in das BIM-Modell zu integrieren. Eine solche Integration könnte eine präzisere und international standardisierte Kennzeichnung von Bauprodukten ermöglichen.

¹ Interview mit dem Vorstandsvorsitzenden von buildingSMART Deutschland e.V. am 05.12.23

Alternativ wurde geprüft, ob eine Verknüpfung der GS1-Identifikation außerhalb des BIM-Modells – etwa über externe Datenbanken oder Systeme – realisiert werden kann. Diese Systeme würden die GUID aus dem BIM-Modell mit der jeweiligen GS1-Identifikation des realen Produkts verbinden.

Die Analyse ergab, dass die GUID als bestehendes Kennzeichnungssystem in vielerlei Hinsicht mit den GS1-Kennzeichnungen kompatibel ist. Insbesondere im Hinblick auf die Rückverfolgbarkeit von Bauprodukten lässt sich die GTIN gut mit der GUID verknüpfen, um eine präzise Identifikation sicherzustellen.

Durch den Abgleich der Anforderungen mit den bestehenden Kennzeichnungssystemen (GUID und GS1) lässt sich festhalten:

In der Planungsphase ist die GUID als eindeutige Kennzeichnung zusammen mit wesentlichen Produktmerkmalen ausreichend, da so die Identifikation und Zuordnung im BIM-Modell gewährleistet wird.

In der Ausführungsphase ist jedoch eine ergänzende Verknüpfung mit einer eindeutigen GS1-Identifikationsnummer notwendig, um die Rückverfolgbarkeit von Bauprodukten sicherzustellen. Dies ist beispielsweise wichtig, wenn Hersteller- oder Lieferantendaten, Seriennummern oder Chargeninformationen zur Qualitätssicherung, Wartung oder im Rückruffall benötigt werden.

Ob diese Verknüpfung im BIM-Modell selbst oder über externe Systeme erfolgt, ist abhängig vom jeweiligen Anwendungsfäll zu entscheiden.

Grundprinzip: Jeder Akteur konzentriert sich auf seine Kernkompetenz – der Planer auf die Planung, der Hersteller auf die Produktkennzeichnung, der Handwerker auf die Ausführung. Die notwendige Integration erfolgt durch die Verknüpfung der eindeutigen Identen und der Nutzung strukturierter Datenmodelle, die eine bedarfsgerechte Datenbereitstellung entlang der Wertschöpfungskette ermöglichen.

7.2.4 Meilenstein 2

Meilenstein 2 ist die Entwicklung eines Kennzeichnungssystems zur eindeutigen Identifikation der Objekte in der Planungsphase, das auf die Anforderungen dieser Projektphase abgestimmt ist. Ziel ist es, eine durchgängige und fachmodellübergreifende Eineindeutigkeit im BIM-Modell zu gewährleisten.

Wie in den vorangegangenen Arbeitspaketen analysiert, erfüllt die im BIM-Autoren-System generierte GUID (Globally Unique Identifier) die Anforderungen an eine eindeutige Objektkennzeichnung in der Planungsphase. Diese GUIDs werden auf unterschiedlichen Hierarchieebenen erzeugt – beispielsweise für Gebäude, Geschosse, Räume oder Bauteile – und ermöglichen eine strukturierte Zuordnung und Verwaltung der Objekte.

Ergänzend kann die GUID auf Bauteilebene durch eine BIM-Bauteilliste um wesentliche Merkmale wie Gebäuderefenz, Geschoss, Bauteiltyp sowie geometrische Eigenschaften (z. B. Breite, Höhe, Dicke) und technische Kennwerte wie den U-Wert erweitert werden. Dies ermöglicht eine präzisere Beschreibung und Kategorisierung der Bauteile bereits in der Planungsphase und bildet die Grundlage für eine durchgängige Verknüpfung mit späteren Prozess- und Produktdaten.

In der Ausführungsphase kann – abhängig vom Anwendungsfall – zusätzlich eine Verknüpfung der GUID mit der GS1-Identifikation des realen Bauprodukts (z. B. GTIN) erfolgen, um die Nachverfolgbarkeit über den gesamten Lebenszyklus hinweg sicherzustellen.

Für die Bauproduktverfolgbarkeit wird die im Arbeitspaket 1 entwickelte Datenmatrix um die GUID erweitert (siehe Abbildung 10). Tabelle 3 zeigt exemplarisch, wie die GUID eines Objekts auf Bauteilebene mit einer GTIN und weiteren Informationen aus dem ersten Arbeitspaket verknüpft werden kann.

Merkmal	Beschreibung	Beispiele
GUID	Die Globally Unique Identifiers (GUID) ist eine 128 Bit-Zahl, und wird in der BIM-Technologie zur eindeutigen Kennzeichnung von Objektinstanzen (z.B. Projekte, Grundstücke oder Bauteile) verwendet. (Quelle: https://guidgenerator.com/)	0MHarOOTz5iBG59Ox0C6ao, z. B. fürs Gebäude oder Bauteil
Bauteil/Typ	Definition des IFC-Building Element, welches mit der entsprechenden GUID verknüpft wird.	Brandschutztür DIN LH
Breite	Angabe der Breite des Bauteils z.B. in mm oder cm	680 mm
Höhe	Angabe der Höhe des Bauteils z.B. in mm oder cm	2.115 mm
Dicke	Angabe der Dicke des Bauteils z.B. in mm oder cm	50 mm
Eigenschaften des Bauteils	Eigenschaften sind Bauteilabhängig, z.B. Feuerwiderstandsklasse oder U-Werte	Feuerwiderstandsklasse EI30
GTIN/EAN der Artikeleinheit	Die Global Trade Item Number (GTIN) identifiziert eine bestellbare Artikeleinheit. Diese Einheit ist nicht mehr teilbar oder ein Gebinde aus gleichartigen oder unterschiedlichen Produkten	4003950101885
Name Hersteller/Händler	Angabe des Namens des Herstellers oder Händlers	Jansen AG
GLN	Global Location Number (GLN) die Unternehmen und Standorte weltweit eindeutig identifiziert	4005595010199
Artikelkurzbeschreibung	Die Artikelkurzbeschreibung dient dazu, den Artikel anhand seiner charakteristischen Merkmale eindeutig zu beschreiben	Ausbauplatte GKB 12,5 600 2000 HRK (60)
Kennzeichnungsebene	Beschreibt, auf welcher Hierarchieebene ein Bauprodukt gekennzeichnet ist	Einzelstück, Verpackung, Palette
Angabe der Klassifikation	Angabe der Klassifikation (z.B. ETIM) einschließlich Versionsangabe	ETIM-9.0
ETIM-Klassenbeschreibung	Angabe der ETIM-Beschreibung	Gipskartonplatte
ETIM-Produktklassencode	Angabe der ETIM-Klasse der Gipskartonplatte	z. B. EC000123
ETIM-Wert 1-n	Der ETIM-Wert dient zur Identifikation und Kategorisierung von Produkten in Online-Shops, Datenbanken und anderen Systemen	z. B. EV012345
ETIM Wertbeschreibung	Beschreibung des ETIMs-Wert (z.B. feuchtraumgeeignet: ja/ nein)	ja
Logistikinformationen	Angabe des Ladungsträgers, z.B. Karton oder Palette	Palette
Datenträger	Art des Datenträgers, der sich physisch auf dem Bauprodukt oder der Versandseinheit befindet	QR-Code, Barcode
Datenaustauschformat	Format, in dem die Informationen vorliegen und übertragen werden (z.B. Excel, XML, JSON)	Excel

Tabelle 3: Beispiel Verknüpfung der GUID mit der GTIN und weiteren Informationen (eigene Darstellung)

Durch diese eindeutige Verknüpfung von Modell- und Produktinformationen wird sichergestellt, dass jedes Bauteil im gesamten Lebenszyklus eindeutig identifizierbar bleibt. Dies ermöglicht konsistente Datenflüsse zwischen Planung, Ausführung und späterem Rückbau. Der Abschluss von Meilenstein 2 stellt damit ein zentrales Element für die effiziente und effektive Planung von Bauprojekten und deren Weiterentwicklung in der Ausführungsphase dar. Die entwickelte Kennzeichnungsstrategie legt die Grundlage für die nachfolgenden Arbeitsschritte und ermöglicht eine nahtlose Integration und Rückverfolgbarkeit von Bauprodukten.

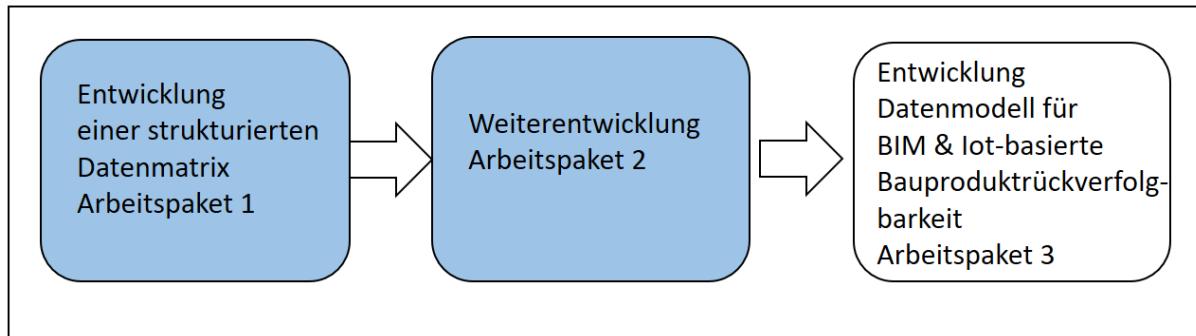


Abbildung 10: Fortschritt in der Weiterentwicklung der Datenmatrix (eigene Darstellung)

7.3 Arbeitspaket 3: Entwicklung eines BIM und IoT-basierten Konzepts für die Bauprodukt-rückverfolgbarkeit

7.3.1 Ziel des Arbeitspakets

Ziel des Arbeitspakets war die Entwicklung eines Konzepts zur standardisierten Rückverfolgbarkeit von Bauprodukten entlang ihres Lebenszyklus. Im Fokus standen die Nutzung des EPCIS-Standards sowie der Einsatz von BIM- und IoT-Technologien, um Transparenz, Qualitätssicherung, Ressourcenschonung und einen durchgängigen digitalen Informationsfluss in der Bauindustrie zu fördern. Das Konzept orientiert sich an den Anforderungen der ISO-Normen 9000 und 9001 zur Qualitätssicherung und unterstützt die Einhaltung gesetzlicher Vorgaben sowie die Erhöhung der Nachvollziehbarkeit von Bauprozessen.

Das entwickelte Konzept stellt einen modular aufgebauten Orientierungsrahmen dar, der zentrale Anforderungen und Lösungsansätze zur Bauproduktrückverfolgbarkeit systematisch zusammenführt. Es erlaubt eine schrittweise oder partielle Umsetzung, angepasst an den jeweiligen Digitalisierungsgrad, bestehende IT-Strukturen und strategische Zielsetzungen der beteiligten Akteure. Dabei versteht sich das Konzept nicht als starres Schema, sondern als flexible Grundlage, die mit betrieblichen Prozessen und internen Roadmaps harmonisiert werden kann.

Der Lebenszyklus eines Bauwerks – von der Planung über Bau und Nutzung bis hin zum Rückbau – wird dabei datenbasiert abgebildet. Ziel ist es, folgende Aspekte zu ermöglichen:

- Rückverfolgbarkeit von Bauprodukten und deren Komponenten
- Einhaltung von Nachhaltigkeits- und Qualitätsstandards
- Effiziente Prozesse insbesondere für Wartung, Rückbau und Recycling

Die technologische Basis bilden BIM, IoT und eindeutige Kennzeichnungssysteme, welche die interoperative, standardisierte und digitale Verfügbarkeit relevanter Daten über Systemgrenzen hinweg sicherstellen. Dabei ermöglicht IoT im Projekt die kontinuierliche Erfassung und Bereitstellung von Echtzeitdaten über Status und Standort von Bauprodukten, wodurch ein lückenloses Tracking und Tracing entlang des gesamten Lebenszyklus gewährleistet wird.

Zur Umsetzung der Rückverfolgbarkeit wurde der internationale GS1 Standard EPCIS (Electronic Product Code Information Services) eingesetzt. EPCIS ermöglicht die strukturierte Erfassung, Speicherung und den Austausch von Ereignisdaten entlang der Lieferkette. Auf diese Weise können Materialflüsse, Zustände und Standorte von Bauprodukten standardisiert dokumentiert und analysiert werden.

7.3.2 Durchführung

7.3.2.1 Beschreibung der Konzeptstruktur

Das Gesamtkonzept folgt einer methodisch strukturierten Herangehensweise, bei der mehrere Bau- steine funktional aufeinander abgestimmt sind und je nach Projektphase zur Anwendung kommen.

1. Grundlagen und Standardauswahl

- **Erläuterung der Funktionsweise des EPCIS-Standards**, da dieser die zentrale Rolle für den strukturierten und interoperablen Datenaustausch spielt.
- **Darstellung der Konzeptkomponenten**, etwa Ereignistypen (z. B. Object-, Aggregation- oder Transaction-Events) sowie deren Einsatzmöglichkeiten im Baukontext.
- **Analyse der Datenbereitstellung durch Hersteller**, insbesondere mit Blick auf die Qualität, Verfügbarkeit und Standardkonformität.
- **Vergleich von GS1-Identen und proprietären Hersteller-Identen**, mit einer Bewertung der Interoperabilität und Umsetzbarkeit.

2. Prozessanalyse und Validierung

Darauf aufbauend wurde der Umgang mit realen Prozessen und Anforderungen geprüft:

- **Theoretische Analyse der Fertigungs- und Einbauprozesse**, exemplarisch am Produkt „Fenster“, zur Identifikation von relevanten Ereignissen und Datenflüssen.
- **Validierung dieser Prozessanalyse durch Vor-Ort-Besuche** bei Herstellern und auf einer Baustelle.
- **Herstelleranalyse hinsichtlich Datenbereitstellung**: Welche Akteure können die notwendigen Daten für Bauproduktrückverfolgbarkeit liefern?
- **Umsetzung eines Baumarkt-Szenarios**, um die Integration handelsüblicher Produkte zu erproben.

3. Technische Umsetzung und Werkzeuge

Die Erkenntnisse wurden in technische Lösungen überführt:

- Einsatz der GS1 Workbench und des epcat-Servers zur Modellierung und Prüfung von EPCIS- Daten.
- Modellierung einer vollständigen Lieferkette – vom Rohstoff bis zum Einbau – unter Nutzung der EPCIS-Ereignistypen.
- Zusammenführung von Daten aus unterschiedlichen internen und externen Quellen in einer strukturierten Datengrundlage.
- Protégé wurde genutzt, um komplexe Datenzusammenhänge anschaulich darzustellen. Die Visualisierung diente der Konzeptveranschaulichung, nicht der technischen Umsetzung.

Abschließend wurde eine praxisnahe Umsetzung erarbeitet und ein möglicher Zukunftspfad skizziert:

- **Aufbau eines Excel-basierten Daten-Hubs**, mit dem sich Rückverfolgbarkeitsinformationen strukturiert erfassen und auswerten lassen.
- **Weiterentwicklung des Hubs in Richtung einer cloudbasierten Gebäudedatenlösung**, dargestellt als Mockup, um zukünftige Anwendungen (z. B. Rückruf, Rückbau, Wartung) zu simulieren.
- **Integration der Rückbaoperspektive** zur Berücksichtigung des vollständigen Lebenszyklus von Bauprodukten.

7.3.2.2 Erläuterung der Funktionsweise des EPCIS-Standards als elementare Grundlage des Konzepts

Der EPCIS-Standard (Electronic Product Code Information Services) ist ein globaler Standard zur Erfassung und zum Austausch von Ereignisdaten entlang der Lieferkette. Er ermöglicht die Nachverfolgung und das Management von Produkten vom Hersteller bis zum Endanwender. Die noch zu definierenden Ereignisdaten ergänzen die bisher entwickelte Datenmatrixstruktur. Durch die Integration dieser Daten können neben der Rückverfolgbarkeit vielfältige Geschäftsprozesse abgebildet werden.

Beispiele für EPCIS-Ereignisse umfassen die Herstellung, Verarbeitung, Anlieferung, Kommissionierung, Verpackung und Verwendung von Produkten. Sie eignen sich auch zur Abbildung von Montage- und Reparaturprozessen sowie zur Temperaturüberwachung in Containern und Kühllagern.

Der Vorteil für Unternehmen liegt darin, dass EPCIS ein standardisiertes Datenmodell inklusive Schnittstellen für die Erfassung und den Austausch von Ereignisdaten bietet. Zusammen mit dem flankierenden Datenstandard CBV (Core Business Vocabulary) [26] können relevante Geschäftsprozessschritte als EPCIS-Ereignis modelliert werden. EPCIS nutzt eine global einheitliche Syntax und Semantik, was es zur Lösung für interoperables und skalierbares Tracking & Tracing macht.

EPCIS spielt auch eine wichtige Rolle im Kontext des Supply Chain Event Managements, da es Unternehmen ermöglicht, kritische Abweichungen in ihren Lieferketten rechtzeitig zu erkennen und darauf zu reagieren. Durch die Verknüpfung von EPCIS-Ereignissen mit Geschäftsdokumenten (z.B. Transaktions-Events) kann nahezu in Echtzeit überprüft werden, ob die richtigen Objekte zur richtigen Zeit, in der richtigen Menge und am richtigen Ort sind.

Technische Beschreibung des EPCIS

Der GS1 EPCIS-Standard ermöglicht den Austausch von Ereignisdaten entlang der Wertschöpfungskette. Dabei wird jede Interaktion mit einem Objekt (z. B. ein Produkt oder Bauteil) als *Ereignis* (Event) erfasst – standardisiert und maschinenlesbar.

Ein solches Event beschreibt **fünf wesentliche Dimensionen**:

1. When – Wann hat das Ereignis stattgefunden?

Diese Dimension dokumentiert den genauen Zeitpunkt des Ereignisses. Sie enthält:

- **Ereigniszeit:** Datum und Uhrzeit des tatsächlichen Geschehens,
- **Zeitzonen-Offset:** Zeitverschiebung zum UTC-Zeitpunkt,
- **Aufzeichnungszeit:** Zeitpunkt, zu dem das Ereignis ins EPCIS-Repository geschrieben wurde.

So lässt sich der zeitliche Verlauf von Prozessen – z. B. Produktion, Lieferung oder Einbau – exakt nachvollziehen.

2. What – Welches Objekt ist betroffen?

Diese Ebene identifiziert die physischen oder digitalen Objekte, auf die sich das Ereignis bezieht:

- Einzelne Produkte, Chargen oder Seriennummern (z. B. GTIN + Seriennummer),
- Logistische Einheiten (z. B. NVE/SSCC),
- Komplexe Baugruppen durch **Parent-Child-Beziehungen** (z. B. Fensterrahmen mit Glaselement und Beschlägen).

So wird ersichtlich, welches Objekt wann und in welchem Zustand betroffen war – auch innerhalb mehrstufiger Produktstrukturen.

3. Where – Wo hat das Ereignis stattgefunden?

Diese Dimension beschreibt den physischen Ort des Ereignisses:

- **readPoint**: der konkrete Ort der Erfassung (z. B. Baustelle, Lager),
- **businessLocation**: der Ort, an dem sich das Objekt aktuell befindet.

Beide Orte werden idealerweise mit standardisierten Standortkennungen (z. B. **GLN**, ggf. mit Erweiterung oder Geokoordinaten) angegeben.

Scannbare Prozesse mit Hilfe von maschinenlesbaren Datenträgern wie QR-Code oder Barcode sind ideal für die effiziente Umsetzung des EPCIS - Standards, da sie Fehler durch manuelle Eingaben minimieren. Diese Datenträger können stationär (z. B. am Wareneingang oder an Produktionsstationen) oder mobil mittels Handscanner oder Smartphones gescannt werden. Die Wahl der Erfassungstechnologie richtet sich nach den Anforderungen des jeweiligen Prozesses und gewährleistet eine zuverlässige Datenerfassung.

4. Why – Warum wurde das Ereignis ausgelöst?

Diese Dimension gibt den geschäftlichen Kontext des Ereignisses an – also den Grund und Zweck:

- **Business Step**: welcher Prozessschritt wurde durchgeführt? (z. B. „Verpackung“, „Inspektion“, „Einbau“),
- **Disposition**: welcher Zustand gilt nach dem Ereignis? (z. B. „in_progress“, „active“, „recalled“),
- **Business Transaction**: welche Geschäftsvorgänge stehen im Zusammenhang? (z. B. „Purchase Order“, „Delivery Note“).

Diese Informationen machen den Ablauf transparent und geben Aufschluss über Prozessstatus und Entscheidungsgründe.

5. How – In welchem Zustand befindet sich das Objekt?

Die optionale „How“-Ebene kann zusätzliche Zustandsinformationen enthalten:

- z. B. Prüfstatus, technische Merkmale nach der Montage, Schadensklassifikation,
- oder spezifische Eigenschaften, die bei einer Inspektion festgestellt wurden.

Damit lassen sich Qualitäts- und Wartungsdaten direkt in die Ereignisverfolgung integrieren.

EPCIS-Ereignistypen

Der Schlüssel zum Tracking & Tracing

Im Rahmen des Forschungsprojekts wurde die Rückverfolgbarkeit von Bauprodukten entlang der vier zentralen Dimensionen des EPCIS-Standards betrachtet: What (Was), When (Wann), Where (Wo) und Why (Warum). Diese Dimensionen werden im EPCIS-Format strukturiert in sogenannten Events zusammengeführt (siehe Abbildung 11).



Abbildung 11: Zusammenfassung der Dimensionen (eigene Darstellung)

In der praktischen Umsetzung liegen die hierfür notwendigen Informationen jedoch nicht zentralisiert vor, sondern sind über unterschiedliche Systeme verteilt – etwa aus der Planung, Logistik, Ausführung, Qualitätssicherung oder aus Maschinendatenquellen. EPCIS dient in diesem Kontext als standardisiertes Format zur Harmonisierung dieser Informationen.

Im Forschungsprojekt lag der Schwerpunkt auf der Anwendung und Analyse der folgenden EPCIS-Eventtypen:

- Object-Event: zur Erfassung von Zustandsänderungen einzelner Objekte,
- Aggregation-Event: zur Beschreibung der Zusammensetzung oder Zerlegung von Objekten,
- Transaction-Event: zur Verknüpfung von Objekten mit Geschäftsprozessen (z. B. Bestellung oder Wartung),
- Transformation-Event: zur Beschreibung von Umwandlungen, etwa bei Verarbeitungsschritten.

Das Association-Event, das für dauerhafte physische Beziehungen wie feste Montageverbindungen vorgesehen ist, war hingegen nicht Teil der Analyse.

Die nachfolgende Darstellung orientiert sich an der Systematik der GS1 Workbench und zeigt die EPCIS-Events in der Form, in der sie für die Datenerfassung und -verarbeitung relevant sind.

1. Object-Event (vgl. Abbildung 12)

Dieser Event-Typ dient der reinen Beobachtung einzelner Objekte zu einem bestimmten Zeitpunkt an einem bestimmten Ort. Typische Anwendungsfälle sind beispielsweise der Warenversand, die Inventurerfassung oder die Wareneingangskontrolle. Es wird dokumentiert, welche Objekte wann und wo erfasst wurden – ohne eine Veränderung ihrer Struktur oder ihres Status.

	EPCIS Struktur	Beschreibung	Beispiele
	Event Type	Object Event	Im Vordergrund steht hier die reine Beobachtung von Objekten. Beispiele: Warenversand, Inventuraufnahme
	Action	Beim Object Event sind das add, observe oder delete	observe
	Event ID	wird automatisch vom System vergeben	urn:uuid:a1927d07-54db-43fc-9c00-be977ac662fa
When	Event Time	Die Zeit, zu der das tatsächliche Event stattgefunden hat	2024-04-01T08:00:00.000+02:00
	Record Time	Die Zeit, zu der das Ereignis im EPCIS System erfasst wurde	2024-04-01T09:00:00.000+02:00
	Time Zone	Auswahl der Time Zone	Europe/Berlin
	Datenbezeichner	Das GS1-Datenbezeichnerkonzept bildet Informationen strukturiert ab, sodass sie in Barcodes oder elektronischen Nachrichten kodiert werden können.	Auszug aus dem GS1 Datenbezeichnerkonzept: GTIN = 01; Seriennummer = 21; SSCC = 00; GLN = 414, GLN Erweiterungskomponente = 254; Chargennummer = 24
What	EPCs	Auswahl der EPCs, z.B. SGTIN oder SSCC	SGTIN = (01)04003982001368 (21) 10 SSCC = (00) 123456789012345002
	Quantities		2
Where	Read Point	Beschreibt den exakten Punkt, an dem ein Ereignis erfasst wird, z.B. Scannen des Barcodes, am Eingangstor oder an einer Scan-Station in einer Produktionslinie. Es wird eine eindeutige ID erfasst.	SGLN= (414) 042000000006 (254) 30
	Business Location	Beschreibt den allgemeinen Standort, wie z.B. Lager, Produktionsstätte oder Verteilzentrum. Es wird eine eindeutige ID erfasst.	SGLN= (414) 042000000017 (254) 40
Why	Business Step	Diese beschreiben die verschiedenen Phasen und Schritte eines Geschäftsprozesses, durch die ein Produkt innerhalb der Lieferkette geht. Es ermöglicht präzise zu dokumentieren und nachvollziehen, was mit dem Produkt zu einem bestimmten Zeitpunkt geschieht.	Auszug aus dem EPCIS Core Business Vocabulary: installieren, montieren, versenden, ankommen, empfangen, transportieren.....
	Disposition	Die Disposition gibt Auskunft darüber, wie mit einem Produkt weiter verfahren werden soll, oder welche Maßnahme als nächstes erforderlich ist.	verfügbar, unterwegs, beschädigt...
	Biz Transaction	Business Transaction bezeichnet eine geschäftliche Transaktion, die mit einem bestimmten Ereignis in der Lieferkette verknüpft wird. Bzw. wird eine detaillierte Nachverfolgung und Dokumentation ermöglicht.	Versand eines Produkts mit Angabe einer Rechnungs-, Bestell- oder Sendungsnummer; bei der Nachverfolgung erfolgt der Empfang mit Zuordnung zur Bestellung
	Sources	Ein EPCIS Event kann sich auf eine oder mehrere Quellen beziehen. Jede Quell Referenz besteht aus Quell Typ und Quell Identifikator	z.B. Produktionsstandort der Ereignisdaten generiert und meldet.
	Destination	Ein EPCIS Event kann sich auf eine oder mehrere Ziele beziehen. Jede Ziel Referenz besteht aus Ziel Typ und Ziel Identifikator	z.B. ein Lager, das den Empfang von Waren als Ereignisdaten meldet
	ILMD	Bezieht sich auf spezifische, instandsbezogene Stammdaten eines Produktes die in einem bestimmten Kontext oder Ereignis aufgezeichnet werden. Dieses Stammdatenattribut wird als XML-Element angegeben.	z.B. Verfallsdatum
	Extensions	Erweiterungen oder zusätzliche Informationen, die über die grundlegenden Felder und Datenstrukturen hinausgehen, die standardmäßig im EPCIS definiert sind. Diese Erweiterungen ermöglichen es, spezifische Anforderungen oder zusätzliche Details zu erfassen, die nicht durch die Standardfelder abgedeckt sind.	z.B. Herkunftsänder, zusätzliche Metadaten wie z.B. Inspektionsdetails oder Lagerbedingungen

Abbildung 12: Beispiel Object-Event (eigene Darstellung)

2. Aggregation-Event (vgl. Abbildung 13):

Aggregation-Events beschreiben die Zuordnung mehrerer Child-Objekte zu einem übergeordneten Parent-Objekt. Sie sind besonders relevant in Logistik- und Produktionsprozessen, etwa bei der Kommissionierung, Verpackung oder Verladung, wenn Artikel einem Karton und Kartons wiederum einer Palette zugeordnet werden. In der Baupraxis können Aggregation-Events auch den Zusammenbau eines Fensterelements aus mehreren Einzelbauteilen abbilden.

	EPCIS Structure	Description	Example
	Event Type	Aggregation Event	Es werden Child Objekte einem Parent Ident zugeordnet
	Action	Beim Aggregation Event sind das add, observe oder delete	add
	Event ID	wird automatisch vom System vergeben	urn:uuid:a1927d07-54db-43fc-9c00-be977ac662fa
When	Event Time	Die Zeit, zu der das tatsächliche Event stattgefunden hat	sd
	Record Time	Die Zeit, zu der das Ereignis im EPCIS System erfasst wurde	2024-04-01T09:00:00.000+02:00
	Time Zone	Auswahl der Time Zone	Europe/Berlin
	Datenbezeichner	Das GS1-Datenbezeichnerkonzept bildet Informationen strukturiert ab, sodass sie in Barcodes oder elektronischen Nachrichten kodiert werden können.	Auszug aus dem GS1 Datenbezeichnerkonzept: GTIN = 01; Seriennummer = 21; SSCC = 00; GLN = 414, GLN Erweiterungskomponente = 254; Chargennummer = 21
What	Parent ID	Auswahl der Parent ID, z.B. SGTIN. Die SGTIN setzt sich aus der GTIN und einer Seriennummer zusammen, welche durch Datenbezeichner (DB) gekennzeichnet werden.	SGTIN = (01)04003982001368 (21) 10
	Child EPCs	Die verbauten Bauprodukte bei der Aggregation, z.B. GTIN mit Chargennummer	LGTIN= (01) 04003982001368 (21) 55
	Child Quantities	Die Anzahl der einzeln verbauten Bauprodukte	z.B. 2
Where	Read Point	Beschreibt den exakten Punkt, an dem ein Ereignis erfasst wird, z.B. Scannen des Barcodes, am Eingangstor oder an einer Scan-Station in einer Produktionslinie. Es wird eine eindeutige ID erfasst.	SGLN= (414) 0420000000017 (254) 40
	Business Location	Beschreibt den allgemeinen Standort, wie z.B. Lager, Produktionsstätte oder Verteilzentrum. Es wird eine eindeutige ID erfasst.	SGLN= (414) 0420000000006 (254) 30
Why	Business Step	Diese beschreiben die verschiedenen Phasen und Schritte eines Geschäftsprozesses, durch die ein Produkt innerhalb der Lieferkette geht. Es ermöglicht präzise zu dokumentieren und nachvollziehen, was mit dem Produkt zu einem bestimmten Zeitpunkt geschieht.	Auszug aus dem EPCIS Core Business Vocabulary: installieren, montieren, versenden, ankommen, empfangen, transportieren.....
	Disposition	Die Disposition gibt Auskunft darüber, wie mit einem Produkt weiter verfahren werden soll, oder welche Maßnahme als nächstes erforderlich ist.	verfügbar, unterwegs, beschädigt...
	Biz Transaction	Business Transaction bezeichnet eine geschäftliche Transaktion, die mit einem bestimmten Ereignis in der Lieferkette verknüpft wird. Bzw. wird eine detaillierte Nachverfolgung und Dokumentation ermöglicht.	Versand eines Produkts mit Angabe einer Rechnungs-, Bestell- oder Sendungsnummer; bei der Nachverfolgung erfolgt der Empfang mit Zuordnung zur Bestellung
	Sources	Ein EPCIS Event kann sich auf eine oder mehrere Quellen beziehen. Jede Quelle Referenz besteht aus Quell Typ und Quell Identifikator	z.B. Produktionsstandort der Ereignisdaten generiert und meldet.
	Destination	Ein EPCIS Event kann sich auf eine oder mehrere Ziele beziehen. Jede Ziel Referenz besteht aus Ziel Typ und Ziel Identifikator	z.B. ein Lager, das den Empfang von Waren als Ereignisdaten meldet
	Extensions	Erweiterungen oder zusätzliche Informationen, die über die grundlegenden Felder und Datenstrukturen hinausgehen, die standardmäßig im EPCIS definiert sind. Diese Erweiterungen ermöglichen es, spezifische Anforderungen oder zusätzliche Details zu erfassen, die nicht durch die Standardfelder abgedeckt sind.	z.B. Herkunftsänder, zusätzliche Metadaten wie z.B. Inspektionsdetails oder Lagerbedingungen

Abbildung 13: Beispiel Aggregation Event (eigene Darstellung)

3. Transaction-Event (vgl. Abbildung 14):

Transaction-Events dokumentieren die Verknüpfung eines Objekts mit einem geschäftlichen Vorgang. Hierzu wird das Objekt mit einer Transaktions-ID (z. B. einer Rechnungsnummer, Lieferavis-ID oder Bestellnummer) verbunden. Relevant ist dies z.B. bei der Zuweisung einer Versandseinheit zu einem konkreten Geschäftsprozess, wie einer Bestellung oder einem Liefervorgang.

	EPCIS Structure	Description	Example
	Event Type	Transaction Event	Die gelesenen Objekte müssen mit einer Transaktions-ID verknüpft werden. Beispiel: Verknüpfung einer Versandseinheit mit der Rechnungs- oder Lieferavis-ID.
	Action	Beim Transaction Event sind das add, observe oder delete	Observe
	Event ID	wird automatisch vom System vergeben	urn:uuid:a1927d07-54db-43fc-9c00-be977ac662fa
When	Event Time	Die Zeit, zu der das tatsächliche Event stattgefunden hat	2024-04-01T08:00:00.000+02:00
	Record Time	Die Zeit, zu der das Ereignis im EPCIS System erfasst wurde	2024-04-01T09:00:00.000+02:00
	Time Zone	Auswahl der Time Zone	Europe/Berlin
	Datenbezeichner	Das GS1-Datenbezeichnerkonzept bildet Informationen strukturiert ab, sodass sie in Barcodes oder elektronischen Nachrichten kodiert werden können.	Auszug aus dem GS1 Datenbezeichnerkonzept: GTIN = 01; Seriennummer = 21; SSCC = 00; GLN = 414, GLN Erweiterungskomponente = 254; Chargennummer = 21
What	Parent ID	Auswahl der Parent ID, z.B. SGTIN	SGTIN = (01)04003982001368 (21) 10
	EPCs	Auswahl der EPCs, z.B. SGTIN	SGTIN = (01)04003982001368 (21) 10
	Quantities		2
Where	Read Point	Beschreibt den exakten Punkt, an dem ein Ereignis erfasst wird, z.B. Scannen des Barcodes, am Eingangstor oder an einer Scan-Station in einer Produktionslinie. Es wird eine eindeutige ID erfasst.	SGLN= (414) 042000000006 (254) 30
	Business Location	Beschreibt den allgemeinen Standort, wie z.B. Lager, Produktionsstätte oder Verteilzentrum. Es wird eine eindeutige ID erfasst.	SGLN= (414) 0420000000017 (254) 40
Why	Business Step	Diese beschreiben die verschiedenen Phasen und Schritte eines Geschäftsprozesses, durch die ein Produkt innerhalb der Lieferkette geht. Es ermöglicht präzise zu dokumentieren und nachvollziehen, was mit dem Produkt zu einem bestimmten Zeitpunkt geschieht.	Auszug aus dem EPCIS Core Business Vocabulary: installieren, montieren, versenden, ankommen, empfangen, transportieren.....
	Disposition	Die Disposition gibt Auskunft darüber, wie mit einem Produkt weiter verfahren werden soll, oder welche Maßnahme als nächstes erforderlich ist.	verfügbar, unterwegs, beschädigt...
	Biz Transaction	business transaction bezeichnet eine geschäftliche Transaktion, die mit einem bestimmten Ereignis in der Lieferkette verknüpft wird. Bzw. wird eine detaillierte Nachverfolgung und Dokumentationen ermöglicht.	Versand eines Produkts mit Angabe einer Rechnungs-, Bestell- oder Sendungsnummer; bei der Nachverfolgung erfolgt der Empfang mit Zuordnung zur Bestellung
	Sources	Ein EPCIS Event kann sich auf eine oder mehrere Quellen beziehen. Jede Quell Referenz besteht aus Quell Typ und Quell Identifikator	z.B. Produktionsstandort der Ereignisdaten generiert und meldet.
	Destination	Ein EPCIS Event kann sich auf eine oder mehrere Ziele beziehen. Jede Ziel Referenz besteht aus Ziel Typ und Ziel Identifikator	z.B. ein Lager, das den Empfang von Waren als Ereignisdaten meldet
	Extensions	Erweiterungen oder zusätzliche Informationen, die über die grundlegenden Felder und Datenstrukturen hinausgehen, die standardmäßig im EPCIS definiert sind. Diese Erweiterungen ermöglichen es, spezifische Anforderungen oder zusätzliche Details zu erfassen, die nicht durch die Standardfelder abgedeckt sind.	z.B. Herkunftsänder, zusätzliche Metadaten wie z.B. Inspektionsdetails oder Lagerbedingungen

Abbildung 14: Beispiel Transaction-Event (eigene Darstellung)

4. Transformation-Event (vgl. Abbildung 15):

Transformation-Events erfassen die irreversible Umwandlung von einem oder mehreren Input-Objekten in ein oder mehrere Output-Objekte. Damit lassen sich Fertigungs- oder Bauprozesse dokumentieren, in denen Materialien dauerhaft ihre Form oder Funktion ändern. Beispiele aus der Baupraxis sind die Transformation einer Fenster-Aluminium-Stange zum Fensterprofil.

	EPCIS Structure	Description	Example
	Event Type	Transformation Event	Event (Erfassung von 1-n Inputs, welche irreversibel zu 1-n Outputs verarbeitet werden. Beispiel: aus einer Alu Stange als Rohstoff werden Profile für ein Fenster hergestellt.
	Event ID	wird automatisch vom System vergeben	urn:uuid:a1927d07-54db-43fc-9c00-be977ac662fa
When	Event Time	Die Zeit, zu der das tatsächliche Event stattgefunden hat	2024-04-01T08:00:00.000+02:00
	Record Time	Die Zeit, zu der das Ereignis im EPCIS System erfasst wurde	2024-04-01T09:00:00.000+02:00
	Time Zone	Auswahl der Time Zone	Europe/Berlin
	Datenbezeichner	Das GS1-Datenbezeichnerkonzept bildet Informationen strukturiert ab, sodass sie in Barcodes oder elektronischen Nachrichten kodiert werden können.	Auszug aus dem GS1 Datenbezeichnerkonzept: GTIN = 01; Seriennummer = 21; SSCC = 00; GLN = 414, GLN Erweiterungskomponente = 254; Chargennummer = 21
What	Xform ID	Eine eindeutige ID, die den spezifischen Transformationsprozess beschreibt (z. B. der Herstellungsprozess, bei dem die Alustange in Profile geschnitten oder gepresst wird).	Otto Fuchs Transformation Alu Stange in Fensterprofile= OF4711_Aluprozess
	Input EPCs	Variante A: Serialisierte Produkte, z.B. Alu Stange	SGTIN = (01)04003982001368 (21) 10
	Input Quantities	Variante B: Produkte mit z.B. einer Chargennummer	LGTIN = (01) 04003982001368 (21) 55 + Menge
	Output EPCs	Variante A: Serialisierte Produkte, z.B. Profil aus Alu Stange	SGTIN = (01)04003982001368 (21) 10
	Output Quantities	Variante B: Produkte mit z.B. einer Chargennummer inkl. Menge	LGTIN = (01) 04003982001368 (21) 55 + Menge
Where	Read Point	Beschreibt den exakten Punkt, an dem ein Ereignis erfasst wird, z.B. Scannen des Barcodes, am Eingangstor oder an einer Scan-Station in einer Produktionslinie. Es wird eine eindeutige ID erfasst.	SGLN = (414) 042000000006 (254) 30
	Business Location	Beschreibt den allgemeinen Standort, wie z.B. Lager, Produktionsstätte oder Verteilzentrum. Es wird eine eindeutige ID erfasst.	SGLN = (414) 042000000017 (254) 40
Why	Business Step	Diese beschreiben die verschiedenen Phasen und Schritte eines Geschäftsprozesses, durch die ein Produkt innerhalb der Lieferkette geht. Es ermöglicht präzise zu dokumentieren und nachvollziehen, was mit dem Produkt zu einem bestimmten Zeitpunkt geschieht.	Auszug aus dem EPCIS Core Business Vocabulary: installieren, montieren, versenden, ankommen, empfangen, transportieren.....
	Disposition	Die Disposition gibt Auskunft darüber, wie mit einem Produkt weiter verfahren werden soll, oder welche Maßnahme als nächstes erforderlich ist.	verfügbar, unterwegs, beschädigt...
	Biz Transaction	business transaction bezeichnet eine geschäftliche Transaktion, die mit einem bestimmten Ereignis in der Lieferkette verknüpft wird. Bzw. wird eine detaillierte Nachverfolgung und Dokumentation ermöglicht.	Versand eines Produkts mit Angabe einer Rechnungs-, Bestell- oder Sendungsnummer; bei der Nachverfolgung erfolgt der Empfang mit Zuordnung zur Bestellung
	ILMD	Bezieht sich auf spezifische, instandsbezogene Stammdaten eines Produktes die in einem bestimmten Kontext oder Ereignis aufgezeichnet werden. Dieses Stammdatenattribut wird als XML-Element angegeben.	z.B. Verfallsdatum
	Extensions	Erweiterungen oder zusätzliche Informationen, die über die grundlegenden Felder und Datenstrukturen hinausgehen, die standardmäßig im EPCIS definiert sind. Diese Erweiterungen ermöglichen es, spezifische Anforderungen oder zusätzliche Details zu erfassen, die nicht durch die Standardfelder abgedeckt sind.	z.B. Herkunftsänder, zusätzliche Metadaten wie z.B. Inspektionsdetails oder Lagerbedingungen

Abbildung 15: Beispiel Transformation-Event (eigene Darstellung)

Best Practices aus anderen Branchen

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Analyse bestehender EPCIS-Lösungen in anderen Branchen dargestellt, um auch das Übertragungspotenzial und die Anpassungsmöglichkeiten für die Bau- und Immobilienwirtschaft zu evaluieren. Beispielsweise wird in der Lebensmittelbranche die Rückverfolgbarkeit von Fleisch oder Fisch mithilfe des EPCIS-Standards sichergestellt (vgl. Abbildung 16).



Abbildung 16: Analyse vorhandener EPCIS Lösungen im Lebensmitteleinzelhandel

Beispielsweise erhält man bei EDEKA über bestimmte Kennzeichnungen (Kennzeichnungsträger QR-Code) auf der Verpackung Herkunftsinformationen zu Fleischlieferanten, wie Informationen über Aufzucht und Mast, Namen der Fleisch- und Wurstbetriebe und weitere relevante Informationen über die jeweilige Wertschöpfungskette [27].

Bei der Metro (nach eigenen Angaben [28] größter Fischhändler Europas) erhält man mit der Kombination der Produkt ID und der LOT-Nummer (Chargennummer) detaillierte Informationen zur Herkunft der Fische. Die Kombination der Produkt ID mit der LOT Nummer kann insbesondere für die Bauindustrie, mit ihrer vielfältigen Bauproduktpalette, ein vielversprechender Ansatz sein.

7.3.2.3 Theoretische Analyse der Fertigungs- und Einbauprozesse von Fenstern in Bauwerke

Um die Prozesse in der Bauwirtschaft zu verstehen, wurde zusammen mit den Projektpartnern Goldbeck Technologies GmbH und Schüco International KG ein Implementierungsplan am Beispiel der Fensterproduktion entwickelt (siehe Abbildung 17).

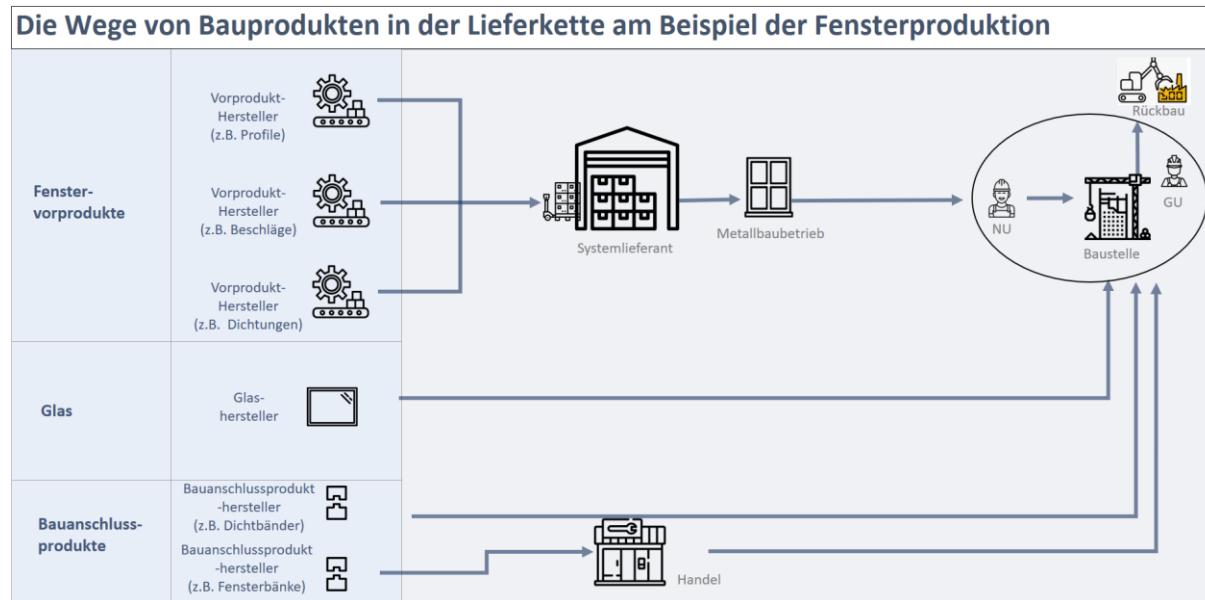


Abbildung 17: Analyse der Prozesskette in der Fensterproduktion (eigene Darstellung)

In diesem Beispiel sind alle Bauelemente abgebildet, die im Rahmen der Fensterproduktion benötigt werden. Darüber hinaus sind in diesem Prozess unterschiedliche Bauprodukthersteller involviert. Abbildung 17 zeigt außerdem die unterschiedlichen Produktwege zur Baustelle. Hinweis: In diesem Bei-

spiel wird das Fenster als eigenständiges Bauteil dargestellt. Im späteren Prozess von Goldbeck Technologies GmbH ist das Glas hingegen Bestandteil eines größeren Verbundelements (Betonfertigwand) und wird nicht separat geliefert.

In der folgenden Abbildung 18 ist mit grünen Pfeilen dargestellt, an welchen Stationen entlang der Lieferkette grundsätzlich relevante Informationen für die Rückverfolgbarkeit entstehen; die Pfeile symbolisieren dabei die Anlieferung, Bearbeitung und Auslieferung. Dabei geht es in dieser Darstellung nicht um eine Bewertung der Informationsmenge oder -tiefe, sondern um die Verortung potenzieller Datenquellen.

Der EPCIS-Standard bildet die Grundlage, um die an diesen Punkten entstehenden Informationen einheitlich, strukturiert und systemübergreifend abzubilden. Die konkrete Datenverknüpfung und Informationsauswertung erfolgt anwendungsfallspezifisch, z. B. für Rückruf-, Montage- oder Wartungsszenarien.

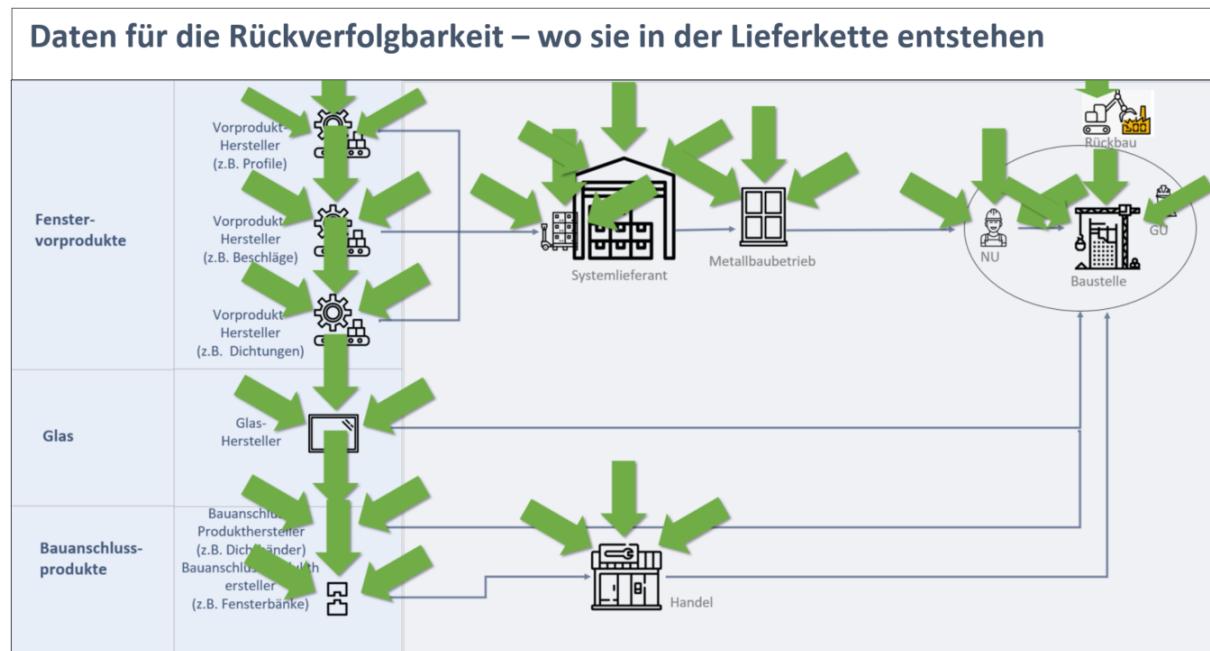


Abbildung 18: Datenentstehung für die Rückverfolgbarkeit entlang der Lieferkette (eigene Darstellung)

Damit ist ein strukturierter Rahmen geschaffen, der aufzeigt, an welchen Stellen im Fertigungs- und Einbauprozess relevante Informationen in der Fensterproduktion entstehen.

Der anschließende Praxisabgleich dient dazu, die theoretischen Annahmen mit realen Abläufen zu vergleichen, um herauszufinden, welche Daten tatsächlich vorliegen, wo Informationslücken bestehen und wie diese Erkenntnisse in die Entwicklung eines umsetzbaren Konzepts für eine digitale, medienbruchfreie Informationsverfügbarkeit einfließen können.

7.3.2.4 Validierung der theoretischen Prozessanalyse durch Vor-Ort Besuche

Die folgende Abbildung 19 zeigt den Gesamtprozess von der Planung im As-Planned-Modell über die praktischen Beobachtungen in der Fertigung und auf der Baustelle bis hin zur Verknüpfung der gewonnenen Informationen im BIM-Modell, inkl. der Bereitstellung von Daten für die Kreislaufwirtschaft über die Plattform von Madaster.

Im Rahmen des Praxisabgleichs wurden dazu Werksbesuche im Juli und August 2024 bei Otto Fuchs KG, Goldbeck Bauelemente Bielefeld GmbH, dem Goldbeck Betonelemente GmbH Werk sowie

auf einer Baustelle in Weinsberg durchgeführt. Ergänzend flossen die Expertisen von Schüco International KG und der Madaster Germany GmbH über die aktive Projektbeteiligung in die Analyse ein.



Abbildung 19: Abbildung der Lieferkette (eigene Darstellung)

Werksbesichtigung Metallbau – Otto Fuchs KG & Schüco International KG

Beim Metall Verarbeiter Otto Fuchs am Standort Meinerzhagen bot sich die Gelegenheit, den Prozess der Transformation von Aluminiumprofilen zu Fensterprofilen im Detail nachzuvollziehen. Darüber hinaus konnten auch angrenzende Fertigungsprozesse aus der Automobil- und Luftfahrtindustrie betrachtet werden. Besonders in der Luftfahrtindustrie ist eine durchgehende Rückverfolgbarkeit von Produkten zwingend erforderlich, in der Automobilindustrie wird sie größtenteils ebenfalls umgesetzt. Die bei Otto Fuchs gefertigten Fensterprofile wurden im Auftrag der Firma Schüco produziert, die diese wiederum zusammen mit weiteren Fensterbaukomponenten an Goldbeck-Metallbau in Bielefeld weiterlieferte.

Werksbesichtigung - Fensterkonstruktionswerk Goldbeck Bauelemente Bielefeld GmbH

Goldbeck ist technologisch geprägt, da es Bauprojekte nicht in konventioneller Bauweise, sondern im System realisiert. Das Unternehmen fertigt die Elemente industriell in eigenen Werken vor, montiert sie vor Ort und übergibt schlüsselfertige Gewerbegebäute.

Das Konstruktionswerk in Bielefeld übernimmt im Fensterbau die Funktion des Metallbauers. Hier wird der im Projekt geplante Fensterrahmen aus allen bestehenden Komponenten in Form eines Werksauftrags zusammengebaut. Der fertig gestellte Rahmen wird an das Betonwerk in Hamm geliefert, in dem das Fensterglas und alle weiteren dazugehörigen Elemente in eine Betonwand eingebaut werden. Das fertige Element wird im weiteren Prozess auf der Baustelle im Raum Stuttgart verbaut.

Die einzelnen Bauelemente des Fensterrahmens sind durchweg mit QR-Codes und Barcodes gekennzeichnet und können entsprechend gescannt werden. Die gescannten Informationen werden automatisiert in Softwareprogramme gespeichert, so dass jeder einzelne Prozessschritt dokumentiert ist. Jedoch ist die Zielsetzung von Goldbeck die Optimierung der Produktion und nicht die Bauproduktrückverfolgbarkeit, so dass mit Blick auf die Bauproduktrückverfolgbarkeit Medienbrüche vorhanden sind. Auch bei der Verknüpfung mit dem BIM-Modell ist noch keine klare Vorgehensweise definiert. Zudem nutzt Goldbeck ein eigenes Kennzeichnungssystem zur Identifizierung und Dokumentation der einzelnen Prozessschritte. Dies ist hier möglich, da Goldbeck mit festen Lieferanten zusammenarbeitet.

Werksbesichtigung – Goldbeck Betonelemente GmbH Hamm

Im Anschluss an die Vormontage im Konstruktionswerk Bielefeld erfolgt im Goldbeck-Betonwerk in Hamm der nächste Verarbeitungsschritt: Der zuvor gefertigte Fensterrahmen wird in eine vorgeplante Betonwand integriert und an die Baustelle versendet (vgl. Abbildung 20).



Abbildung 20: Versand von Betonwandelementen zur Baustelle, eigene Aufnahme, Hamm, Juli 2024

Auch in diesem Werk ist der Produktionsprozess hochgradig standardisiert und folgt einem internen Nummernsystem zur Produktkennzeichnung. Die Herstellung des Bauteils erfolgt über mehrere aufeinander abgestimmte Stationen hinweg. Das fertige Wandelement wird anschließend auf die zugewiesene Baustelle geliefert.

Wie bereits im vorangegangenen Produktionsschritt liegt auch hier der Fokus auf der Effizienz der Fertigung. Eine übergeordnete, systematische Verknüpfung mit externen Rückverfolgbarkeitssystemen oder BIM-Modellen ist bislang nicht vorgesehen. Damit zeigt sich auch an diesem Punkt der Lieferkette ein Medienbruch hinsichtlich einer durchgängigen Bauproduktverfolgbarkeit.

Baustellenbesuch – Einbau des Bauelements vor Ort

Im letzten Abschnitt des dokumentierten Lieferkettenprozesses wurde die Baustelle in Weinsberg besucht, auf der die vorgefertigte Betonwand mit integriertem Fensterrahmen eingebaut wurde. Vor Ort konnte der vollständige Ablauf des Einbaus beobachtet und nachvollzogen werden – vom Transport des Elements bis zur finalen Positionierung und Montage am Gebäude.



Abbildung 21: Einbau der Betonelemente Wand auf der Baustelle im Raum Stuttgart, eigene Aufnahme, Juli 2024

Der Baustellenbesuch ermöglichte wichtige Einblicke in die Organisation und Ablaufplanung vor Ort. Dabei wurde deutlich, dass auch hier stark standardisierte Prozesse zum Einsatz kommen, die durch interne Planungstools und Projektmanagementsoftware gestützt werden. Die Dokumentation erfolgt teilweise digital, beispielsweise über mobile Endgeräte zur Erfassung von Montagefortschritten, erfolgt jedoch primär im Rahmen unternehmensinterner Systeme.

Mit Blick auf eine durchgängige Bauproduktverfolgbarkeit zeigte sich, dass die digitale Erfassung des Einbaus derzeit noch nicht mit übergeordneten Datenmodellen – wie einem BIM-Modell – oder interoperablen Rückverfolgbarkeitsstandards verknüpft ist. Damit setzt sich auch auf der letzten Stufe

des betrachteten Prozesses das Bild fort, dass eine ganzheitliche, systemübergreifende Rückverfolgbarkeit derzeit nicht realisiert ist, obwohl die einzelnen Prozessschritte gut strukturiert und digital unterstützt ablaufen.

7.3.2.5 Analyse der Datenbereitstellung durch Hersteller im Kontext der Bauproduktrückverfolgbarkeit

In Zusammenarbeit mit den Projektpartnern Schüco International KG, dormakaba GmbH, Gebrüder Jäger GmbH und Xella Deutschland GmbH wurde untersucht, ob die Hersteller und Lieferanten in der Lage sind, die gewünschten Informationen für die Bauproduktrückverfolgbarkeit zu liefern und in welchem Datenformat die Daten dem Markt zur Verfügung gestellt werden können. Diese Analyse wurde in zweiwöchentlichen Online-Meetings im Zeitraum Januar bis Mai 2024 durchgeführt. Dabei wurden sowohl die vorhandenen Datenquellen als auch die möglichen Formate für den Datenaustausch evaluiert.

Die Analyse zeigte, dass die Produktdateninformationen derzeit in unterschiedlichen Systemen gespeichert sind – darunter ERP-Systeme, SAP-Anwendungen und verschiedene dezentrale Serverstrukturen. Dies erschwert die Bereitstellung relevanter Informationen, da die Daten häufig manuell aus unterschiedlichen Quellen zusammengetragen werden müssen.

Einige Projektpartner setzen bereits Product Information Management-Systeme (PIM-Systeme) [29] ein, die Produktinformationen aus verschiedenen Quellen – etwa ERP-Systemen, Bilddatenbanken oder Excel-Dateien – zentralisieren. PIM-Systeme (siehe Abbildung 22) ermöglichen es, diese zentralisierten Daten in den jeweils benötigten Formaten für unterschiedliche Anwendungszwecke und Vertriebskanäle bereitzustellen. In diesem Zusammenhang übernimmt der Onboarder die Aufgabe, Daten aus Quellsystemen wie ERP in das PIM-System einzubringen. Der Designer formatiert diese Daten anschließend gemäß den Anforderungen des jeweiligen Empfängers, beispielsweise für die standardisierte Bereitstellung im ETIM-Format.

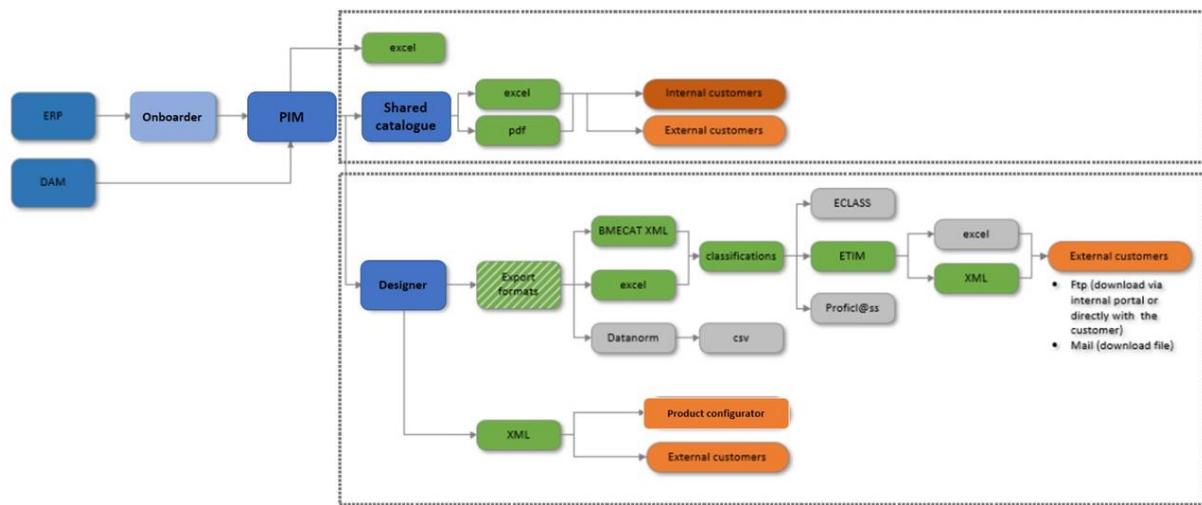


Abbildung 22: Anonymisierte Systemarchitektur des PIM System eines Projektpartners

Spezialisierte Konfigurationslösungen oder Portale wie der Systemfinder von Knauf Digital GmbH [30] oder SchüCal von Schüco International KG [31] übernehmen eine zentrale Rolle in der frühen Phase der Produktdefinition. Sie ermöglichen die anwendungsspezifische Auslegung und technische Zusam-

menstellung von Bauelementen – etwa Fenster- oder Türsystemen – auf Basis normativer Anforderungen, systembasierter Regeln und herstellerspezifischer Vorgaben. Die erzeugten Stücklisten, Massenauszüge oder Angebotsunterlagen liefern strukturierte und weitgehend standardisierte Daten, die als Grundlage für nachgelagerte Prozessschritte dienen.

Obwohl diese Tools nicht als klassische PIM-Systeme fungieren, können ihre Ausgaben in übergeordnete Datenmanagementsysteme wie PIM, ERP oder BIM-Datenkataloge integriert werden. Damit leisten sie einen wichtigen Beitrag zur konsistenten Datenbereitstellung entlang der Lieferkette.

Im Kontext des Projekts bilden diese Systeme einen wichtigen Baustein auf dem Weg zu einem Single Point of Truth (SPoT), der im Rahmen der Konzeptentwicklung angestrebt wird. So wurde beispielsweise eine aus SchüCal generierte Massenzusammenstellung als strukturierte Datengrundlage in die weitere Prozesskette übernommen (siehe Abbildung 23). Durch die Integration der in PIM-Systemen und Konfigurationstools erzeugten Informationen in eine standardisierte, interoperable Datenstruktur nach ISO 23386 entsteht die Grundlage für eine transparente, maschinenlesbare und rückverfolgbare Informationsverarbeitung über alle Lebenszyklusphasen hinweg.

Massenzusammenstellung								
Lieferant:	Schüco	Preisstand Aluminium:	01.06.2023, Artikelstand: 02.11.2023					
Projekt:	Musterprojekt BUW Projekt BIM & IoT	Art. Nr.	Bezeichnung	Oberfl. Preis in €	Preis Oberfläche	Preis Summe	Menge in St.o.d.Me	Lieferung
	Profile							
225129	Blendrahmen 44/69	11 70	194,07	1,12	195,19	3,660	1 Sta	6000 6,676
247033	Flügelrahmen 56/41	11 70	189,29	1,21	190,50	3,348	1 Sta	6000 6,254
	Glasleiste 22-27	11 70	19,79	0,45	20,24	2,812	1 Sta	6000 0,818
	Fensterbeschläge							
247131	Senkschraube B ST4x1615		5,82	0,00	5,82	13,000	1 VE	100 0,021
247180	Fe-Steckgr. abschl,1st RC C0 iw		48,78	0,00	48,78	1,000	1 Stück	0,228
277001	Griffrosette abschl RC Si-L iw		10,21	0,00	10,21	1,000	1 Stück	0,042
277257	Komplettbeschlag DK 300 a 130kg LS iw		87,40	0,00	87,40	1,000	1 Stück	1,451
277180	Kammergetriebe 23 sym a LS/RS iw		13,47	0,00	13,47	1,000	1 Stück	0,237
277401	Eigenanschlag 90° LS iw		5,38	0,00	5,38	1,000	1 VE	10 0,060
277876	Anbohrschutz sym RC2-3 iw		10,30	0,00	10,30	1,000	1 Stück	0,164
277906	Riegelstange Hybrid		15,30	0,00	15,30	1,778	1 Sta	6000 0,235
277912	Riegelsl. Sicher. RC2-3 iw		1,10	0,00	1,10	1,000	1 VE	10 0,006
277918	Aushebelsicherung RC iw		2,32	0,00	2,32	1,000	1 VE	10 0,042
277941	Riegelstück Comfort a 160kg iw		16,99	0,00	16,99	6,000	1 VE	50 0,369
	Schließstück a 160kg RC2 iw		26,61	0,00	26,61	6,000	1 VE	10 0,492
	Dichtungen							
224310	Anschlagdichtung		1,62	0,00	1,62	3,346	1 VE	200 0,117
284203	Mitteldichtungsecke		7,21	0,00	7,21	4,000	1 VE	20 0,128
284321	Glasanagedichtung 6		3,05	0,00	3,05	2,800	1 VE	100 0,210
284828	Mitteldichtung		26,32	0,00	26,32	2,941	1 VE	40 1,114
284835	Glasdichtung 5-6		3,38	0,00	3,38	2,866	1 VE	100 0,236

Abbildung 23: Auszug der Massenzusammenstellung aus dem SchüCal-Projektzugang

Herausforderungen und Flexibilität

Die Projektpartner zeigen eine hohe Flexibilität hinsichtlich der Austauschformate und Datenstrukturen, um sich unterschiedlichen Marktanforderungen anzupassen. Neben Excel und PDF werden auch strukturierte Formate wie XML oder JSON unterstützt. Auch bei den verwendeten Klassifikations- und Kennzeichnungssystemen orientieren sich die Unternehmen an den Anforderungen unterschiedlicher Stakeholder.

Ziel ist es, zukünftig ein zentrales PIM-System als alleinige Datenquelle zu etablieren. Dies würde eine einheitliche, automatisierte und konsistente Datenbereitstellung ermöglichen und die Komplexität des Datenaustauschs deutlich reduzieren.

Die **zentrale Herausforderung** besteht in der Konsolidierung der fragmentierten Daten aus den diversen Systemlandschaften von unterschiedlichen Herstellern und Akteuren in der Lieferkette.

7.3.2.6 Einsatz technischer Werkzeuge zur Validierung und Verarbeitung der EPCIS-Daten

Zur modellhaften Erprobung und Validierung des entwickelten Konzepts kamen zwei zentrale Werkzeuge zum Einsatz: die GS1 Workbench [32] sowie der epcat-Server [33]. Beide Tools unterstützen die Erstellung, Prüfung und Analyse EPCIS-konformer Daten und wurden im Forschungsprojekt gezielt eingesetzt, um exemplarische Datenflüsse und Use Cases wie Einbau, Rückruf, Rückbau und Wartung realitätsnah abzubilden.

GS1 Workbench

Die GS1 Workbench ist ein kostenfreies, webbasiertes Tool zur Erstellung und strukturierten Erfassung von EPCIS-Ereignissen entlang der vier Dimensionen: *Was*, *Wann*, *Wo* und *Warum* (siehe Abbildung 24 und Abbildung 25). Durch farblich gestaltete Eingabemasken ist die Anwendung besonders benutzerfreundlich – auch für nicht-technisch-affine Personen. Die Workbench erzeugt aus den Eingaben automatisch EPCIS-konforme XML-Nachrichten und weist bei fehlerhaften oder unvollständigen Angaben unmittelbar auf Inkonsistenzen hin (siehe Abbildung 26).

Bei der Eingabe der Daten wird automatisch eine EPCIS-konforme XML-Nachricht erzeugt. Falsche oder unvollständige Angaben führen zu klaren Fehlermeldungen, wodurch die Qualität und Konsistenz der erstellten Daten sichergestellt wird. Die erzeugten XML-Dateien können anschließend an EPCIS-konforme Server – wie beispielsweise epcat – übermittelt und dort verarbeitet werden (siehe Abbildung 27). Zudem unterstützt die Workbench Abrufe und Tests von EPCIS-Daten aus dem epcat-System, wodurch sowohl die Erstellung als auch die Abfrage digitaler Ereignisdaten in einem integrierten Umfeld erprobt werden kann.

Bei der Dateneingabe profitieren Anwender von einer unmittelbaren Qualitätskontrolle: Falsche oder unvollständige Angaben werden sofort erkannt, wodurch die Konsistenz der Ereignisdaten gesichert ist. Die so erzeugten XML-Dateien können nicht nur an EPCIS-konforme Server – wie epcat – übermittelt und dort weiterverarbeitet werden (siehe Abbildung 27), sondern auch für Testabfragen genutzt werden. Damit unterstützt die Workbench den gesamten Zyklus von der Datenerfassung über die Validierung bis hin zur Abfrage in einem integrierten Umfeld.

Im Rahmen des Forschungsprojekts diente die GS1 Workbench insbesondere dazu, die technische Umsetzbarkeit typischer Ereignisverknüpfungen zu verstehen und umzusetzen – etwa Parent-Child-Relationen – zu modellieren, auf Standardkonformität zu prüfen und visuell nachvollziehbar darzustellen.

The screenshot shows the 'EPCIS Workbench' interface with the title 'Create a new EPCIS Event (contained in an EPCIS Document)'. The form includes fields for Dataset Name ('New EPCIS Document'), Event Type ('Choose... Ordinary Event'), Event ID ('Enter an Event ID (seldom needed - see FAQ)'), Event Time ('Europe/Berlin'), Record Time ('Europe/Berlin'), Read Point ('Choose...'), Business Location ('Choose...'), Business Step URI ('Enter a business step URI'), Disposition URI ('Enter a disposition URI'), Biz Transactions ('ADD ANOTHER'), and Extensions ('ADD ANOTHER'). Buttons for 'SAVE' and 'CANCEL' are at the bottom.

Abbildung 24: Benutzeroberfläche der GS1 Workbench (Screenshot)

The screenshot shows the 'DATASET INFO' tab with '1 EVENT', '0 ERRORS', and 'XML' options. Below is the 'EVENT 1' view:

Type	Event Type	Transformation Event EPCIS 1.1
Type	Event ID	urn:uuid:66e38aa5-a78b-4769-8a18-d3a7ea018635 EPCIS 1.2
When	Event Time	2025-02-27 00:00:00.000 GMT+01:00
When	Record Time	2025-02-27 09:00:00.000 GMT
What	"What" Dimension	Transformation ID Rohstofflieferant:Aluprozess:4711 Inputs GTIN 04003982001993 Lot 55 Unknown Quantity Outputs GTIN 04012345678901 Lot 55 Quantity 4
Where	Read Point	GLN 4012345000016 Ext 10
Where	Biz Location	GLN 4012345000016 Ext 20
Why	Biz Step	Transforming (CBV)
Why	Disposition	Sellable Accessible (CBV)

Abbildung 25: Screenshot eines Transformation-Event aus der GS1 Workbench

DATASET INFO 1 EVENT 0 ERRORS XML

```
<?xml version="1.0"?>
<epcis:EPCLISDocument xmlns:epcis="urn:epcglobal:epcis:xsd:1" schemaVersion="1.2" creationDate="2025-02-27T12:50:49.580Z">
  <EPCISBody>
    - <EventList>
      - <extension>
        - <TransformationEvent>
          <eventTime>2025-02-27T00:00:00.000+01:00</eventTime>
          <recordTime>2025-02-27T10:00:00.000+01:00</recordTime>
          <eventTimeZoneOffset>+01:00</eventTimeZoneOffset>
        - <baseExtension>
          <eventID>urn:uuid:66e38aa5-a78b-4769-8a18-d3a7ea018635</eventID>
        - <inputQuantityList>
          - <quantityElement>
            <epcClass>urn:epc:class:gtin:4003982.000199.55</epcClass>
          - </quantityElement>
        - </inputQuantityList>
        - <outputQuantityList>
          - <quantityElement>
            <epcClass>urn:epc:class:gtin:4012345.067890.55</epcClass>
            <quantity>4</quantity>
          - </quantityElement>
        - </outputQuantityList>
        <transformationID>Rohstofflieferant:Aluprozess:4711</transformationID>
        <bizStep>urn:epcglobal:cbv:bizstep:transforming</bizStep>
        <disposition>urn:epcglobal:cbv:disposseable_accessible</disposition>
      - <readPoint>
        <id>urn:epcid:sgln:4012345.00001.10</id>
      - <bizLocation>
        <id>urn:epcid:sgln:4012345.00001.20</id>
      - </bizLocation>
    - </TransformationEvent>
  - </extension>
-</EventList>
-</EPCISBody>
-</epcis:EPCLISDocument>
```

Abbildung 26: Screenshot einer XML-Nachricht, die automatisiert in der GS1 Workbench erstellt wurde

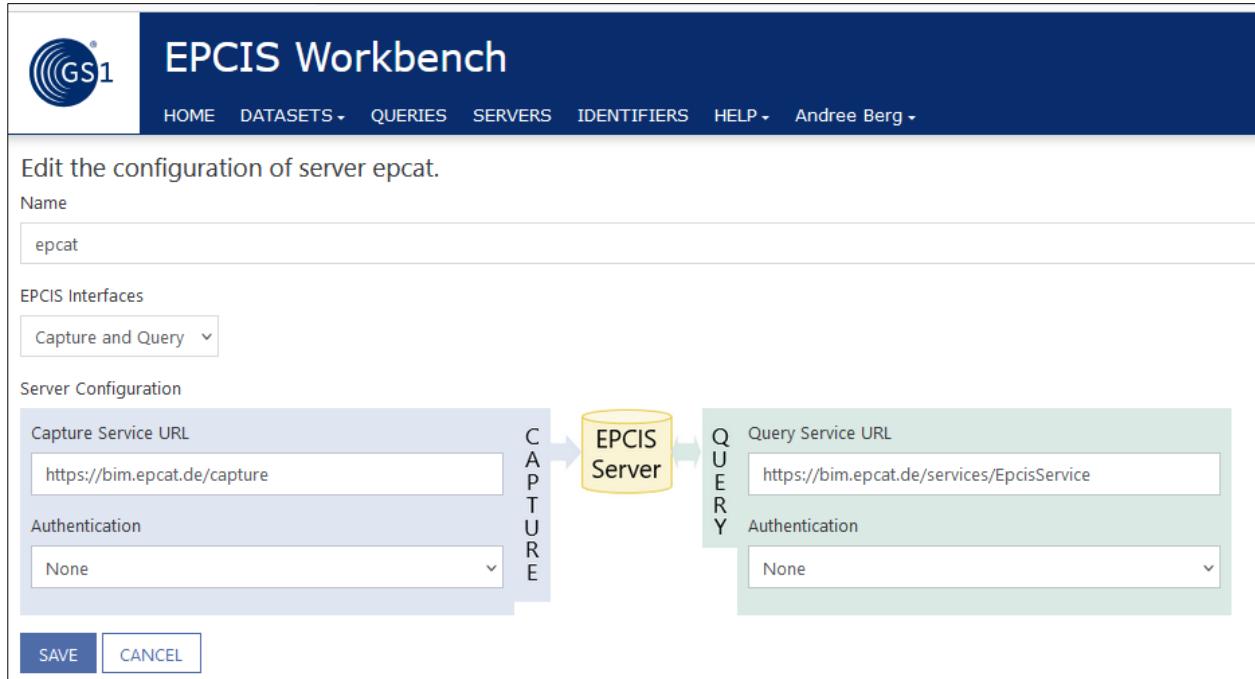


Abbildung 27: Screenshot der Versand- und Empfangsfunktion der GS1 Workbench zum epcat-Server

epcat-Server

Zur Speicherung, Verwaltung und Analyse der erzeugten Daten wurde ein epcat-Server eingesetzt. Die Software erlaubt die Erstellung, Validierung und Speicherung aller gängigen EPCIS-Ereignistypen – darunter Object-Events, Aggregation-Events, Transformation-Events und Transaction-Events. Die integrierte Prüflogik stellt sicher, dass alle Daten den GS1-Spezifikationen entsprechen, und liefert bei Abweichungen gezielte Fehlermeldungen. Darüber hinaus bietet epcat Funktionen zur Visualisierung und Analyse der Ereignisflüsse, wodurch sich beispielsweise Produktbewegungen oder Statusänderungen entlang der Lieferkette nachvollziehen lassen.

Der epcat-Server kann sowohl zur Entwicklung prototypischer Anwendungen als auch in größeren IT-Umgebungen eingesetzt werden. Über sogenannte **EPCON-Konnektoren** ist die Anbindung an ERP- oder PIM-Systeme verschiedenster Anbieter möglich – bis hin zur Verknüpfung mit einfachen Excel-Anwendungen.

Im Zusammenspiel beider Werkzeuge konnten die im Projekt modellierten Anwendungsfälle technisch umgesetzt, geprüft und nachvollziehbar dokumentiert werden. Dies trug wesentlich zur Validierung der EPCIS-basierten Methodik bei.

7.3.2.7 Datenbasierte Dokumentation des Lebenszyklus von Bauprodukten

Ein zentraler Ausgangspunkt für die Entwicklung des Rückverfolgbarkeitskonzepts war die im Rahmen der Arbeitspakete 1 und 2 erstellte Datenmatrix. Sie erfasst und strukturiert systematisch alle für das Projekt relevanten Attribute und bildet die Grundlage für einen sogenannten Single Point of Truth (SPoT) [34], in dem sämtliche verwendeten Informationen konsistent dokumentiert und gemäß ISO 23386 [35] beschrieben sind.

Die ISO 23386 geht davon aus, dass es in der digitalen gebauten Welt nicht den einen zentralen Datenkatalog geben wird, der alle Informationen enthält. Vielmehr wird es eine Vielzahl unterschiedlicher Datenkataloge geben, die miteinander verknüpft werden müssen. Für die Zukunft von BIM soll sichergestellt werden, dass diese Datenkataloge in Tools und Anwendungen interoperabel sind – das heißt, dass ihre Erstellung und Weiterentwicklung nach denselben Regeln erfolgt.

Die Konzeptentwicklung baut auf drei miteinander verknüpften Analysebausteinen auf:

- einer **Herstelleranalyse** zur Erhebung des Status quo im Produktdatenmanagement der Industrie,
- einer **theoretischen Analyse** zur Identifikation von Informationsflüssen und Rückverfolgbarkeitsanforderungen sowie
- einem **Praxisabgleich** durch die Untersuchungen realer Lieferkettenprozesse.

Ein zentrales Ergebnis dieser Analysen war die Erkenntnis, dass eine flexible, leicht integrierbare und zugleich standardkonforme Lösung erforderlich ist, um den Informationsfluss zwischen unterschiedlichen Akteuren und IT-Systemen zu ermöglichen.

Auf dieser Grundlage wurde ein Excel-basierter Lieferketten-Daten-Hub entwickelt, der als interoperable Brücke zwischen BIM-Daten, Gebäudeinformationen, Lieferantenproduktdaten- und EPCIS-Ereignisdaten fungiert. Ziel war es, eine niedrigschwellige Lösung zu schaffen, die sowohl in digitalen Planungsprozessen als auch in der realen Ausführung eingesetzt werden kann – und dabei bereits den Anforderungen internationaler Standards genügt.

Diese Excel-Lösung bildete zugleich die Grundlage für eine prototypische Weiterentwicklung hin zu einer cloudbasierten IoT-Lösung als Mockup, deren Ergebnisse im folgenden Kapitel dargestellt werden. Im Projektkontext umfasst „IoT“ vor allem die digitale Erfassung von EPCIS-Ereignissen über mobile Scanprozesse (z. B. QR- und Barcodes), ergänzt durch maschinelle Sensordaten – etwa beim Wareneingang. Auf diese Weise lassen sich Status- und Standortinformationen automatisiert erfassen und für eine durchgängige Rückverfolgbarkeit verfügbar machen.

Zur weiteren Überprüfung der Praxistauglichkeit wurden in einem nächsten Schritt exemplarische Anwendungsfälle in Arbeitspaket 4 definiert, anhand derer sich das entwickelte Konzept in verschiedenen Anwendungsszenarien testen ließ. Ergänzend wurde ein Demonstrator in Arbeitspaket 5 entwickelt, der das Konzept technisch abbildet und in einem realitätsnahen Kontext veranschaulicht.

7.3.3 Ergebnisse

Die nachfolgenden Ergebnisse erläutern die Umsetzung des Konzepts auf Basis der durchgeführten Aktivitäten. Im Mittelpunkt stehen dabei sowohl die technische Umsetzbarkeit als auch die Einbindung bestehender Standards und Systeme.

7.3.3.1 Grenzen bestehender Rückverfolgbarkeitssysteme

Innerhalb eines Herstellers wie Schüco ist die Rückverfolgbarkeit von Bauprodukten über interne Systeme und Prozesse bereits weitgehend möglich. Herausforderungen entstehen jedoch dann, wenn mehrere Lieferanten und externe Zulieferer an der Herstellung oder Lieferung von Komponenten beteiligt sind. Dies betrifft insbesondere:

- den Zukauf von Produkten verschiedener Zulieferer, deren Rückverfolgbarkeit nicht durchgängig sichergestellt ist,
- die Verwendung nicht serialisierter Produkte, die lediglich über Chargennummern identifizierbar sind,
- die Lagerung von Produkten mit identischen Artikelnummern aber unterschiedlichen Chargen am gleichen Lagerort, wodurch eine eindeutige Rückverfolgung erschwert wird,
- sowie die Einbindung von Handelsware durch Handwerksbetriebe, die außerhalb der digitalen Lieferkette beschafft wird.

Diese Herausforderungen sind nicht herstellerspezifisch, sondern betreffen eine Vielzahl an Bauprodukten und Akteuren entlang der Wertschöpfungskette. Sie verdeutlichen die Notwendigkeit eines übergreifenden, standardisierten Ansatzes, um eine durchgängige und systemübergreifende Rückverfolgbarkeit sicherzustellen.

Neben den systemübergreifenden Herausforderungen bei der Rückverfolgbarkeit ergibt sich eine weitere zentrale Fragestellung in der praktischen Umsetzung des EPCIS-Standards:

Die für EPCIS-Events notwendigen Informationen (was, wo, wann und warum) entstehen an unterschiedlichsten Stellen im Wertschöpfungsprozess – etwa an Maschinen, die Bauteile zuschneiden oder etikettieren, bei der Warenausgangsbuchung im ERP-System, durch manuelle Erfassung auf mobilen Endgeräten oder durch automatisierte Sensoren wie RFID-Gates.

Die dezentrale Datenentstehung erfordert einen strukturierten, interoperablen Umgang mit Informationen. Neben technischen Schnittstellen spielen dabei auch organisatorische Validierungs- und Pflegeprozesse eine zentrale Rolle. Die Nutzung einheitlich strukturierter Merkmale gemäß ISO 23386 erleichtert die Verknüpfung und Wiederverwendung der Daten für alle Beteiligten erheblich; Details dazu werden in Kapitel 8.3.2.7 erläutert.

Vor dem Hintergrund dieser Interoperabilitätsanforderungen wurde im Rahmen des Projekts auch untersucht, wie sich standardisierte Identifikationssysteme – insbesondere das GS1-System – gegenüber herstellerspezifischen, proprietären Nummernsystemen verhalten.

7.3.3.2 Gegenüberstellung von GS1-Identen und proprietären Hersteller-Identen

Ein zentrales Thema des Forschungsprojekts war die Frage, ob und wie der EPCIS-Standard mit proprietären Identifikationssystemen von Herstellern kompatibel ist. Die Analyse dieser Fragestellung erfolgte mithilfe der GS1 Workbench, die neben der strukturierten Datenerfassung auch eine systematische Prüfung der Datenstruktur und -qualität ermöglicht.

Dabei zeigte sich, dass sowohl korrekte als auch fehlerhafte Eingaben unmittelbar identifiziert und zurückgemeldet werden können. Auf diese Weise lässt sich die Datenqualität bereits im Erfassungsschritt absichern – unabhängig davon, ob standardisierte GS1-Identifikatoren oder proprietäre Hersteller-IDs verwendet werden.

Im unten stehenden Beispiel (siehe Abbildung 28) wurde im Dropdown Menü der GS1 Workbench die Eingabe einer Parent ID mittels einer SGTIN (Serialised Global Trade Item Number) ausgewählt. In der entsprechenden Eingabemaske werden die Bestandteile dieser Seriennummer gemäß GS1-Spezifikationen über standardisierte Datenbezeichner 01 [36] erfasst:

- 01 kennzeichnet die Eingabe der GTIN
- 21 steht für die zugehörige Seriennummer

Parent ID	SGTIN (AI 01 + AI 21)	(01)	04003982001368	(21)	10
urn:epc:id:sgtin:4003982.000136.10					

Abbildung 28: Screenshot aus der GS1 Workbench

Datenbezeichner sind standardisierte Kennzeichnungen, mit denen sich der Typ und die Bedeutung einzelner Datenfelder eindeutig bestimmen lassen. Dadurch wird deren Interpretation und Verarbeitung erleichtert. So kann z.B. eine Produkt ID mit einer Seriennummer oder Charge verknüpft werden.

Datenbezeichner werden auch in Barcodes verwendet, um relevante Daten eindeutig zu kennzeichnen und zu trennen, sodass diese korrekt von Scannern ausgelesen werden können.

Da die GTIN im globalen Kontext 14-stellig ist, während in Deutschland nur 13-stellige GTINs vergeben werden, ist in globalen Tools erforderlich, eine führende 0 einzufügen.

Aus der Kombination von GTIN und Seriennummer wird automatisch die Uniform Ressource Name (URN) [37] generiert. Dabei wird die führende 0 sowie die Prüfziffer der GTIN automatisiert entfernt. Die URN macht die SGTIN interoperabel und garantiert ihre globale Eindeutigkeit. Der strukturierte Aufbau der URN ist in der Abbildung 29 dargestellt.

Für die Erstellung solcher URNs können neben der GS1 Workbench auch andere Tools wie der GS1 Decoder [38] verwendet werden.

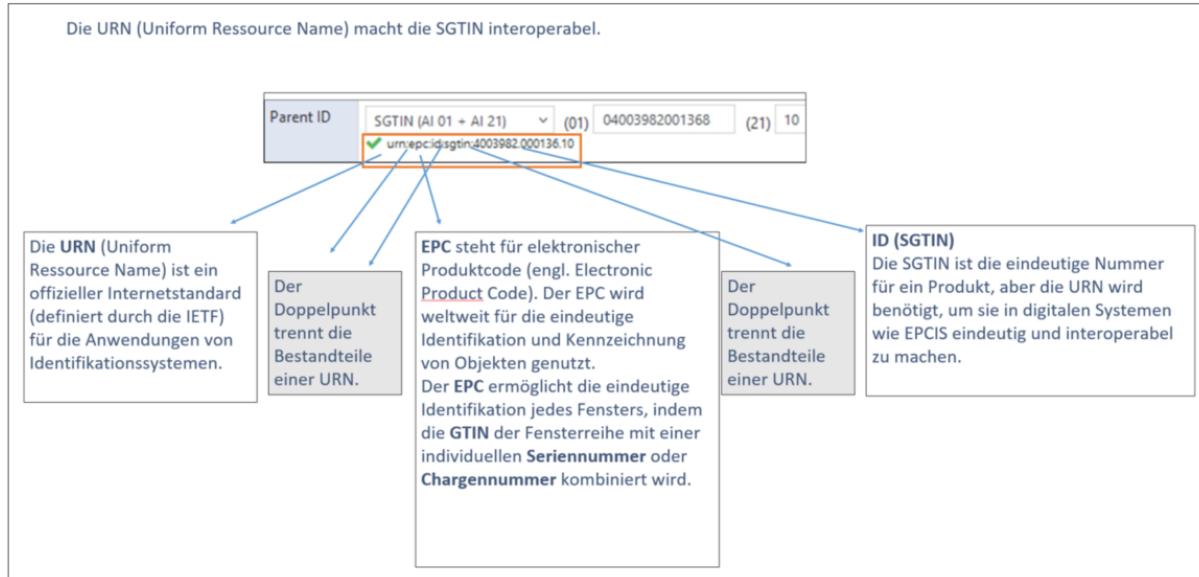


Abbildung 29: Darstellung des URN-Aufbaus (eigene Darstellung)

Test zur Nutzung von Hersteller-Artikelnummern (HAN) als URI

Im Rahmen des Projekts wurde untersucht, wie sich Hersteller-Artikelnummern – also proprietäre Produktkennzeichnungen, die nicht auf EPC-Standards basieren – dennoch sinnvoll in eine EPCIS-kompatible Datenstruktur integrieren lassen. Ziel war es, herauszufinden, ob solche Nummern in Form von Uniform Resource Identifiern (URIs) eingebunden und genutzt werden können, um Produkte eindeutig referenzierbar zu machen.

Für diesen Test wurde die Funktion „Enter a URI manually“ innerhalb der GS1 EPCIS Workbench verwendet. Sie erlaubt es, herstellerspezifische Nummern in Form frei definierter URIs zu erfassen – eine Möglichkeit, die auch durch den EPCIS-Standard selbst vorgesehen ist. Grundlage für die Umsetzung bildet der Internetstandard RFC 3986 [39], der die Struktur und Verwendung von URIs beschreibt. Ein URI (Uniform Resource Identifier) ist ein einheitlicher Bezeichner für Ressourcen – unabhängig davon, ob es sich um eine Webseite, eine Datei oder eine Produktreferenz handelt. Durch diese Nutzung lassen sich auch nicht-standardisierte Artikelnummern in ein interoperables Format überführen, das sich prinzipiell in EPCIS-konforme Systeme integrieren lässt.

URNs und URLs stellen dabei spezielle Formen von URIs dar (siehe Abbildung 30):

- **URN (Uniform Resource Name):** Ein dauerhafter, ortsunabhängiger Bezeichner für eine Ressource.
- **URL (Uniform Resource Locator):** Ein Bezeichner, der zusätzlich zur Identifikation auch den Zugriffsort einer Ressource angibt (z. B. eine Webseite).

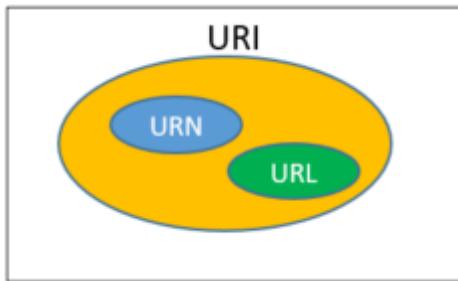


Abbildung 30: Darstellung der URI (eigene Darstellung)

Der URN-Standard stellt sicher, dass z. B. eine SGTIN in einem globalen IT-System eindeutig und maschinenlesbar ist, und somit in Datenbanken und Netzwerken integriert werden kann.

Laut RFC 3986 besteht ein URI aus fünf möglichen Komponenten, wobei nur das Schema (1) und der Pfad (3) verpflichtend sind:

1. Scheme: Gibt an, wie die Ressource interpretiert oder aufgerufen werden soll. Beispiele sind http, mailto oder ftp. Im Forschungsprojekt wurde ein benutzerdefiniertes Schema HAN (für Hersteller-Artikelnummer) verwendet. Das Schema wird stets durch einen Doppelpunkt (:) vom restlichen URI getrennt.
2. Userinfo / Host / Port (optional): Können zur Angabe von Authentifizierungsdaten, Serveradresse oder Portnummer genutzt werden – beispielsweise //user:pass@host:8080.
3. Path: Gibt den Pfad zur Ressource innerhalb des Schemas an. In unserem Projekt wurde beispielsweise 4711.10 als Pfad verwendet – also die eigentliche Artikelnummer des Herstellers.
4. Query (optional): Ermöglicht zusätzliche Parameter in Form von Schlüssel-Wert-Paaren (key=value).
5. Fragment (optional): Verweist auf einen bestimmten Abschnitt innerhalb der Ressource (#abschnitt).

Im praktischen Test wurde versucht, eine SGTIN durch eine Hersteller-Artikelnummer im URI-Format zu ersetzen. Die Eingabe in der Form HAN:4711.10 wurde syntaktisch akzeptiert, jedoch nicht als gültiger Identifier im EPCIS-Kontext anerkannt, da das Schema HAN nicht im EPCIS-Standard als zulässiger Bezeichner definiert ist (siehe Abbildung 31)

Parent ID	SGTIN (AI 01 + AI 21) <input type="button" value="▼"/>	(01) 04003982001368	(21) 10	GS1 Company Prefix Length
	<input checked="" type="checkbox"/> urn:epc:id:sgtin:40:03982.000136.10			
Eingabe über das Drop Menü „Eingabe einer URI manuell“: Einsatz der HAN statt SGTIN. Die Eingabe ist nicht gültig				
Parent ID	Enter a URI manually <input type="button" value="▼"/>	URI	urn:epc:id:HAN:4714.10	
	✖ HAN is not a known EPC Pure Identity URI scheme			
Die Eingabe nach dem URN-Standard gemäß RFC 3986 ist gültig				
Parent ID	Enter a URI manually <input type="button" value="▼"/>	URI	HAN:4714.10	
	<input checked="" type="checkbox"/> Non-EPC URI			

Abbildung 31: Test Eingabe Herstellerartikelnummer (eigene Darstellung)

Die Kombination aus Schema und Path – also HAN:4711.10 – wurde dennoch erfolgreich als URI erkannt und konnte im Sinne einer strukturierten Referenz genutzt werden. Aufgrund der Herstellerneutralität im Forschungsprojekt wurde der allgemeine Begriff Hersteller-Artikelnummer verwendet. In konkreten Implementierungen könnten allerdings herstellerspezifische Kürzel zum Einsatz kommen, z. B. SCHUECO:4711.10 oder SC:4711.10, wie es aktuell auch bei einzelnen Projektpartnern der Fall ist.

Die Überprüfung in der GS1 Workbench hat gezeigt, dass die entsprechende XML-Nachricht erfolgreich erstellt wurde (siehe Abbildung 32).

The screenshot shows the GS1 Workbench interface. On the left, there is a code editor window containing the following XML code:

```
</baseExtension>
<parentID>HAN:4714.10</parentID>
<childEPCs/>
<action>OBSERVE</action>
```

On the right, there is a validation results window titled "DATASET INFO" which shows "4 EVENTS", "0 ERRORS", and an "XML" tab. The XML tab displays the generated XML message:

```
<?xml version="1.0"?>
<epcis:EPCISDocument xmlns:epcis="urn:epcglobal:epcis:xsd:1" schemaVersion="1.0">
  <EPCISBody>
    <EventList>
      <TransactionEvent>
```

Abbildung 32: Erstellung der XML in der GS1 Worbench (eigene Darstellung)

Die erfolgreiche Eingabe in der GS1 Workbench und die anschließende Validierung der XML-Nachricht zeigen, dass sich der EPCIS-Standard auch mit manuell vergebenen URIs anwenden lässt. Darüber hinaus wurde erfolgreich getestet, dass weitere zentrale Elemente wie Read Point und Business Location eingebunden und validiert werden können (siehe Abbildung 33 und Abbildung 34). Diese Vorgehensweise wurde zudem im Austausch mit dem Projektpartner EECC – einem Experten für EPCIS – diskutiert und als fachlich korrekt bestätigt. Damit liegt ein wesentlicher Nachweis für die grundsätzliche Praxistauglichkeit und Standardkonformität der entwickelten Lösung vor.

DATASET INFO		1 EVENT	0 ERRORS	XML	
EVENT 1 ▾					
T	Event Type	Transaction Event OBSERVE			
P	Event ID EPCIS 1.2	urn:uuid:808c13f6-3fef-4943-be7d-80a0f76c9b0c			
W	Event Time	2025-04-11 00:00:00.000 GMT+02:00			
H	Record Time	2025-04-10 22:00:00.000 GMT			
E	"What" Dimension	Parent GTIN 12345678901231 Serial 10 GTIN 12345678901231 Lot 19 Unknown Quantity			
V	Read Point	Raum:HA 00.16A			
R	Biz Location	Wuppertal:42285			
W	Biz Step	Receiving (CBV)			
H	Disposition	In Progress (CBV)			
Y	Biz Transactions	PO (CBV) 4000			

Abbildung 33: Eingabe Read Point und Business Location mit manueller URI (eigene Darstellung)

DATASET INFO		1 EVENT	0 ERRORS	XML
– <readPoint>				<pre><readPoint> <id>Raum:HA 00.16A</id> </readPoint></pre> <pre><bizLocation> <id>Wuppertal:42285</id></pre>

Abbildung 34: Geprüfte XML Nachricht in der GS1 Workbench (eigene Darstellung)

Es ist jedoch zu beachten, dass diese Lösung hinsichtlich Skalierbarkeit und Interoperabilität Einschränkungen aufweist – insbesondere im Vergleich zu Ansätzen mit global eindeutigen Identifikatoren. Eine vertiefte Auseinandersetzung mit den Vor- und Nachteilen manueller bzw. proprietärer gegenüber global eindeutigen URIs erfolgt im nächsten Abschnitt.

7.3.3.3 Ergebnisbewertung: Anwendung des EPCIS-Standards mit und ohne GS1-Standards

Die Umsetzung des EPCIS-Standards ist grundsätzlich auch ohne die Nutzung globaler GS1-Standards möglich. Diese Option kann insbesondere für geschlossene Systeme oder interne Pilotprojekte praktikabel sein. Jedoch geht die Nutzung nicht-standardisierter Identifikatoren mit Einschränkungen in Bezug auf Skalierbarkeit, Interoperabilität und langfristige Rückverfolgbarkeit einher.

Vorteile unternehmensspezifischer Idente (Non-GS1)

- Nutzung vorhandener Strukturen: Bereits etablierte interne Nummerierungs-Systeme können weiterhin genutzt werden.
- Kosteneinsparung: Es entstehen keine zusätzlichen Kosten durch die Registrierung oder Nutzung globaler Standards wie GTIN.

Einschränkungen und Risiken:

- Fehlende Eindeutigkeit: Unternehmensspezifische Nummern sind nicht standardisiert und können mehrfach vergeben sein, was zu Überschneidungen führt.
- Keine globale Rückverfolgbarkeit: Die Hersteller Artikelnummer (HAN) ist nicht global registriert und nur in bestimmten Geschäftsbeziehungen bekannt, wodurch eine durchgängige Identifikation über Unternehmensgrenzen hinweg erschwert wird.
- Uneinheitliche Formate: Unterschiedliche Aufbauweisen der Artikelnummern verhindern einen reibungslosen elektronischen Datenaustausch und behindern die Automatisierung.

Vorteile globaler GS1-Standards

- Globale Eindeutigkeit: Die GTIN ermöglicht die weltweit eindeutige Identifikation eines Produkts ohne Notwendigkeit der Umcodierung.
- Überschneidungsfreie Identifikation: Die eindeutige Kennzeichnung entlang der gesamten Wertschöpfungskette vermeidet Mehrfachvergabe und Übersetzungsfehler.
- Systemkompatibilität und Interoperabilität: Die GTIN wird von vielen ERP-, Handels- und Logistiksystemen standardmäßig unterstützt.
- Automatisierungspotenziale: Lagerverwaltung, Bestellung, Rückverfolgung und Inventur lassen sich automatisiert abbilden – ohne manuelle Abstimmungen.
- Skalierbarkeit: Neue Partner können leichter integriert werden, da keine unternehmensspezifischen Anpassungen notwendig sind.
- Kombination mit weiteren GS1-Standards: GTIN, GLN (Global Location Number) und EPCIS ergänzen sich und ermöglichen eine ganzheitliche Transparenz in der Lieferkette.
- Fehlervermeidung: Standardisierte Idente reduzieren manuelle Eingriffe und Übertragungsfehler.

In den beiden nächsten Abbildungen (Abbildung 35 und Abbildung 36) sind die Unterschiede zwischen global eindeutigen und proprietären Hersteller-Identen dargestellt.

Global eindeutige Struktur an denen sich IT-Systeme orientieren können				
	14. Stelle	Basisnummer	Eigengenerierung	Prüfziffer
GS1 GTIN	0	4003982	00136	8

Abbildung 35: Darstellung der Vorteile durch eindeutige Strukturen (eigene Darstellung)

Herausforderung:

Fehlende global eindeutige Struktur bei hersteller- und lieferantenspezifische Produktartikelnummern, an der sich internationale IT-Systeme ausrichten könnten.

Hersteller Artikelnummer (HAN) 1	382150
Hersteller Artikelnummer (HAN) 2	SC481790
Hersteller Artikelnummer (HAN) 3	605.685.2Z

Abbildung 36: Darstellung der Herausforderung durch individueller Herstellerartikelnummern (eigene Darstellung)

Zusammenfassende Bewertung

Innerhalb geschlossener Systeme (z. B. eines Bauprojekts) ist der Einsatz unternehmensspezifischer Identen möglich, wenn:

- alle Beteiligten dieselbe Datenbasis nutzen,
- der Datenzugriff zentral geregelt ist
- und die HAN innerhalb des Systems eindeutig und konsistent verwendet werden.
- Über mehrere Projekte hinweg steigt das Risiko von Überschneidungen und fehlender Interoperabilität.
- Für eine langfristige, systemübergreifende Rückverfolgbarkeit ist eine Verknüpfung mit globalen Standards wie GTIN und EPCIS empfehlenswert.

Das entwickelte Konzept ermöglicht auch Unternehmen ohne bestehende Standardisierung einen strukturierten Einstieg in IT-gestützte Rückverfolgbarkeitslösungen. Die konzipierte Struktur ist darauf ausgelegt, eine spätere Migration zu GS1-konformen Standards zu erleichtern – beispielsweise bei der Integration neuer Partner oder der Weiterentwicklung betrieblicher Prozesse.

Für den Übergang zu global eindeutig identifizierbaren Produktkennzeichnungen bieten sich unterschiedliche Umsetzungsansätze an:

- Ein hybrides Modell erlaubt die parallele Verwendung von Hersteller-Artikelnummern und GTINs (ehemals EAN) wie in Kapitel 7.3.3.6 erläutert. Ein praktisches Beispiel hierfür ist der Systemfinder von Knauf [40], in dem beide Identifikationsarten für den Artikel Deckennagel integriert sind (vgl. Abbildung 37)

Material pro m ²			
Art. Nr.	EAN	Hersteller	Beschreibung
Randbefestigung - Decke/Boden			
00099223	4003982200525	Knauf Gips KG	Deckennagel

Abbildung 37: Ausschnitt aus dem Systemfinder von Knauf (Kombination GTIN mit HAN). Quelle Knauf, Systemfinder, Aufruf im November 2024.

- Alternativ kann die Umstellung auf eine serialisierte GTIN (SGTIN) bei Abschluss eines definierten Prozessschritts erfolgen. In diesem Fall kann die Lieferantenartikelnummer (LAN) inklusive Chargeninformation weiterhin abgebildet werden (vgl. Abbildung 38).

Wandnummer, in der das Fenster eingebaut ist	Bauteillistennummer (für einen Bereich, z.B. ein Geschoss)	Positionsnummer für einen Fenstertypen	Schüco HAN	Artikelbeschreibung	Lieferant
sp4711	BTL02605	94001			
		SC481790	481790	Blendrahmen	Schüco
		SC540780	540780	Fluegelprofil	Schüco
		SC481820	481820	Riegel/Pfoster	Schüco
Neu SGTIN + HAN mit Chargen-Nummer					
SGTIN			Schüco HAN inkl Chargen-Nummer		
401234567890123.1	BTL02605	94001			
		SC481790.55	481790.55	Blendrahmen	Schüco
		SC540780.55	540780.55	Fluegelprofil	Schüco
		SC481820.55	481820.55	Riegel/Pfoster	Schüco

Abbildung 38: Beispiel einer Umstellung auf eindeutige Idente (eigene Darstellung)

Welche Lösung im konkreten Anwendungsfall implementiert wird, hängt von den jeweiligen Markt- und Unternehmensanforderungen ab. Ziel des vorliegenden Konzepts ist es, die funktionalen Unterschiede zwischen den Identifikationssystemen sowie deren Vor- und Nachteile darzustellen und potentielle Umsetzungsstrategien aufzuzeigen.

7.3.3.4 Validierungsergebnis der theoretischen Prozessanalyse in der Praxis

Das Ergebnis des Praxisabgleichs zeigt, dass die vorab durchgeführte Analyse des Produktwegs (siehe Abbildung (17) grundlegend mit der Praxis übereinstimmt. Die Analyse wurde in Zusammenarbeit mit den Projektpartnern Schüco und Goldbeck weiterentwickelt, so dass am Ende eine detailliertere Be- trachtung der Bauproduktrückverfolgbarkeit möglich war.

7.3.3.5 Technische Validierung durch Modellierung einer vollständigen Lieferkette

Zur Validierung des entwickelten Konzepts wurde exemplarisch eine durchgehende Lieferkette modelliert – vom Ausgangsmaterial (Aluminium-Stange) bis zum eingebauten Endprodukt.

Grundlage bildete die ereignisbasierte Modellierung mittels der GS1 Workbench, in der alle relevanten Prozessschritte dieser beispielhaften Lieferkette als EPCIS-Events (z. B. Object-Event, Aggregation-Event, Transformation- Event) strukturiert mit proprietären Hersteller-Identen erfasst wurden.

Die 10 erzeugten Events wurden anschließend an einen epcat-Server übertragen und dort gespeichert. Die GS1 Workbench bestätigte dabei sowohl die Korrektheit des Datentransfers als auch die syntaktische und semantische Validität der Ereignisdaten.

Der exemplarische Prozessverlauf ist in Abbildung 39 dargestellt und steht stellvertretend für die modellierte Lieferkette vom Ausgangsmaterial bis zum Einbau, dokumentiert in Abbildung 40.

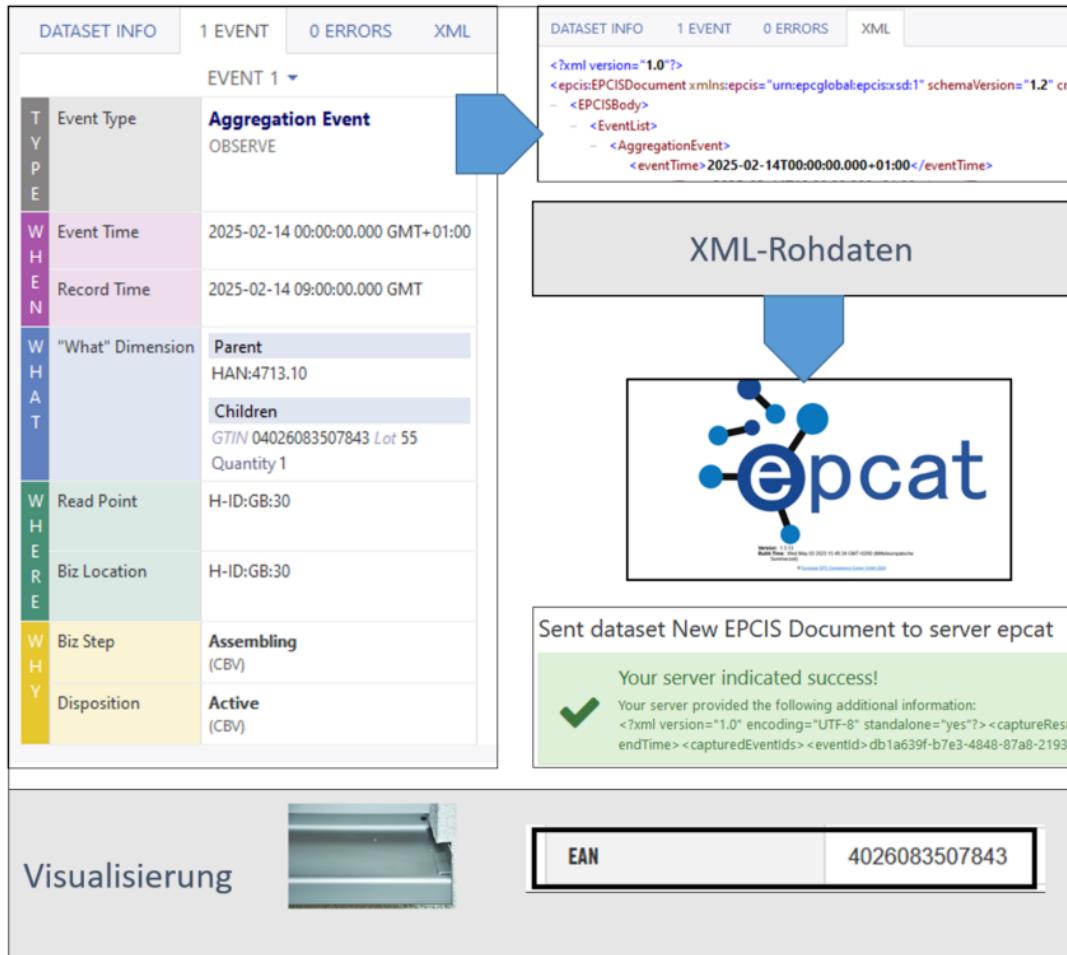


Abbildung 39: Darstellung technische Validierung (eigene Darstellung)

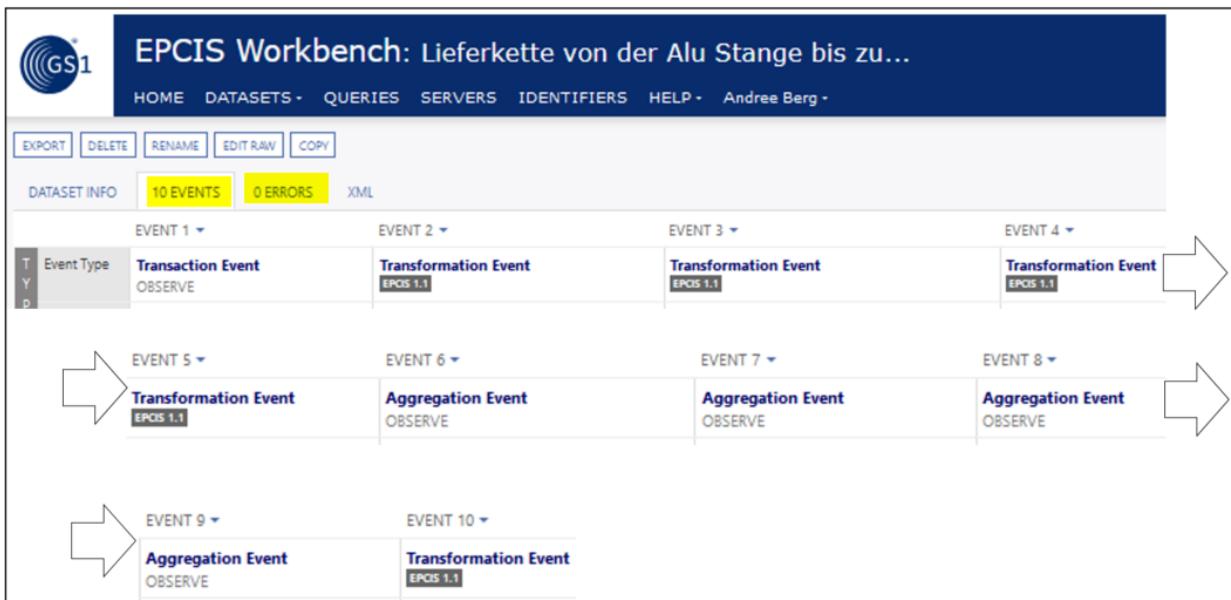


Abbildung 40: Alle Events von der Alu-Stange bis zum Einbau (eigene Darstellung)

Zur Überprüfung der Konsistenz und Nachvollziehbarkeit wurden gezielte Abfragen auf dem epcat-Server durchgeführt (vgl. Abbildung 41).

Ziel dieser Abfrage war es, alle Events zum Auftrag mit der Purchasing Order (PO) Nummer 4000 anzuzeigen. In der zugrunde liegenden Lieferkette wurden vier Ereignisse auf dem epcat-Server gespeichert, die sowohl als XML-Nachricht als auch in der visualisierten Darstellung der GS1 Workbench vorliegen.

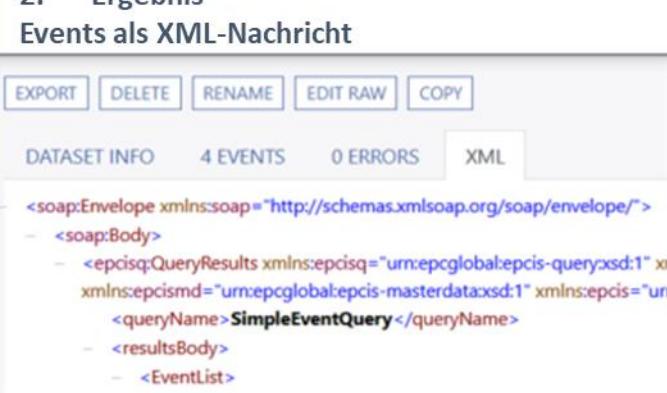
<p>1. Abfrage Auflistung aller Events zur PO 4000</p> 	<p>3. Visualisierung z.B. 1 Event zum Wareneingang beim Metallbau Goldbeck</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">EVENT 1 ▾</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="background-color: #e0e0ff;">TYPE</td> <td>Event Type Transaction Event OBSERVE</td> </tr> <tr> <td style="background-color: #e0e0ff;">WHEN</td> <td>Event ID EPOS 1.2 urn:uuid:79a3dd57-5079-4eda-8e39-c51350eb7c58</td> </tr> <tr> <td style="background-color: #e0e0ff;">WHAT</td> <td>Event Time 2025-01-30 00:00:00.000 GMT+01:00</td> </tr> <tr> <td style="background-color: #e0e0ff;">WHERE</td> <td>Record Time 2025-01-27 08:34:54.751 GMT</td> </tr> <tr> <td style="background-color: #e0e0ff;">WHY</td> <td>"What" Dimension HAN:382150 Quantity 4 HAN:466470 Quantity 4</td> </tr> <tr> <td style="background-color: #e0e0ff;">Read Point</td> <td>H-ID:GB:20</td> </tr> <tr> <td style="background-color: #e0e0ff;">Biz Location</td> <td>H-ID:GB:10</td> </tr> <tr> <td style="background-color: #e0e0ff;">Biz Step</td> <td>Receiving (CBV)</td> </tr> <tr> <td style="background-color: #e0e0ff;">Disposition</td> <td>In Progress (CBV)</td> </tr> <tr> <td style="background-color: #e0e0ff;">Biz Transactions</td> <td>PO (CBV) 4000</td> </tr> <tr> <td style="background-color: #e0e0ff;">Extensions</td> <td>eecc:eventId d1ef23a7-fce9-4995-ad25-c8484fb9c7</td> </tr> </tbody> </table>	EVENT 1 ▾		TYPE	Event Type Transaction Event OBSERVE	WHEN	Event ID EPOS 1.2 urn:uuid:79a3dd57-5079-4eda-8e39-c51350eb7c58	WHAT	Event Time 2025-01-30 00:00:00.000 GMT+01:00	WHERE	Record Time 2025-01-27 08:34:54.751 GMT	WHY	"What" Dimension HAN:382150 Quantity 4 HAN:466470 Quantity 4	Read Point	H-ID:GB:20	Biz Location	H-ID:GB:10	Biz Step	Receiving (CBV)	Disposition	In Progress (CBV)	Biz Transactions	PO (CBV) 4000	Extensions	eecc:eventId d1ef23a7-fce9-4995-ad25-c8484fb9c7
EVENT 1 ▾																									
TYPE	Event Type Transaction Event OBSERVE																								
WHEN	Event ID EPOS 1.2 urn:uuid:79a3dd57-5079-4eda-8e39-c51350eb7c58																								
WHAT	Event Time 2025-01-30 00:00:00.000 GMT+01:00																								
WHERE	Record Time 2025-01-27 08:34:54.751 GMT																								
WHY	"What" Dimension HAN:382150 Quantity 4 HAN:466470 Quantity 4																								
Read Point	H-ID:GB:20																								
Biz Location	H-ID:GB:10																								
Biz Step	Receiving (CBV)																								
Disposition	In Progress (CBV)																								
Biz Transactions	PO (CBV) 4000																								
Extensions	eecc:eventId d1ef23a7-fce9-4995-ad25-c8484fb9c7																								
<p>2. Ergebnis Events als XML-Nachricht</p>  <pre> <soap:Envelope xmlns:soap="http://schemas.xmlsoap.org/soap/envelope/"> <soap:Body> <epcis:QueryResults xmlns:epcisq="urn:epcglobal:epcis-query:xsd:1" xmlns:epcismd="urn:epcglobal:epcis-masterdataxsd:1" xmlns:epcis="urn:epcglobal:epcis-dataelement:xsd:1"> <queryName>SimpleEventQuery</queryName> <resultsBody> <EventList> ... </EventList> </resultsBody> </epcis:QueryResults> </soap:Body> </soap:Envelope> </pre>																									

Abbildung 41: Abfrage aus der GS1 Workbench an den epcat-Server (eigene Darstellung)

Die erfolgreiche Verarbeitung in beiden Systemen stellt einen praxisnahen Nachweis für die Funktionsfähigkeit des Konzepts dar. Sie belegt, dass auch auf Basis von Herstellerartikelnummern – also ohne durchgehende GTIN – eine konsistente Rückverfolgbarkeit entlang der Lieferkette möglich ist. Das zugrunde liegende Konzept ist damit grundsätzlich auf weitere Produkte und Lieferketten übertragbar.

7.3.3.6 Umsetzung eines Baumarkts-Szenarios zur Nachverfolgbarkeit handelsüblicher Bauprodukte

Zur exemplarischen Überprüfung der Nachverfolgbarkeit handelsüblicher Bauprodukte wurde ein Szenario auf Basis eines Online-Kaufs einer handelsüblichen Fensterbank simuliert (vgl. Abbildung 42). Ziel war es, die Integration solcher Produkte in die digitale Lieferkette zu testen und deren Rückverfolgbarkeit mithilfe bestehender Kennzeichnungssysteme zu analysieren.

Wie den Artikeldetails zu entnehmen ist, war das Produkt mit einer EAN (European Article Number) gekennzeichnet. Die EAN ist die frühere Bezeichnung der heute gebräuchlichen GTIN (Global Trade Item Number), die seit 2009 offiziell verwendet wird [41]. Für den Kassiovorgang ist die GTIN in einem Barcode verschlüsselt, der für den Prozess der Rückverfolgbarkeit genutzt werden kann.

The screenshot shows a product page for a window sill. At the top, there's a navigation bar with 'SORTIMENT', 'PROJEKTE', 'MEIN MARKT', a search bar ('Suchbegriff eingeben'), 'MEIN KONTO', 'MEINE MERKLISTEN', and a 'WARENKORB' icon. Below the navigation, the breadcrumb trail shows: '← ZURÜCK | Startseite > Sortiment > Holz, Fenster & Türen > Fenster > Fensterbänke'. A small thumbnail image of the product is on the left. The main image shows a silver-colored window sill. To the right, the product name is 'Fensterbank Alu silber 100x16,5 cm inkl. Alu-Seitenabschluss (re+li)', followed by a star rating '(1) Alle Kundenbewertungen lesen' and 'Macher fragt Macher'. The price is listed as '23,95 €*' per unit ('(23,95 €*/m)'). Below the price, it says 'Verkauf durch: HORNBACH'. There are dropdown menus for 'Länge' (100 cm, 150 cm, 200 cm) and an 'Art.-Nr.' (5625270). A bulleted list of features follows: 'Grundfarbe: Silber', 'Material: Metall', and 'Materialspezifizierung: Aluminium'. A section titled 'Artikeldetails' contains a table with the following data:

Hinweis	inklusive Alu-Abdeckkappen (rechts + links)
Artikeltyp	Fensterbank
Einsatzbereich	Außen
Anwendung	Mauerabdeckung
Material	Metall
Materialspezifizierung	Aluminium
Oberflächenbehandlung	Keine
Grundfarbe	Silber
Länge	100 cm
Breite	16,5 cm
AKN (Artikelkurznummer)	SM3J
EAN	4026083507843

• EAN=GTIN: Anlage des Artikels im Bauprojekt
 • Über 80% der Verpackungseinheiten der Baumarktprodukte verfügen über eine GTIN/EAN

Abbildung 42: Simulierter Einkaufsprozess einer Fensterbank (eigene Darstellung nach Hornbach, 2025, www.hornbach.de, abgerufen am 05.05.2025)

Die anschließende Testintegration in die EPCIS-Infrastruktur mittels GS1 Workbench und dem epcat-Server verlief erfolgreich (vgl. Abbildung 43). Das Bauprodukt konnte dadurch prototypisch in die Lieferkette eingebunden und eindeutig identifiziert werden.

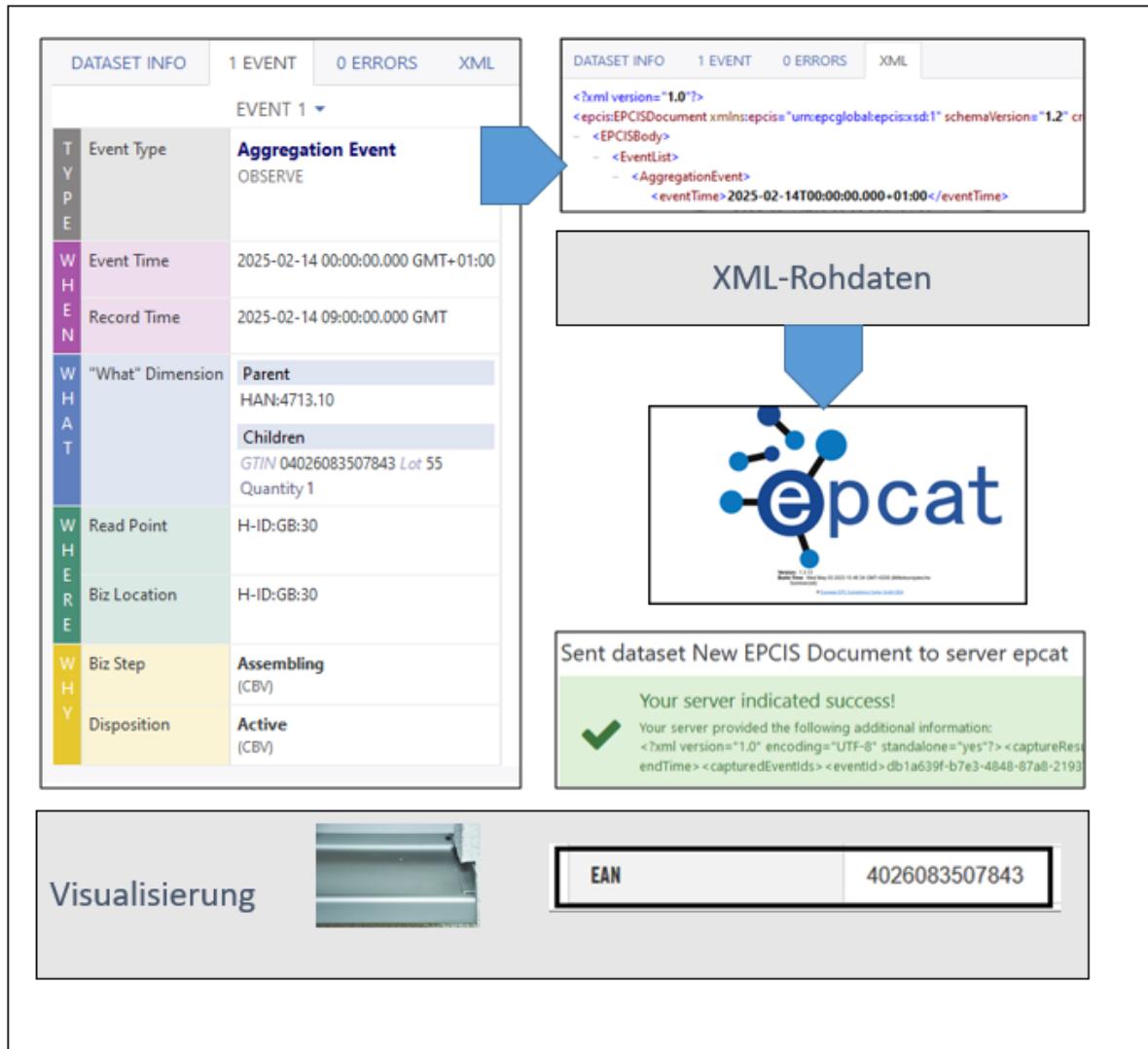


Abbildung 43: Erfassung eines gekauften Baumarktartikels in der GS1 Workbench (eigene Darstellung)

Im Ergebnis bestätigt sich – wie bereits im Arbeitspaket 1 analysiert (vgl. Tabelle 1) –, dass ein Großteil der im Baumarkt vertriebenen Bauprodukte mit einer GTIN versehen ist, welche in einem maschinenlesbaren Barcode kodiert ist. Diese Produkte können somit, sofern sie im IT-System des Bauherrn registriert sind, problemlos gescannt und mit den im System hinterlegten Informationen verknüpft werden.

Für den Fall, dass Bauprodukte **nicht im System registriert** sind, wäre ein entsprechender Freigabe- oder Ablehnungsprozess erforderlich. Die Entwicklung solcher Prozesse war jedoch nicht Gegenstand des vorliegenden Forschungsvorhabens.

7.3.3.7 Bewertung der Ergebnisse der praktischen und technischen Umsetzung

In dem weltweit verbreiteten Standard sind alle notwendigen Parameter festgelegt, die es braucht, um Daten zu verarbeiten.

- EPCIS-Daten basieren grundsätzlich auf standardisierten Identen, wie EPCs, GLN, GTIN oder SSCC.
- Sie geben jedoch keine Auskunft über Details wie Artikelbeschreibung, physikalische Eigenschaften oder Standorten im Klartext (siehe Abbildung 44).

W H A T	Parent ID	SGTIN (AI 01 + AI 21) (01) 04003982001368 (21) 10
		✓ urn:epc:id:sgtin:4003982.000136.10
	Child EPCs	SGTIN (AI 01 + AI 21) (01) 04004675015051 (21) 20
		✓ urn:epc:id:sgtin:4004675.001505.20

Abbildung 44: Beispiel erfasster EPCIS-Event Identifikatoren in der GS1 Workbench (eigene Darstellung)

- Der EPCIS-Standard konzentriert sich auf die Erfassung dynamischer Ereignisdaten entlang der Lieferkette und ist eine optimale Grundlage zur Abbildung von Ereignissen in der Lieferkette, muss jedoch nicht starr umgesetzt werden.
- Systematik und Struktur kann je nach Prozessanforderung flexibel genutzt werden. EPCIS-Daten stellen die Grundlage für interoperable und standardisierte Datenaustauschprozesse dar, sind jedoch nicht eigenständig interpretierbar.
- Diese Architektur ermöglicht eine effiziente Nutzung von Datenquellen, indem der EPCIS-Standard sich auf die Verknüpfung von Identifikatoren konzentriert und so redundant gespeicherte Informationen, wie Artikelbeschreibungen, vermeidet. Dadurch können Metadaten flexibel und modular verwaltet werden, was zu einer höheren Datenkonsistenz und Skalierbarkeit führt.
- EPCIS-Daten sind so konzipiert, dass sie nahtlos durch zusätzliche Datenquellen wie **Stammdaten**, **Prozessdaten** oder **IoT-Daten** ergänzt werden können. Dies ermöglicht die Generierung eines umfassenden Kontexts, der für die präzise und anwendungsfallgerechte Interpretation der Daten unerlässlich ist.

Ergebnisbewertung:

Die Analyse zeigt, dass der EPCIS-Standard grundsätzlich für die Bauwirtschaft geeignet ist.

- Seine flexible Systematik erlaubt die Anpassung an unterschiedliche Anforderungen entlang der Bau-Lieferkette – von der Produktion über die Logistik bis zum Rückbau.
- Der EPCIS-Standard eignet sich auch zum Strukturieren interner Abläufe, da viele prozessrelevante Vorgänge - wie der Zusammenbau von Bauprodukten, Wareneingang oder Warenausgang - bereits heute in unterschiedlichen Systemen dokumentiert werden. Durch die standardisierte Erfassung und Verknüpfung dieser Informationen kann eine durchgängige und interoperable Datenbasis geschaffen werden.
- Durch die Nutzung standardisierter Identifikatoren bietet er eine leistungsfähige Grundlage für digitale Transparenz und Rückverfolgbarkeit.

Die bisherigen Ergebnisse belegen, dass der EPCIS-Standard nicht nur eine flexible Grundlage für die Strukturierung von Prozessen entlang der Bau-Lieferkette darstellt, sondern auch das Potenzial bietet,

bereits vorhandene Daten aus unterschiedlichen IT-Systemen systematisch zu integrieren. Dies ist insbesondere relevant, da in der Bauwirtschaft viele Informationen verteilt in verschiedenen internen Systemen sowie bei externen Partnern vorliegen.

Um das Potenzial einer durchgängigen, interoperablen Datenbasis vollständig auszuschöpfen, wurde im nächsten Schritt untersucht, wie sich diese unterschiedlichen Datenquellen – etwa aus Logistik, Produktion, Planung, Wartung oder Kreislaufwirtschaft – in eine gemeinsame Struktur überführen lassen. Dies wird im Folgenden Kapitel beschrieben.

7.3.3.8 Zusammenführen von Daten aus unterschiedlichen internen und externen Datenquellen

Aufbauend auf der Abbildung der EPCIS-basierten Lieferkette wurde die entwickelte Methodik genutzt, um die erfassten Event-Daten mit vorhandenen Produktstammdaten sowie weiteren projektrelevanten Informationen zu verknüpfen. Auf diese Weise konnte eine konsistente und durchgängige Datenstruktur geschaffen werden, die sowohl im Excel-Dashboard als auch über die angebundenen EPCIS-Systeme nutzbar ist.

Für die technische Umsetzung des Lebenswegs einer Alu-Stange – von der Bereitstellung über die Verarbeitung bis hin zum finalen Einbau als Bestandteil eines Alu-Fensters im Gebäude, sowie für die Entwicklung der in Kapitel 8.4 beschriebenen BIM-Anwendungsfälle stellten die Projektpartner Demodataen auf Basis realer Ist-Prozesse zur Verfügung. Darüber hinaus wurden Testzugänge zu relevanten externen Systemen bereitgestellt, darunter SchüCal – das digitale Planungssystem von Schüco – sowie Madaster zur Erfassung und Verwaltung von Bauproduktdaten im Kontext der Kreislaufwirtschaft.

Validierung und Integration von EPCIS-Ereignisdaten, Stamm- und Prozessdaten im Kontext des zentralen Datenhubs

Zur praktischen Umsetzung wurde ein prototypischer, Excel-basierter Lieferketten-Datenhub entwickelt, der zwei zentrale Ziele erfüllt:

Erstens die strukturierte Abbildung von EPCIS-Ereignisdaten (z. B. Object-, Transformation-, Transaction- und Aggregation-Events) einschließlich EPC-IDs, Zeitstempeln, Readpoints und Statusinformationen. Nur wenn allen Beteiligten entlang der Lieferkette klar ist, welche Informationen sie in welcher Form bereitstellen müssen – etwa „Was“ (Produktidentifikationen), „Wann“ (Zeitpunkte), „Wo“ (Orte) oder „Warum“ (z. B. zugehöriger Auftrag) – können diese Daten im EPCIS-konformen Format zusammengeführt werden (siehe Abbildung 45).

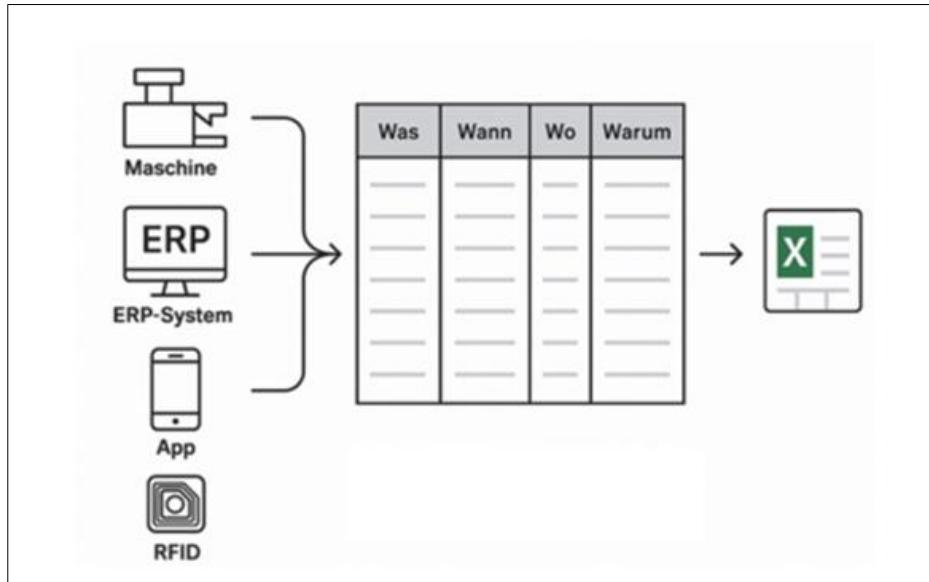


Abbildung 45: Zusammenführen der Eventdaten aus unterschiedlichen Datenquellen (eigene Darstellung)

Zweitens die Verknüpfung dieser EPC-IDs mit ergänzenden Stamm- und Prozessdaten, die auf Basis der ISO 23386 klassifiziert und semantisch harmonisiert wurden.

Damit konnte gezeigt werden, dass auch einfache Excel-Lösungen geeignet sind, um EPCIS-Daten nachvollziehbar aufzubauen, mit weiteren Datenquellen zu verknüpfen und für unterschiedliche Anwendungsfälle entlang der Lieferkette nutzbar zu machen – etwa für Qualitätssicherung, Rückverfolgbarkeit oder Rückbau-Szenarien. Im Unterschied zu einer zentralen EPCIS-Datenbank verfolgt der entwickelte Datenhub einen dezentralen Integrationsansatz, bei dem interne und externe Datenquellen zusammengeführt und in einem einheitlichen, semantisch strukturierten Format dargestellt werden.

Ein direkter Upload von Excel-Dateien in die GS1 EPCIS-Workbench ist derzeit nicht vorgesehen, allerdings besteht die Möglichkeit, strukturierte Excel-Daten in ein EPCIS-konformes XML-Format zu überführen. Im Projekt diente die GS1 EPCIS-Workbench zur Prüfung der Datenstruktur und zur Validierung typischer Ereignismuster, bevor diese in den EPCAT-Server überführt wurden.

Der Datenhub bildet nicht nur eine manuelle Arbeitsgrundlage, sondern eröffnet auch Anschlussmöglichkeiten für eine spätere Automatisierung – etwa durch IoT-gestützte Echtzeitdaten, Maschinenschnittstellen oder Apps zur mobilen Datenerfassung. Damit schafft er die Voraussetzung für eine durchgängige digitale Rückverfolgbarkeit über Unternehmens- und Systemgrenzen hinweg und fungiert als zentrale Schnittstelle zur Vereinheitlichung von Datenformaten, Begriffen und Prozessen im Bauwesen.

7.3.3.9 Aufbau eines Excel-basierten Rückverfolgbarkeits-Lieferketten-Datenhubs

Excel als pragmatischer Einstiegspunkt

Excel ist weit verbreitet und einfach zu bedienen – ohne dass spezielle IT-Kenntnisse oder eine komplexe Systemlandschaft erforderlich sind. Da viele Unternehmen Excel bereits für Datenverwaltung und Prozessdokumentation einsetzen, ist die Einstiegshürde entsprechend gering.

Warum Excel?

- Niedrige Einstiegsschwelle: Excel ist ohne zusätzliche Software oder IT-Integration sofort einsatzbereit.
- Schnelle Implementierung: Daten können unmittelbar erfasst und strukturiert werden.
- Hohe Flexibilität: Bestehende Prozesse lassen sich leicht abbilden und bei Bedarf schrittweise weiterentwickeln.
- Geringe Kosten: Im Vergleich zu spezialisierten Tools wie der kostenfreien EPCIS-Workbench (mit eingeschränkter Funktionalität) oder EPCAT (Projekt Lizenz ca. 5.000 €, regulär signifikant teurer) stellt Excel einen kostengünstigen und zugleich flexibel einsetzbaren Einstieg dar.
- Darüber hinaus dient die initiale Arbeit mit Excel nicht nur als niedrigschwelliger Einstieg, sondern auch zur systematischen Dokumentation der Anforderungen und Herausforderungen in der konkreten Prozessumgebung. Dies schafft eine fundierte Grundlage, um zielgerichtet Anforderungen an IT-Dienstleister zu formulieren. Die erarbeiteten Inhalte stellen somit keinen Mehraufwand dar, sondern sind ein wichtiger Bestandteil des digitalen Transformationsprozesses und erhöhen die Umsetzungsfähigkeit des Gesamtkonzepts.

Grenzen von Excel

- Oftmals existieren projekt- oder abteilungsbezogene Einzellösungen, wodurch Datensilos entstehen können.
- Die Möglichkeiten zur Automatisierung und Skalierbarkeit sind begrenzt.

Brücke zur Digitalisierung

Excel dient als pragmatische Lösung für den Übergang von manuellen zu digitalisierten, automatisierten Prozessen. Auf dieser Basis lassen sich verschiedene Wege zu einer skalierbaren IT-Lösung einschlagen – von der Erweiterung bestehender Systeme bis hin zu hybriden, modularen Ansätzen.

Beispielhafte Umsetzung der referenziellen Datenverknüpfung [42] in Excel

Im Forschungsprojekt wurde eine Excel-Datei entwickelt, die als zentrales Bindeglied zur strukturierten Verknüpfung unterschiedlicher Datenquellen dient. In separaten Tabellenblättern werden dabei BIM-Daten, Produktstammdaten, Gebäudestammdaten, Prozessdaten sowie EPCIS-Ereignisdaten abgelegt. Diese Informationen werden verknüpft und in Dashboards zusammengeführt – ohne eine zentrale physische Datenhaltung zu erzwingen.

Abbildung 46 zeigt dieses Prinzip in Form einer zentralen Speicherstelle als Rückverfolgbarkeits-Lieferketten-Datenhub (RLD).

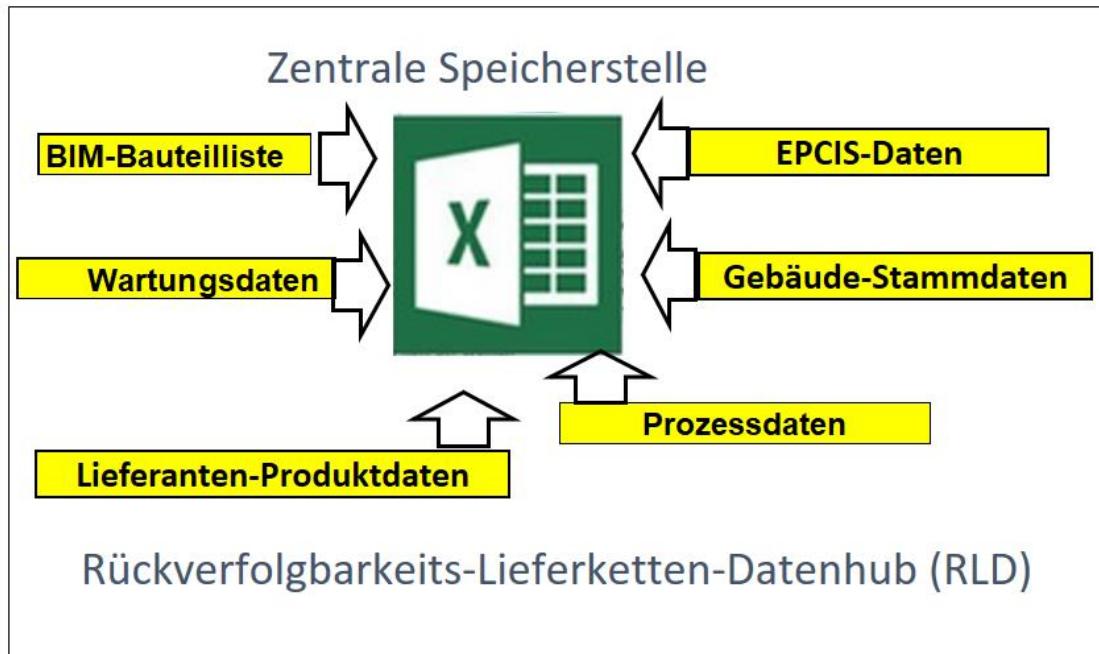


Abbildung 46: Rückverfolgbarkeits-Lieferketten-Datenhub (eigene Darstellung)

Die referenzielle Verknüpfung erfolgt über eindeutige Idente wie GUIDs oder GTINs. Dadurch entsteht ein kontextbezogener Gesamtüberblick, etwa für den Einbaunachweis, die Rückverfolgung von Chargen, die Dokumentation von Wartungen oder den Rückbau einzelner Bauteile. Diese Verknüpfung ist skalierbar und lässt sich flexibel auf verschiedene Anwendungsfälle in der Bau- und Immobilienwirtschaft übertragen.

Ein exemplarischer Use Case zeigt die Abbildung der Bauteilstruktur eines Aluminiumfensters:

- Die **Parent ID** steht für das zusammengesetzte Produkt (z. B. das Fenster),
- die **Child IDs** repräsentieren die einzelnen Komponenten wie Fensterrahmen oder Beschläge.

Über die referenzielle Verknüpfung mit Stammdaten (z. B. Artikelbeschreibung, Gewicht gemäß Lieferantendaten) und Prozessdaten (z. B. Einbau-Status, eingebaute Menge) entsteht eine tabellarische Übersicht, die im Dashboard visualisiert wird. Diese Übersicht unterstützt die Qualitätskontrolle, erhöht die Transparenz und liefert eine belastbare Datengrundlage für Rückbau- oder Wartungsvorgänge.

Abbildung 47 zeigt exemplarisch die strukturierte Zusammenführung dieser Datenquellen anhand des Fensterrahmens.

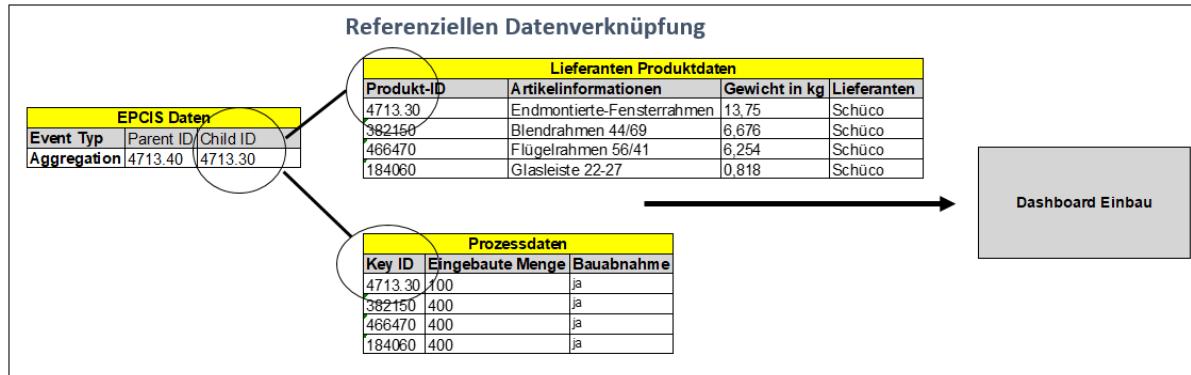


Abbildung 47: Darstellung der referenziellen Datenverknüpfung (eigene Darstellung)

Ziel war es, ein niedrigschwelliges, interoperables Werkzeug zu schaffen, das in unterschiedlichen Projektkontexten einsetzbar ist – sowohl für erste Pilotanwendungen als auch für die spätere Integration in skalierbare IT-Lösungen.

Beschreibung der Excel-Datei als zentraler Daten-Hub

Die im Forschungsbericht erstellte Excel-Datei wird im Folgenden auszugsweise beschrieben. Die vollständige Dokumentation befindet sich im Anhang. In den nächsten Abschnitten werden exemplarisch zentrale Bestandteile der Datei vorgestellt.

Das Tabellenblatt „README“ enthält eine Einführung in Zielsetzung und Aufbau der Datei (vgl. Abbildung 48)

Zielsetzung	Entwicklung von zentralen Excel-Dashboards zur Informationszusammenführung von Daten aus unterschiedlichen internen und externen Datenquellen.
ISO 23386	Basierend auf ISO 23386 wird eine standardisierte Struktur für die Beschreibung und Verwaltung der Attribute eingeführt. Dies schafft eine interoperable Grundlage, die eine nahtlose Weiterentwicklung zu IoT- und Cloud-Lösungen ermöglicht. Durch die Einhaltung dieses Standards werden Skalierbarkeit, Kompatibilität und eine nachhaltige Nutzung der Daten sichergestellt.
Definition der notwendigen Informationen	Für jeden spezifischen Anwendungsfall werden die notwendigen Informationen und relevante Datenquellen definiert, z.B. EPCIS-Daten oder Stammdaten, die in einer einheitlichen Struktur als Tabellenblätter eingefügt werden.
Einbindung von externen Excel Dateien	Die Informationen aus externen Excel Dateien können entweder - als Tabellenblatt in eine Datei eingefügt oder - als eigenständige Datei mit dem Dashboard verknüpft werden. # Wichtig ist, dass die Daten einheitlich aufbereitet werden. # Entweder versendet der Datensender die Daten bereits in dieser Form oder sie müssen vom Datenempfänger entsprechend formatiert werden. # Im ersten Schritt erfolgt der Austausch der Excel-Dateien per E-Mail als einfache Methode zur Weitergabe von Informationen
Definition von Link-Ids	In jedem Tabellenblatt werden Link_Ids eingefügt, um benötigte Informationen aus den einzelnen Tabellenblätter mithilfe eines SVERWEIS im Dashboard zusammenzuführen.
Aufbau des Dashboard	Der Anwendungsfall bestimmt den Aufbau des Dashboards. Beispielsweise werden bei einem Rückruf andere Informationen benötigt, als beim Wartungsmanagement oder Rückbau.
Entwicklung eines Prototyps für IoT- und Cloudlösungen	Das Excel- Dashboard dient als Prototyp und bildet die Grundlage für die spätere Entwicklung einer IoT- und Cloud-Lösung. Die erfassten Daten und Prozesse können schrittweise in fortschrittlichere Systeme integriert werden, um eine nahtlose Informationsverarbeitung in Echtzeit zu ermöglichen.
Aufbau der Datei	Kurzbeschreibung
Projekt Datenmodell SPoT	Single Point of Truth: Beschreibung aller im Projekt verwendeten Attribute für User inkl. Informationen für eine IT-Programmierung
Dashboard 1 Einbau	Zusammenführung aller Daten aus unterschiedlichen internen und externen Datenquellen
Dashboard 2 Wartung	Zusammenführung aller Daten aus unterschiedlichen internen und externen Datenquellen
Dashboard 3 Rückbau	Zusammenführung aller Daten aus unterschiedlichen internen und externen Datenquellen
Dashboard 4 Rückruf	Zusammenführung aller Daten aus unterschiedlichen internen und externen Datenquellen
Gebäude Stammdaten	Daten der unterschiedlichen Gebäude in den 3 Use Cases
BIM-Bauteilliste	Daten aus den BIM Modellen
EPCIS Daten	Aufbau analog GS1 Workbench
Lieferanten Produktdaten	Formatierte Daten aller beteiligten Projektlieferanten in einheitlicher Struktur
Prozessdaten	Daten die einzelne Prozesse abbilden wie Einbau oder Rückruf erledigt
Rückbau Madaster	Benötigte Daten für Befüllung Madaster System
Stammdaten Heizungsanlage	Die für die Heizungsanlage hinterlegten Stammdaten
Wartung Heizung	Wartung Heizung
Schüco Original	Original Format Schüco Daten
Jansen Original	Original Format Jansen Daten
Madaster	Original Excel Vorlage
Attribute eines Merkmals	Aufbau nach ISO 23386 und Check der im Projekt verwendeten Merkmale
Attribute Merkmalsgruppe	Aufbau nach ISO 23386 und Check der im Projekt verwendeten Merkmale
Attribute Datenkatalog	Aufbau nach ISO 23386

Abbildung 48: Tabellenblatt README (Eigene Darstellung)

Im Tabellenblatt „Projektdatenmodell“ erfolgt die strukturierte Erfassung und Aufbereitung aller relevanten Informationen gemäß ISO 23386. Dieses Datenmodell stellt eine Weiterentwicklung der im Projekt genutzten Datenmatrix dar (siehe Abbildung 49) und fungiert als Single Point of Truth (SPoT). Es wurde direkt in den Lieferketten-Daten-Hub integriert, um eine konsolidierte Datenbasis zu schaffen. Zwar könnten theoretisch mehrere Dateien verknüpft werden, aus Gründen der Übersichtlichkeit wurde jedoch eine einzige Datei verwendet.

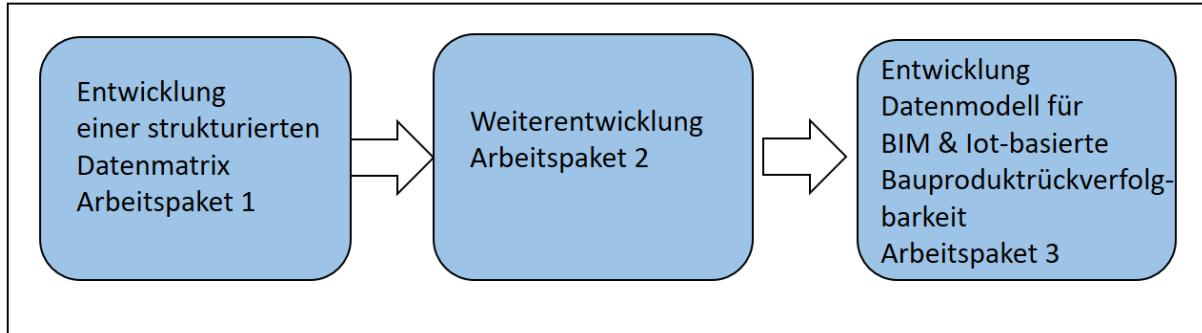


Abbildung 49: von der Datenmatrix zum Datenmodell (eigene Darstellung)

Das Projektdatenmodell umfasst sämtliche im Projekt verwendeten Merkmale und Attribute – einschließlich der in Arbeitspaket 5 behandelten Anwendungsfälle. Es dient dazu, ein einheitliches Verständnis zu schaffen, welche Informationen mit welchen Merkmalen oder Attributen verknüpft sind. Darüber hinaus unterstützt es die Begriffsklärung und Zuordnung insbesondere im Kontext der Anwendung des **EPCIS-Standards**. Für den Aufbau von Importschnittstellen kann dieses Datenmodell ebenfalls als Grundlage dienen.

Die im Lieferketten-Daten-Hub hinterlegten **EPCIS-Daten** orientieren sich strukturell an der **Systematik der GS1 Workbench**. Diese Ausrichtung ermöglicht eine standardkonforme Modellierung der Ereignisdaten entlang der Lieferkette. Die Umsetzung wurde exemplarisch in der verwendeten Excel-Datei abgebildet (siehe Abbildung 50), einschließlich der Eventtypen und zugehörigen Attribute in das übergeordnete Datenmodell.

Tabellenblatt EPCIS-Daten							
Name/Merkmal/Attribut	Event Typ + Aktion		WHEN				
Woher kommt die Alu Stange	Object	add	21.01.2025 00:00	21.01.2025 10:00	Europa/Berlin		
Original Alustange, Rohstoffproduzent	Transaction	observe	22.01.2025 00:00	22.01.2025 10:00	Europa/Berlin		
WHERE Readpoint	WHERE Business Location	WHY		WHY Transaction Typ + Nr.			
04000000.000002.20	04000000.000002.10	(72) receiving	(83) in progress	PO	1000		
04000000.000002.20	04000000.000002.10	(72) receiving	(83) in progress	PO	1000		
What Xform ID	What (Child EPC-61)-What (EPCs-59)-What (Quantities-50)WHAT (Parent ID -53; Input EPCs-54)			What Quantity			
OF Aluprozess:4711	04000000.001000.10						
	04000000.001000.10						
WHAT (Output EPCs-56)- (Output Quantities-57)		What Quantity					
04100000.100000.10; 04100000.200000.20; 04100000.300000.30;							
04100000.400000.40							
04100000.002000.20							

Abbildung 50: Tabellenblatt EPCIS-Daten (eigene Darstellung)

Die **integrierten Dashboards** fassen zentrale Informationen entlang der Lieferkette strukturiert zusammen und visualisieren sie. Die Verknüpfung der zugrundeliegenden Daten erfolgt über Excel-Funktionen wie SVERWEIS. Auf dieser Basis wurde eine prototypische Umsetzung der Datenintegration realisiert, mit der sich anwendungsfallspezifische Auswertungen durchführen lassen.

Im Ergebnis entstand eine einfache, aber funktionale Lösung, bei der verschiedene Datenquellen – darunter Gebäude-Stammdaten, BIM-Bauteillisten, EPCIS-Ereignisdaten, Lieferanten-Stammdaten sowie prozessbezogene Statusinformationen – konsolidiert in einer Datei zusammengeführt und analysiert werden konnten.

Von der Alu-Stange bis zum Einbau mit allen relevanten Daten in der Lieferkette

Ziel war es, die Rückverfolgbarkeit eines konkreten Bauteils über mehrere Stufen der Lieferkette hinweg mit Hilfe des EPCIS-Standards abzubilden und dabei eine durchgängige Datenstruktur zwischen den beteiligten Akteuren zu schaffen.

Die Grundlage bildete die Excel-basierte Rückverfolgbarkeits-Lieferketten-Datenhub-Datei (RLD). In dieser Datei wurden zunächst alle relevanten EPCIS-Events Daten analog der GS1 Workbench erfasst und mit den zugehörigen Stammdaten und Prozessdaten der beteiligten Bauprodukte verknüpft. Die Verknüpfung erfolgte in den einzelnen Dashboards, welche es ermöglichte, serielle Idente (z. B. GTIN) mit zusätzlichen Informationen wie Artikelbeschreibung oder Einbauort zusammenzuführen. So konnte ausgehend von der eindeutigen ID der Alu-Stange ein digitaler Verlauf mit allen nötigen Informationen erzeugt werden.

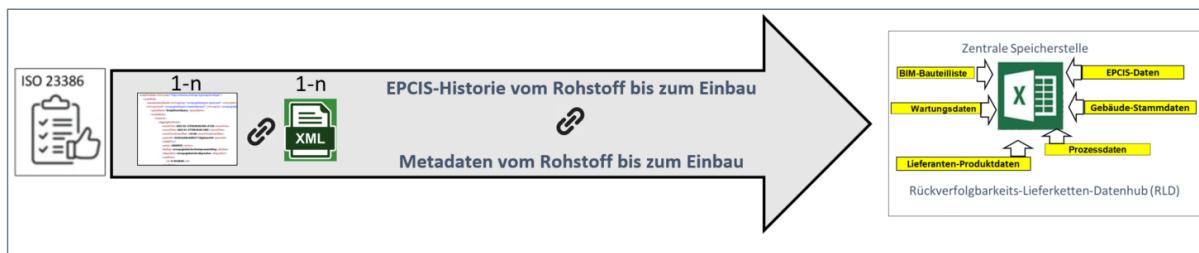


Abbildung 51: Rückverfolgbarkeits-Lieferketten-Datenhub (RLD) (eigene Darstellung)

Dieser strukturierte Aufbau diente als Ausgangspunkt für die Entwicklung einer IoT-basierten Cloud-Lösung, die die manuell gepflegten Excel-Strukturen in eine automatisierte Datenverarbeitung überführte. Ziel war es, die Event-Daten zukünftig direkt aus IoT-Systemen oder betrieblichen Anwendungen (z. B. ERP, MES) in eine zentrale Cloud-Umgebung zu integrieren, in der sie standardisiert nach EPCIS-Logik gespeichert und weiterverarbeitet werden können. Die in der Excel-Datei verwendeten SVERWEIS-Logiken wurden dabei durch Datenbank-Joins [43] ersetzt, die in einem modularen Systemdesign die automatische Verknüpfung interner und externer Datenquellen ermöglichen.

Durch diesen Übergang von der Excel-basierten Prototypenstruktur zur Cloud-Lösung wurde der Weg zu einem skalierbaren, interoperablen Datenökosystem geebnet, das perspektivisch auch weitere Anwendungsfälle, wie digitale Wartung oder Rückbau, integrieren kann.

7.3.3.10 Von Excel zur cloudbasierten Gebäudedatenlösung in Form eines Mockups als Zukunftsvision

Analyse der Systemoptionen für die Bauproduktrückverfolgbarkeit

Unsere Analyse hat gezeigt, dass eine **Common Data Environment (CDE)** als zentrale Plattform zwar umfassende Funktionen für Bauwerksdaten bietet, jedoch nicht optimal für eine **ereignisgesteuerte Produktverfolgung mit EPCIS-Daten** von Lieferanten und Logistikdienstleistern ausgerichtet ist. CDEs fokussieren **Dokumentenmanagement und Bauwerksinformationen**, während unser Ansatz eine flexible Rückverfolgbarkeit entlang der Lieferkette erfordert.

Eine CDE-Lösung wäre nutzbar, doch unsere Entscheidung fiel auf eine **leichtgewichtige, skalierbare Cloud-Lösung** auf Basis des entwickelten Excel-basierten Lieferketten-Daten-Hubs. Dies bietet:

- **Flexibilität & Skalierbarkeit** unabhängig von CDE-Anbietern,
- **Einfache Implementierung** ohne große Eingriffe in IT-Unternehmensstrukturen,
- **Direkte EPCIS-Integration** für transparente Rückverfolgbarkeit,
- **Interoperabilität** mit Logistik- und Lieferantensystemen.

Die erarbeiteten Ansätze können dennoch auch für andere **IT-Architekturen und CDE Plattformen** genutzt werden.

IT-Infrastruktur zur Umsetzung einer cloudbasierten Rückverfolgbarkeitslösung

Die Cloud-Lösung kann von unterschiedlichen Akteuren betrieben werden, etwa vom Bauherrn, der Gebäudeverwaltung, einem Generalunternehmen oder einer zuständigen Behörde. Entscheidend ist dabei, dass das System offen gestaltet ist, sodass alle Beteiligten entlang der Lieferkette nahtlos eingebunden werden können.

Für die Umsetzung ist eine modulare, cloudbasierte IT-Infrastruktur erforderlich, die zentrale Funktionen zur Datenverarbeitung mit benutzerfreundlichen Schnittstellen kombiniert. Sie gewährleistet eine ortsunabhängige, skalierbare und durchgängige Verfügbarkeit von Rückverfolgbarkeitsdaten für alle Akteure der Lieferkette. Die Verantwortung für den Betrieb kann flexibel ausgestaltet werden, ohne die Offenheit des Systems einzuschränken.

Die nachfolgende Architektur skizziert die wesentlichen Systemkomponenten und ihre Aufgaben im Rahmen der digitalen Rückverfolgbarkeit von Bauprodukten.

Im **Backend** erfolgt die zentrale Datenverarbeitung. Eine cloudbasierte Datenbank speichert sowohl statische Informationen (z. B. Stammdaten) als auch dynamische Lieferketten-Events gemäß EPCIS-Standard. Darüber hinaus übernimmt das Backend die Verwaltung von Benutzerkonten, Zugriffsrechten sowie die Sicherstellung der Datenintegrität.

Im **Frontend** wird die Interaktion mit den erfassten Daten ermöglicht. Über ein webbasiertes Dashboard werden die gesammelten Informationen zu einer projektbezogenen Übersicht zusammengeführt. Das System erlaubt die Statusverfolgung einzelner Bauteile sowie die gezielte Analyse spezifischer Use Cases mithilfe von Filterfunktionen und Echtzeit-Updates aus dem Backend.

Ergänzend kommt eine **mobile Anwendung (App oder Web-App)** zum Einsatz, über die Daten vor Ort – beispielsweise auf der Baustelle – direkt erfasst und dokumentiert werden können. Die Eingaben

werden automatisch mit dem zentralen Backend synchronisiert und in den Gesamtkontext der Lieferkette eingeordnet.

Ein zentrales Element zur Gewährleistung der Rückverfolgbarkeit sind **scannbare Readpoints**, etwa in Form von QR-Codes. Diese erlauben es, Produkte und Prozesse entlang der Lieferkette eindeutig zu identifizieren – vom Rohmaterial über den Transport bis zum Einbau auf der Baustelle.

Für den **Datentransfer** stehen verschiedene Schnittstellen und Formate zur Verfügung. Neben klassischen **API-Schnittstellen** werden **2D-Digital Link Codes** (z. B. QR-Codes), **Excel-Uplands und -Downloads** sowie **Machine-to-Machine (M2M) -Kommunikation** unterstützt. Dadurch können sowohl automatisierte Prozesse als auch einfache manuelle Eingaben abgedeckt werden.

Die Lösung ist in der Lage, verschiedene **Datenformate** wie **XML**, **JSON** und **CSV** zu verarbeiten, um eine flexible Anbindung an bestehende Systeme und Datenquellen zu ermöglichen.

Semantische Strukturierung und Visualisierung von Datenzusammenhängen

Zur besseren Verständlichkeit der vielfältigen Datenquellen und -prozesse im Projekt wurde ein konzeptionelles Strukturmodell entwickelt, das zentrale Informationsobjekte und deren Beziehungen visuell abbildet. Ziel war es, die relevanten Zusammenhänge zwischen Datenquellen, Attributen und Prozessen übersichtlich darzustellen, um eine gemeinsame Diskussions- und Verständnisgrundlage für die digitale Rückverfolgbarkeit zu schaffen.

Zur Erstellung der Visualisierungen wurde der quelloffene Ontologie-Editor Protégé eingesetzt. Obwohl keine formale Ontologie im Sinne semantischer Webtechnologien aufgebaut wurde, ermöglichte das Tool eine strukturierte grafische Darstellung der fachlich relevanten Begriffe, ihrer Merkmale und wechselseitigen Beziehungen. Die grafischen Modelle erwiesen sich insbesondere in Gesprächen mit Praxispartnern als hilfreich, um das Zusammenspiel von Datenquellen, Prozessen und Use Cases anschaulich zu vermitteln.

Die entwickelte Struktur ist als Baumdiagramm organisiert und gliedert sich in drei Hauptbereiche:

- **Dashboards:** Visualisierungs- und Interaktionsoberflächen, wie sie im Projekt beispielsweise im Rückruf-Use Case eingesetzt wurden. Sie unterstützen die zielgerichtete Analyse von Lieferkettenereignissen.
- **Datenquellen:** Repräsentieren Ursprungssysteme wie Planungssoftware (z. B. SchüCal) oder Wartungsdokumente, deren Informationen in das Modell eingebunden wurden.
- **Verarbeitungstools:** Zeigen exemplarisch, wie strukturierte Daten an weiterführende Systeme (z. B. Madaster) übergeben werden können, um eine Integration in digitale Kreislaufprozesse zu ermöglichen.

Diese konzeptionelle Modellierung diente als Brücke zwischen technischer Infrastruktur und fachlichen Anforderungen und unterstützte die Begriffsbildung im Projektkontext. Sie stellt keinen vollumfänglichen semantischen Standard dar, kann jedoch als Grundlage für eine spätere Formalisierung und Weiterentwicklung genutzt werden.

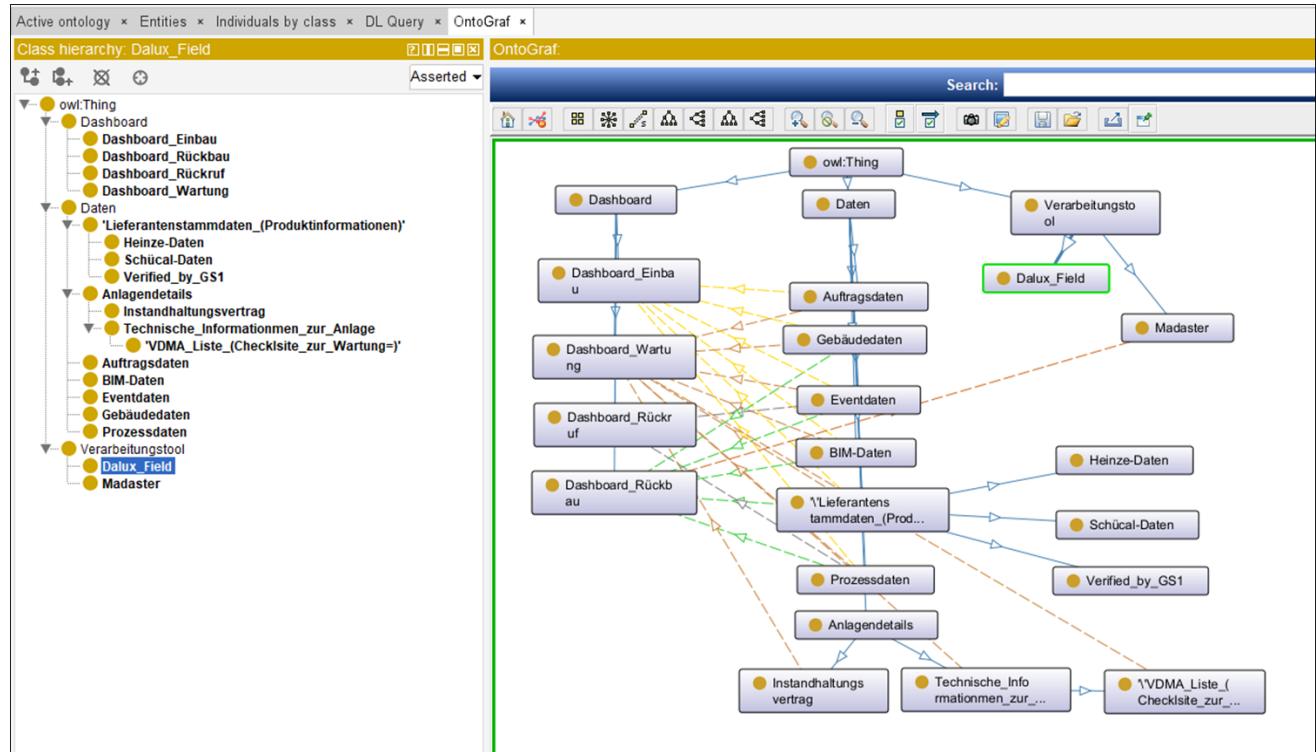


Abbildung 52: Visualisierung der Datenzusammenhänge in protégé (eigene Darstellung)

Mockup als prototypische Umsetzung und Weiterentwicklungs perspektive

Das im Rahmen des Projekts mit dem IT-Dienstleister nexoma entwickelte Mockup bildet den finalen Umsetzungsbaustein des Gesamtkonzepts zur digitalen Rückverfolgbarkeit von Bauprodukten. Es integriert die zuvor beschriebenen strukturellen, semantischen und technischen Komponenten in einer praxisorientierten Anwendung und verdeutlicht die technische Machbarkeit der im Projekt erarbeiteten Methoden.

Das Mockup ermöglicht unter anderem die visuelle Darstellung von Lieferkettenereignissen, die Verknüpfung mit Stammdaten und die Echtzeit-Interaktion über Scanfunktionen oder Datenuploads. Es bietet damit einen prototypischen Zugang zur Nachverfolgung von Bauprodukthinweisen im digitalen Raum.

Darüber hinaus dient es als Ausgangspunkt für die Entwicklung individueller IT-Lösungen im Unternehmenskontext. Die dabei eingesetzten Technologien und Datenflüsse können an spezifische Anforderungen angepasst und sukzessive ausgebaut werden – etwa durch die Integration in bestehende Systemlandschaften oder die Anbindung an kreislaufwirtschaftliche Plattformen.

Das Mockup schließt somit den konzeptionellen Bogen vom theoretischen Modell über die Datenstrukturierung bis zur anwendungsorientierten Umsetzung und bildet eine fundierte Grundlage für zukünftige digitale Traceability-Anwendungen im Bauwesen. Im Arbeitspaket 5 „Entwicklung eines Demonstrators“ wird es gezielt weiterentwickelt, um zusätzliche Anwendungsfälle und technische Funktionalitäten abzubilden.

7.3.3.11 Ergebnisdarstellung des Mockups

Zur Veranschaulichung der zentralen Funktionen und der Anwendungslogik des entwickelten Mockups werden im Folgenden exemplarische Screenshots aus der interaktiven Anwendung gezeigt.

Die konzeptionelle Idee des Ansatzes wurde in einem Mockup visualisiert, das in Anlage 5 „Mockup – Die Idee im Detail“ dokumentiert ist. Diese Anlage enthält eine Folienpräsentation, die zentrale Aspekte der geplanten Anwendung veranschaulicht. Eine interaktive Umsetzung des Mockups, einschließlich ausgewählter Anwendungsbeispiele, erfolgt im Rahmen des Demonstrators, wie in Arbeitspaket 5 beschrieben und in Anlage 6 dokumentiert.

Darstellung zentraler Funktion des Mockups anhand ausgewählter Beispiele

Zur Darstellung des entwickelten Konzepts wurde eine prototypische Mockup-Anwendung implementiert, die die zentrale Verwaltung und Analyse verschiedener Gebäudeinstanzen in einer cloudbasierten Umgebung ermöglicht. Ziel war es, die praktische Anwendbarkeit des Konzepts zur durchgängigen digitalen Erfassung und Auswertung von baubezogenen Informationen entlang des Lebenszyklus exemplarisch darzustellen.

Im Rahmen des Projekts wurden drei repräsentative Beispiele ausgewählt und modellhaft umgesetzt, die unterschiedliche Aspekte der digitalen Bauwerksdokumentation adressieren:

- das Universitätsgebäude der BUW zur Simulation eines Datenimports und eines Rückrufprozesses für fehlerhafte Bauprodukte,
- ein Gebäude des Gebäudemanagements Wuppertal zur digitalen Abbildung und Nachverfolgung von Wartungsprozessen,
- ein Objekt des Unternehmens Goldbeck zur Demonstration von Tracking- und Tracing-Funktionalitäten auf Bauteilebene.

Alle relevanten Informationen werden dabei in der Cloud gespeichert und können über flexibel konfigurierbare Dashboards anwendungsspezifisch visualisiert werden. Die drei Beispiele umfassen konkret:

1. die Simulation des Uploads von BIM-Bauteillisten und weiteren digitalen Datenquellen,
2. die cloudbasierte Simulation von Tracking- und Tracing-Funktionen mit BIM-Bauteilreferenz über den Data Inspector,
3. sowie die Simulation der Verknüpfung von Wartungsberichten mit Gebäudestammdaten.

Simulation des Uploads von BIM-Bauteillisten und weiteren digitalen Datenquellen

Über die Schaltfläche „BUW HC Upload“ (vgl. Abbildung 53) gelangt man zur Datenimportfunktion.

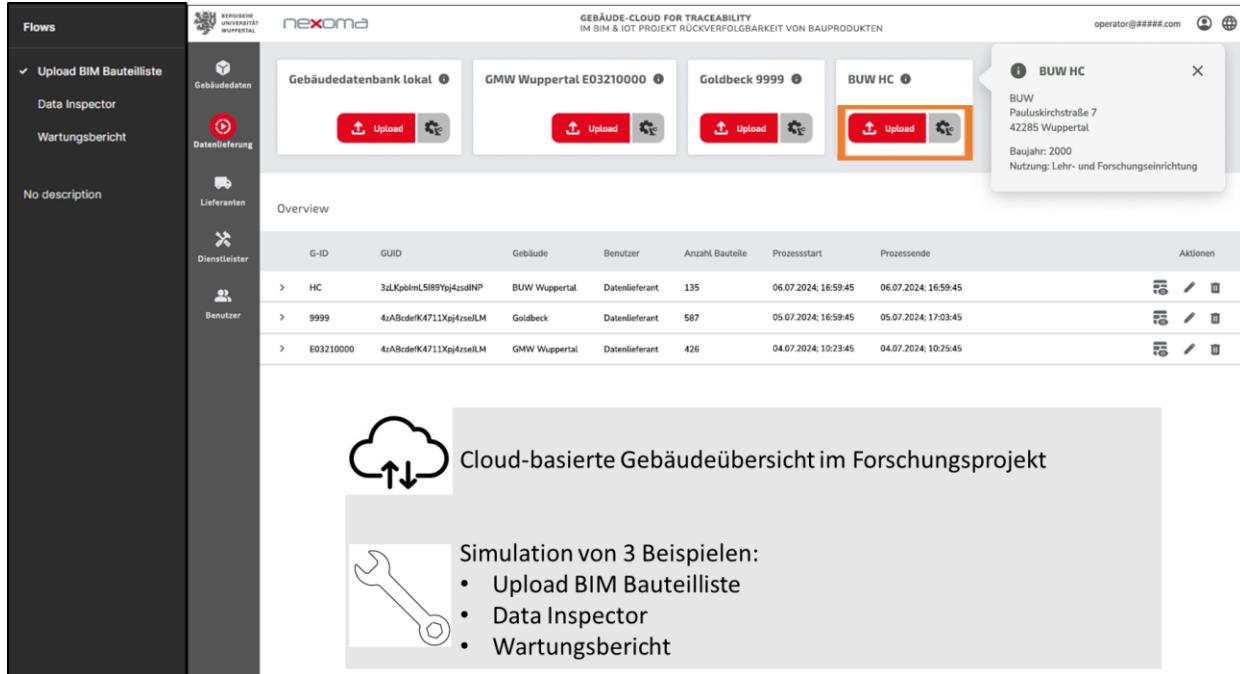


Abbildung 53: Screenshot der Mockup-Version Gebäude-Cloud

Beispielhafte Datenquelle: Upload einer Bauteilliste

Dort können strukturierte Daten – etwa Bauteillisten im definierten Format – hochgeladen werden (vgl. Abbildung 54). Nach Betätigung des „Weiter“-Buttons wird eine BIM-konforme Bauteilliste verarbeitet, die unter anderem betroffene Komponenten im Kontext eines Rückruf-Szenarios enthält.

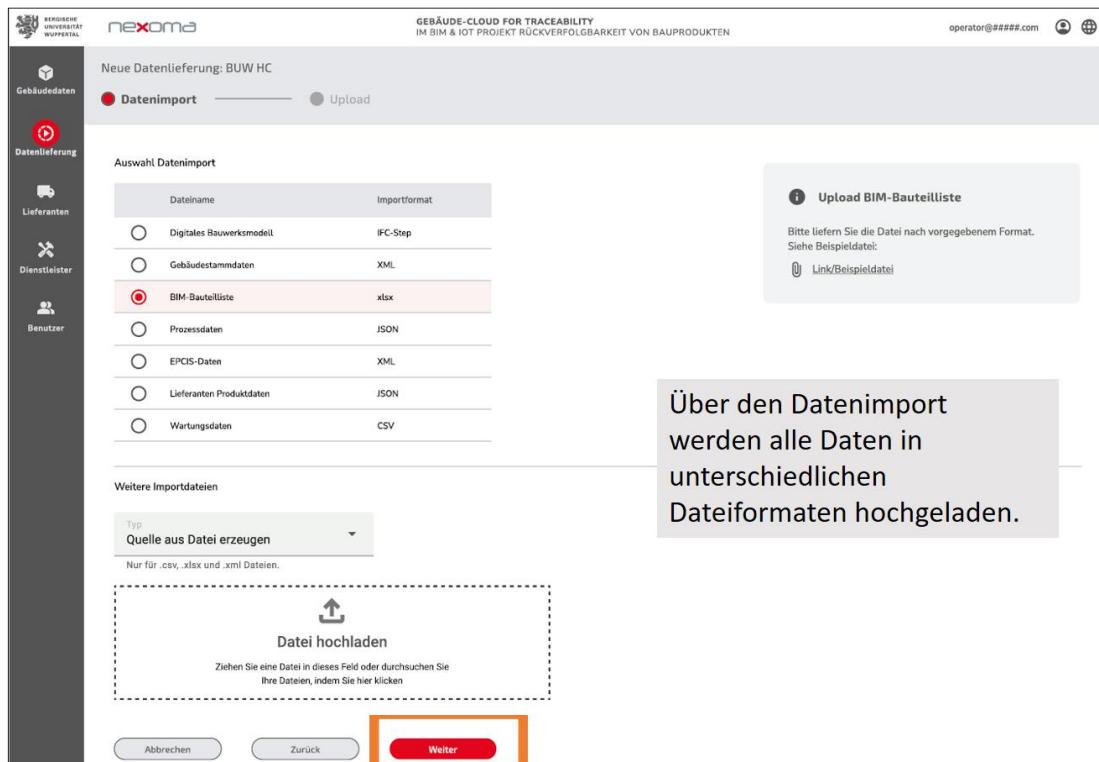


Abbildung 54: Screenshot des Mockups zum Datenimport

In der Abbildung 55 ist der Ablauf des Upload-Vorgangs visualisiert:

1. Zunächst wird die Funktion „**Automatische Profilauswahl**“ aktiviert.
2. Anschließend erfolgt die Auswahl der Option „**BIM-Bauteilliste**“.
3. Daraufhin wird eine Vorschau der importierten Daten angezeigt.
4. Nach erfolgreicher Prüfung kann der Datensatz hochgeladen und in das System übernommen werden.

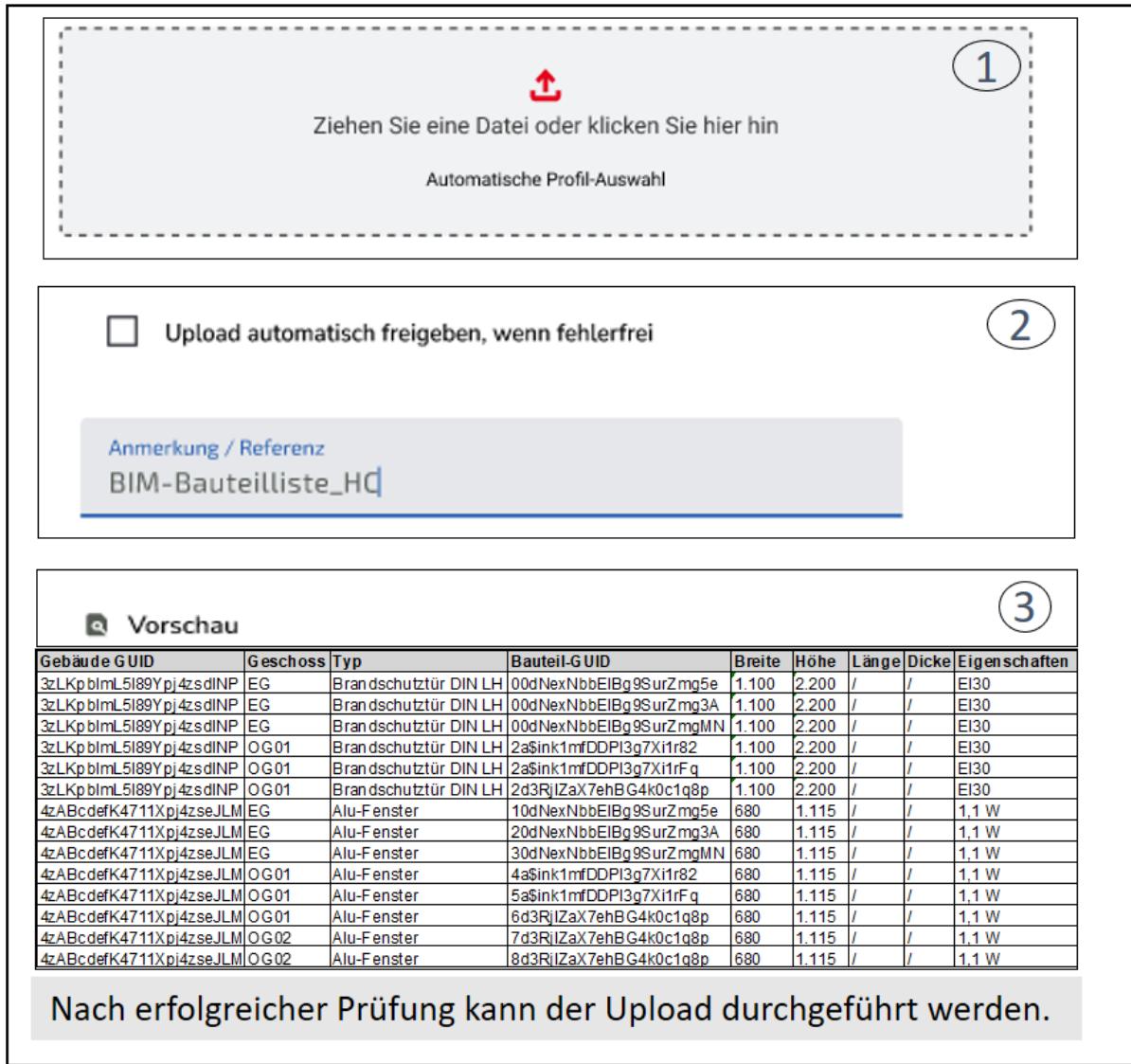


Abbildung 55: Screenshot der Mockup Upload Freigabe Funktion

Der Upload einer Bauteilliste stellt dabei exemplarisch nur eine mögliche Datenquelle dar. In gleicher Weise können auch digitale Bauwerksmodelle, EPCIS-konforme Eventdaten oder Stammdaten hochgeladen und verarbeitet werden.

Die Verknüpfung und Auswertung dieser heterogenen Datenquellen ermöglicht es, anwendungsspezifische Informationszusammenstellungen zu generieren – etwa zur Dokumentation von durchgeführten Wartungen, zur Abwicklung von Rückrufen oder zur Unterstützung von Rückbauprozessen. Solche Informationen lassen sich dynamisch in einem Dashboard visualisieren und interaktiv auswerten, wie in Abbildung 56 exemplarisch dargestellt.

KOSTENSAMMLER	ANLAGENBEZEICHNUNG	VERTRAGSNEHMER	WIRKUNG AB	VERTRAGSENDE	WARTUNGSINTERVALL
E03210000	HZG 1234 Kessel	Firma Bangert	01.01.2024	31.12.2026	2
E03210000	HZG 1234 Kessel	Firma Bangert	01.01.2024	31.12.2026	2
E03210000	HZG 1234 Kessel	Firma Bangert	01.01.2024	31.12.2026	2
E03210000	HZG 1234 Kessel	Firma Bangert	01.01.2024	31.12.2026	2

In Dashboards können die benötigten Daten je Anwendungsfall individuell zusammengestellt werden.

Abbildung 56: Screenshot eines Mockup Dashboard Beispiel

Damit zeigt sich exemplarisch, wie durch die strukturierte Verknüpfung digitaler Bauwerksdaten und Ereignisinformationen praxisrelevante Anwendungsfälle – wie etwa Rückrufe – effizient unterstützt und im Sinne eines digitalen Zwillings abgebildet werden können.

Cloudbasierte Simulation von Tracking & Tracing mit BIM-Bauteilreferenz über den Data Inspector
Nach Auswahl eines Gebäudes im Data Inspector kann über die Schaltfläche „Bearbeiten“ die zugehörige Datenmaske zu Gebäudedaten geöffnet werden.

Abbildung 57: Screenshot Mockup „Bearbeitung“

In der Übersicht „Alle Daten“ werden die aus der Cloud bereitgestellten, referenzierten Informationen angezeigt. Mit Betätigung der Funktion „Tracking & Tracing“ erfolgt die Visualisierung der zugeordneten Einbauinformationen auf Bauteilebene (vgl. Abbildung 58).

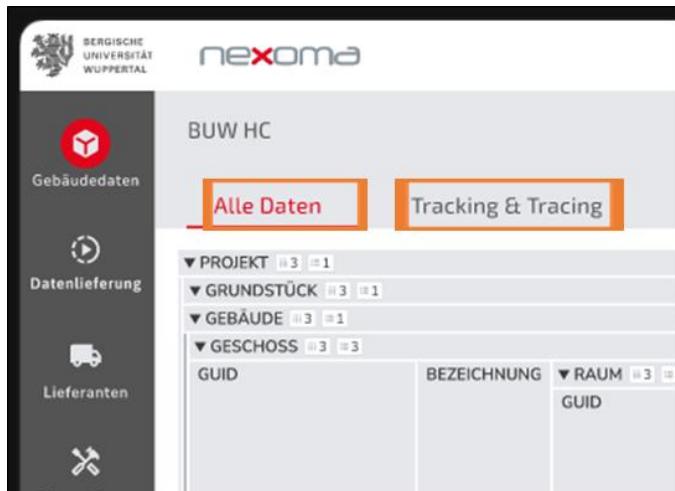


Abbildung 58: Screenshot des Mockups „Übersicht alle Daten“

Grundlage dieser Zuordnung ist die im EPCIS-Standard vorgesehene Aggregationslogik, bei der Bauteile über Parent ID und Child ID miteinander verknüpft werden. Über die Funktion „Editieren“ kann der Datensatz einzelner Komponenten weiter geöffnet oder der Vorgang beendet werden (vgl. Abbildung 59 und Abbildung 60).

GEWERK	TYP	BAUTEIL GUID	MASSE	FEUERWIDERSTANDSKLASSE	WÄRMEDÄMMWERT	
0.1	► Fassade	10dNexNbbElBg9SurZmg5e	680 1.115 F90		<1,0 W(m²K)	
	► Fassade	20dNexNbbElBg9SurZmg3A	680 1.115 F90		<1,0 W(m²K)	
	► Fassade	30dNexNbbElBg9SurZmgMN	680 1.115 F90		<1,0 W(m²K)	
1.1	► Fassade	4aSink1mfDD1g7X1rB2	680 1.115 F90		<1,0 W(m²K)	
	► Fassade	5aSink1mfDD1g7X1rFq	680 1.115 F90		<1,0 W(m²K)	
1.2	► Fassade	6d3RjZaX7ehBG4k0c1q8p	680 1.115 F90		<1,0 W(m²K)	
2.1	▼ Fassade	7d3RjZaX7ehBG4k0c1q8p	680 1.115 F90		<1,0 W(m²K)	
	Teilprodukte					
	Blendrahmen 44/69					
	Flügelrahmen 56/41					
	Glasleiste 22-27					
	▼ Trockenbau	Innenwand	00dNexNbbElBg9SurZmg3A	2.450 1.020 F90		<1,0 W(m²K)
	Teilprodukte					
	Gipskartonplatte					
	Profil					
	Dämmplatte					

Abbildung 59: Screenshot der Mockup Tracking & Tracing Funktionalität



Abbildung 60: Screenshot des Mockups zur weiteren Tracking & Tracing Darstellung

Das BIM-Modell wird bewusst schlank gehalten und fungiert primär als strukturgebende Referenz. Weiterführende Informationen werden dynamisch über Cloud-Schnittstellen eingebunden und kontextbezogen ausgewertet. Dieser Ansatz ermöglicht eine flexible, skalierbare und lebenszyklusübergreifende Nutzung von Gebäudedaten – ohne das BIM-Modell mit redundanten oder projektfremden Informationen zu überfrachten.

Wie in der Gesamtpräsentation des Mockups ersichtlich (vgl. Abbildung 61 und Abbildung 62), sind die Prozesse zu **Tracking** und **Tracing** integraler Bestandteil des Gesamtkonzepts. Während das **Tracing** darauf abzielt, die vollständige Lieferkette eines Bauprodukts – von der Rohstoffgewinnung bis zum Einbau – transparent abzubilden, ermöglicht das **Tracking** die Erfassung und Darstellung des aktuellen Status eines Produkts im Bauprozess. Diese Funktionalitäten sind über den Dateninspektor zugänglich und unterstützen eine durchgängige Rückverfolgbarkeit im Sinne der EPCIS-Logik.

The screenshot displays a tracing interface for an 'Alu Fenster' with GUID: 10dNexNbbElBg9SurZmg5e. On the left, a sidebar lists categories: Gebäude, Datenlieferung, Lieferanten, Dienstleister, and Benutzer. The main area shows a tree view of components: PROJEKT (3), GRUNDSTÜCK (3), GEBÄUDE (3), GESCHOSS (3), and RAUM (3). Below this, a table details the product structure:

BAUPRODUKTE	PARENT ID	SERIEN-NR / CHARGE	BAUPRODUKTE	CHILD ID	SERIEN-NR / CHARGE	MENGE	VERARBEITUNGSPUNKT	HERSTELLER
Fensterprofil-Alustange	HAN:4711	55				1	Ort 1	Hersteller 1
Transformation in Alu Profile	HAN:4712	55				3	Ort 1	Hersteller 1
Alu Profil Pulverbeschichtung	HAN:4713	55				3	Ort 2	Hersteller 2
Blendrahmen 44/69 aus Alu Profil	HAN:4713	55	Blendrahmen 44/69	HAN:382150		4	Ort 2	Hersteller 2
Fügelrahmen 56/41 aus Alu Profil	HAN:4713	55	Fügelrahmen 56/41	HAN:466470		4	Ort 2	Hersteller 2
Glasleiste 22-27 aus Alu Profil	HAN:4713	55	Glasleiste 22-27	HAN:184060		4	Ort 2	Hersteller 2
Zusammenbau Fensterrahmen	HAN:4714	10	Blendrahmen 44/69	HAN:382150		4	Ort 3	Hersteller 3
Zusammenbau Fensterrahmen	HAN:4714	10	Fügelrahmen 56/41	HAN:466470		4	Ort 3	Hersteller 3
Verglasung in Fensterrahmen	HAN:4714	10	Glasleiste 22-27	HAN:184060		4	Ort 3	Hersteller 3
Einbau Alu Fenster in Wandelement	HAN:4715	20				1	Ort 4	Hersteller 4
Einbau Wandelement ins Gebäude	GUID:4zABcdlefK4711Xpj4zsL.M	20	Fensterrahmen	HAN:4715	20	1	Ort 4	Hersteller 4
Verknüpfung Raum mit Fensterrahmen	GUID:10dNexNbbElBg9SurZmg5e	20	Fensterrahmen	HAN:4714	10	1	Ort 5	

Abbildung 61: Screenshot der Mockup Übersicht zur Darstellung einer Tracing Funktion

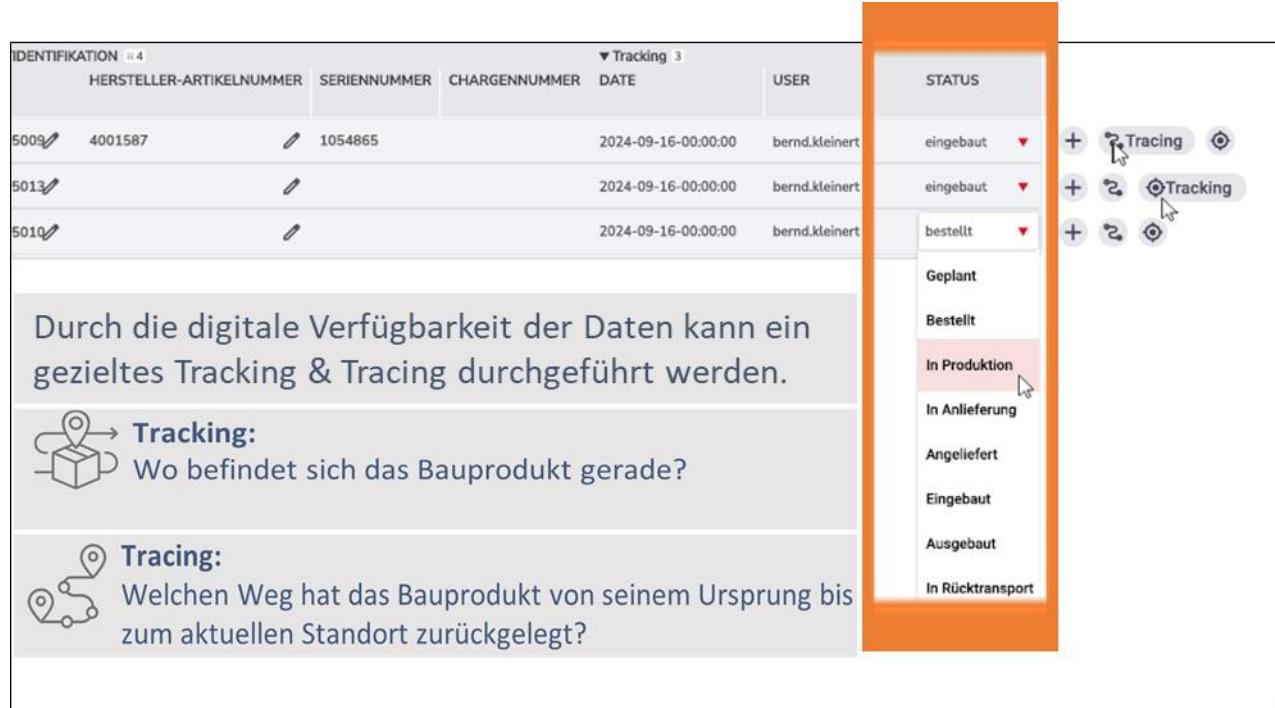


Abbildung 62: Screenshot der Mockup Darstellung der Tracking Funktion

Simulation der Verknüpfung eines Wartungsberichts mit Gebäudestammdaten

Im Rahmen des Demonstrators wurde die Verknüpfung eines Wartungsberichts mit spezifischen Gebäudestammdaten simuliert (vgl. Abbildung 63). Ziel dieses Use Cases war es, für bisher analog durchgeführte Prozesse – wie die Dokumentation und Ablage von Wartungsmaßnahmen – eine digitale, systemintegrierte Lösung aufzuzeigen.

Über die „**Scannen**“-Funktion wird ein Wartungsbericht aufgerufen und einem konkreten Bauteil bzw. einem Gebäudesegment zugeordnet. Die Verknüpfung wird durch Auswahl des Elements und Bestätigung im System hergestellt, wobei das Scannen eines QR-Codes und die Interaktion über die Schaltfläche „x“ simuliert werden (vgl. Abbildung 63). Dadurch wird sichergestellt, dass Wartungsergebnisse rückführbar in die digitale Gebäudedokumentation integriert sind.

The screenshot shows a digital dashboard for building traceability. On the left, there's a navigation bar with the Bergische Universität Wuppertal logo, the nexoma logo, and a QR code. The main area displays a table of asset data:

KOSTENSAMMLER	ANLAGENBEZEICHNUNG	VERTRAGSNEHMER	WIRKUNG AB	VERTRAGSENDE	WARTUNGSINTERVALL	INTERVALL - EINHEIT
E03210000	HZG 1234 Kessel	Firma Bangert	01.01.2024	31.12.2026	2	Jahr

Below this, a red box highlights the "Wartung" tab. To the right, a modal window titled "Wartungsbericht" shows a detailed maintenance report:

Sanitär-Heizung-Klima GmbH Musterstraße 1 45700 Musterhausen
Wartungsbericht
Auftragsnummer (PO) 4000
Wartungsbericht Nr. 125
Termin 22.01.2025
Monteur Andree Berg
Ort Wuppertal-Musterstraße
Rechnungsempfänger GMW Wuppertal
Kostensammler E03210000
Wartungsbericht Nr. 4711
Anlagenbezeichnung HZG 1234 Kessel
Wirkung ab 01.08.2024
Vertragsende 30.07.2026
Wartungsintervall 2
Wartungsintervall - Einheit Jahr
Wärmedämmung auf Beschädigung und Vollständigkeit prüfen
Brennraum und Nachschalttheizflächen auf Verschmutzung, Beschädigung und Korrosion prüfen
Funktionserhaltendes Reinigen ja
Brennraum und Nachschalttheizflächen reinigen ja
Abgasseiteig auf Verschmutzung, Beschädigung und Korrosion prüfen
Abgasseiteig reinigen ja
Abgasseiteig und wasserseiteig auf Dichtheit prüfen ja
Sicherheitsventil prüfen ja

A QR code is also present in the top right corner of the modal.

Abbildung 63: Screenshot der Mockup Funktion zur Verknüpfung von Stammdaten mit Wartungsdaten

Mit diesem Vorgang wird sichergestellt, dass Wartungsergebnisse eindeutig einem identifizierbaren Objekt im Gebäude zugeordnet werden können. Die Ereignisdaten werden systematisch mit den Stammdaten verknüpft und so in die digitale Gebäudedokumentation integriert. Dadurch entsteht eine konsistente, rückführbare Dokumentation von Wartungsmaßnahmen über den gesamten Lebenszyklus eines Bauteils hinweg (vgl. Abbildung 64)

The screenshot shows a dashboard titled "Dashboard Wartung". It displays a table of maintenance data and a summary message:

KOSTENSAMMLER	ANLAGENBEZEICHNUNG	VERTRAGSNEHMER	WIRKUNG AB	VERTRAGSENDE	WARTUNGSINTERVALL	INTERVALL - EINHEIT	DURCHGEFÜRT	DATUM	KOMMENTAR	ANLAGE BEIGEFÜGT
E03210000	HZG 1234 Kessel	Firma Bangert	01.01.2024	31.12.2026	2	Jahr	ja	30.06.2024	Alles OK	Wartungsbericht.pdf
E03210000	HZG 1234 Kessel	Firma Bangert	01.01.2024	31.12.2026	2	Jahr	ja	10.12.2024	Alles OK	www.muster.de
E03210000	HZG 1234 Kessel	Firma Bangert	01.01.2024	31.12.2026	2	Jahr	noch offen			
E03210000	HZG 1234 Kessel	Firma Bangert	01.01.2024	31.12.2026	2	Jahr	noch offen			

Below the table, a red box highlights the message: "Im Dashboard Wartung wird der aktuelle Wartungsstand inkl. der Wartungsberichte angezeigt."

Abbildung 64: Screenshot der Mockup Abbildung des Dashboard Wartung

Ergänzend zu den im Visualisierungslink dargestellten Use Cases werden in separaten Screenshots weitere Funktionen der Cloud-Lösung erläutert, die nicht im verlinkten Anwendungsbeispiel enthalten sind, wie der Datenexport an Madaster.

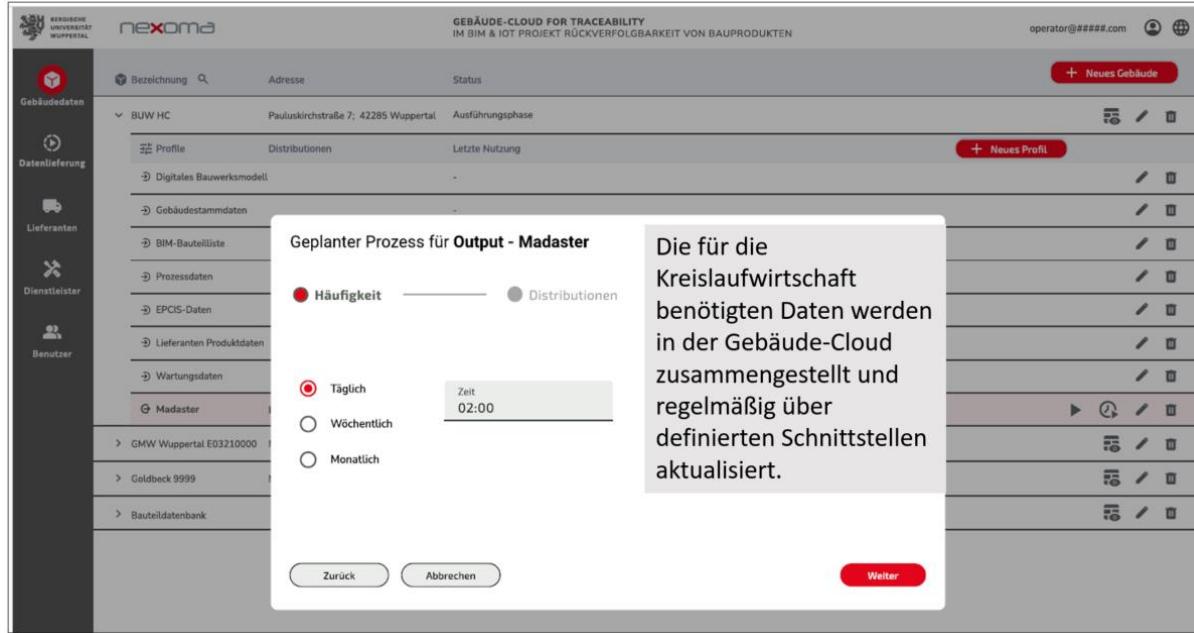


Abbildung 65: Screenshot des Mockup zur Madaster Ouput Funktion

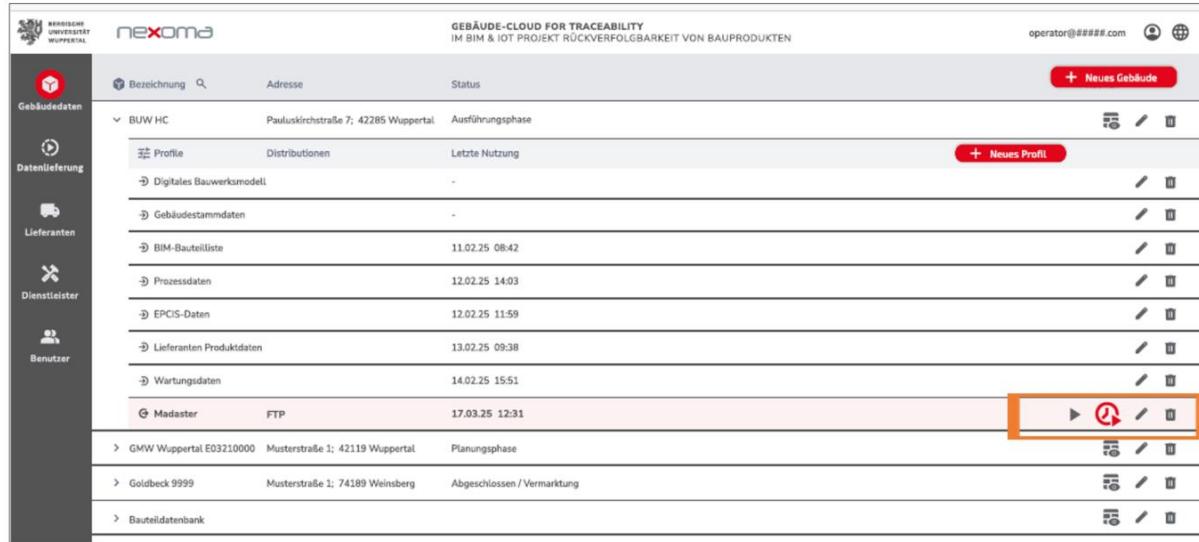


Abbildung 66: Screenshot des Mockups zur Übersicht der Datenoutput-Funktion für Madaster

Die exemplarische Umsetzung der Anwendungsfälle innerhalb der Mockup-Anwendung demonstrieren, wie sich zentrale Anforderungen der Bauproduktverfolgbarkeit – wie Daten-Import- und Exporte, Ereignisverknüpfung und Visualisierung von Statusinformationen – prototypisch und anwenderfreundlich realisieren lassen.

7.3.4 Meilenstein 3

Entwicklung eines BIM- und IoT-basierten Konzepts für die Bauproduktverfolgbarkeit

Obwohl EPCIS als internationaler Industriestandard in verschiedenen Branchen – insbesondere in der Konsumgüterindustrie und im Logistiksektor – etabliert ist, kommt er im Bauwesen bislang kaum zur

Anwendung. Dies ist insofern bemerkenswert, als bereits rund 70 % der Bauprodukthersteller, deren Produkte über Baumärkte und den Baustoff-Fachhandel vertrieben werden, GS1-Identifikationsstandards wie die GTIN nutzen. Die Grundlage für eine standardisierte Rückverfolgbarkeit ist somit grundsätzlich vorhanden.

Unsere Recherche sowie Rückmeldungen aus dem Projektumfeld deuten jedoch darauf hin, dass konkrete EPCIS-Implementierungen in der Bauwirtschaft bisher fehlen oder nur in Form vereinzelter Pilotprojekte existieren. Auch Werkzeuge wie der epcat-Server oder die EPCIS Workbench scheinen in dieser Branche bisher kaum eingesetzt zu werden.

Vor diesem Hintergrund zielt das Projekt nicht auf eine Neuentwicklung des EPCIS-Standards ab, sondern auf einen praxisorientierten „Eigenversuch“, der die Anwendung und Übertragbarkeit des etablierten Standards auf die Bauwirtschaft erprobt. Ziel ist es, die prinzipielle Umsetzbarkeit nachzuweisen und eine anwendungsnahe Datenstruktur zu entwerfen, die auf bestehenden Identifikationssystemen basiert. Diese soll im weiteren Projektverlauf exemplarisch in einem Demonstrator umgesetzt werden.

Die Analyse und das entwickelte Konzept zeigen, dass der EPCIS-Standard grundsätzlich für die Bau- und Immobilienbranche geeignet ist. Seine flexible Systematik erlaubt die Anpassung an unterschiedliche Anforderungen entlang der Bau-Lieferkette – von der Produktion über die Logistik bis hin zum Rückbau.

Darüber hinaus eignet sich der EPCIS-Standard auch zur Strukturierung interner Prozesse, etwa zur prozessrelevanten Dokumentation von Montagevorgängen, Wareneingängen oder Warenausgängen, die bislang in unterschiedlichen Systemen erfasst werden. Durch die standardisierte Erfassung und Verknüpfung dieser Informationen kann eine durchgängige, interoperable Datenbasis geschaffen werden. Die Verwendung standardisierter Identifikatoren bildet dabei eine leistungsfähige Grundlage für digitale Transparenz und Rückverfolgbarkeit entlang der gesamten Lieferkette.

Herausforderung: Fehlen eindeutige Nummernsysteme in der Bauindustrie

Ein zentrales Hemmnis stellt derzeit jedoch das Fehlen eines einheitlichen, eineindeutigen Nummernsystems in der Bauindustrie dar – sowohl für Unternehmen als auch für Produkte und Logistikeinheiten. Die Analyse zeigt, dass der Rückverfolgbarkeitsstandard zwar grundsätzlich auch mit proprietären Herstellerkennungen funktioniert, dabei jedoch Einschränkungen in Bezug auf Skalierbarkeit und Interoperabilität bestehen.

In geschlossenen Systemen – beispielsweise im Rahmen eines einzelnen Bauprojekts – kann die Rückverfolgbarkeit auch mit individuellen Hersteller- oder Lieferantenkennungen realisiert werden, sofern alle Beteiligten auf eine gemeinsame Datenbasis zugreifen können. Diese gemeinsame Plattform dient dann als Single Point of Truth (SPoT), die auch die Nutzung unternehmensspezifischer Produktkennzeichnungen (z. B. HAN) ermöglicht.

Bei einer projektübergreifenden Betrachtung besteht jedoch die Gefahr von Mehrfachverwendungen oder Kollisionen solcher proprietären Idente. Für eine langfristige, systemübergreifende Rückverfolgbarkeit ist daher die Anbindung an globale Standards – etwa GTIN oder GLN – empfehlenswert.

Herausforderungen in der Praxis bestehender Systeme

Die Konzeptentwicklung wurde auch durch die Grenzen bestehender Rückverfolgbarkeitssysteme motiviert, wie sie sich insbesondere in der Zusammenarbeit verschiedener Akteure entlang der Bau-Lieferkette zeigen. Während einzelne Hersteller häufig bereits über interne Rückverfolgbarkeit verfügen,

scheitert die durchgängige Transparenz vielfach an der fehlenden Integration von Zulieferprodukten, der Nutzung nicht serialisierter Komponenten sowie an heterogenen Beschaffungs- und Lagerprozessen. Dies betrifft insbesondere Handelsware, Chargenverwechslungen und digitale Brüche bei der Einbindung kleinerer Handwerksbetriebe. Diese strukturellen Herausforderungen unterstreichen die Notwendigkeit eines standardisierten, systemübergreifenden Ansatzes zur Sicherstellung von Interoperabilität.

Lösungsansatz durch das entwickelte Konzept

Das entwickelte Konzept adressiert diese Schwächen, indem es eine strukturierte, ereignisbasierte Datenerfassung über den EPCIS-Standard ermöglicht. Durch die standardisierte Modellierung von Ereignissen wie Wareneingang, Einbau oder Wartung können auch nicht serialisierte Produkte durch Zusatzinformationen wie Chargennummern, Zeitstempel und Kontextdaten in die Rückverfolgbarkeit einbezogen werden.

Die Modularität des Konzepts erlaubt es, sowohl proprietäre Identen als auch globale Standards (z. B. GTIN) zu integrieren – und schafft so Kompatibilität zwischen verschiedenen Systemwelten. Zudem kann durch eine vorgesehene gemeinsame Datenplattform (SPoT) eine übergreifende Sicht auf Produktflüsse geschaffen werden, auch wenn einzelne Beteiligte nicht über eigene IT-Systeme verfügen. Damit wird ein praktikabler, schrittweiser Übergang hin zu durchgängig digitalisierten Rückverfolgbarkeitssystemen ermöglicht.

Diese Entwicklung steht zudem im Einklang mit regulatorischen Anforderungen auf europäischer Ebene – insbesondere dem kommenden Digitalen Produktpass (DPP). Dieser fordert die strukturierte Erfassung und Bereitstellung produktpezifischer Daten über den gesamten Lebenszyklus hinweg. Das entwickelte Konzept kann somit auch als vorbereitende Maßnahme verstanden werden, die es Unternehmen ermöglicht, sich frühzeitig auf die Anforderungen des DPP einzustellen und ihre internen wie externen Prozesse zukunftssicher auszurichten.

Das entwickelte Konzept bietet auch Unternehmen ohne bislang etablierte globale Standards eine praxisorientierte Grundlage. Es ermöglicht einen strukturierten Einstieg in IT-gestützte Rückverfolgbarkeitslösungen und ist so aufgebaut, dass eine schrittweise Migration hin zu standardisierten Systemen wie EPCIS und GTIN möglich ist.

Abschließend wurde eine potentielle Cloud-Architektur zur Abbildung bauwerksbezogener Rückverfolgbarkeitsdaten in Zusammenarbeit mit einem IT-Dienstleister entworfen und als Mockup visualisiert. Diese kann als Ausgangspunkt für die Entwicklung einer unternehmenseigenen IT-Struktur genutzt und weiter ausgebaut werden. Im Rahmen des Arbeitspakets 5 wird das Mockup zudem zu einem Demonstrator weiterentwickelt, der die angestrebte Nutzung exemplarisch veranschaulicht.

Aufbauend auf dem entwickelten Konzept und den technischen Modellierungen wurde im nächsten Schritt untersucht, wie sich die Lösung in konkreten Anwendungsfällen bewährt. Dabei lag der Fokus auf praxisrelevanten Szenarien, die typische Herausforderungen entlang des Lebenszyklus von Bauprodukten abbilden. Die Analyse dieser Anwendungsfälle diente dazu, die Umsetzbarkeit und Skalierbarkeit des Konzepts in realen Projektsituationen zu überprüfen sowie potenzielle Anforderungen unterschiedlicher Stakeholder zu identifizieren.

Einordnung des Aufwands für die Umsetzung des Konzepts aus Sicht potenzieller Anwender

Der für eine vollständige Umsetzung des entwickelten Konzepts erforderliche Aufwand lässt sich nicht pauschal beziffern, da er maßgeblich vom Digitalisierungsgrad, dem bestehenden Prozessverständnis

sowie dem verfügbaren Know-how in den jeweiligen Organisationen abhängt. Für potenzielle Anwender empfiehlt sich zunächst eine strukturierte Ist-Analyse bestehender Abläufe sowie darauf aufbauend die Definition eines Soll-Zustands.

Die im Projekt gewählte Excel-basierte Herangehensweise bietet hierfür einen niederschwelligen Einstieg: Sie erlaubt es, Anforderungen systematisch zu dokumentieren und gegenüber IT-Dienstleistern gezielt zu kommunizieren. Auf dieser Grundlage lassen sich erste Quick-Wins mit vergleichsweise geringem Aufwand realisieren, ohne dabei die strategische Zielsetzung einer durchgängigen, standardisierten Rückverfolgbarkeit aus dem Blick zu verlieren.

7.4 Arbeitspaket 4: Analyse weiterer BIM-Anwendungsfälle zur Nutzung des entwickelten Konzepts

7.4.1 Ziel des Arbeitspakets

Die digitale, strukturierte Erfassung und Verarbeitung relevanter Bauproduktdaten bildet die Grundlage, um praxisnahe BIM-Anwendungsfälle zu identifizieren und digitale Mehrwerte für unterschiedliche Akteure der Bau- und Immobilienbranche zu schaffen. Am Beispiel der Fensterproduktion wurde demonstriert, wie eine durchgängige Datenvernetzung entlang des gesamten Lebenszyklus eines Produkts realisiert werden kann.

In Abstimmung mit den Projektpartnern wurden drei exemplarische Anwendungsfälle ausgewählt, die unterschiedliche strategische Zielrichtungen verfolgen:

- **Technische Machbarkeit:** durch eine nachvollziehbare und standardisierte IT-Architektur,
- **Nachhaltige Transformation:** durch Förderung zirkulärer Wertschöpfung,
- **Operative Optimierung:** durch digitale Wartungs- und Gewährleistungsprozesse.

Die Auswahl zielt darauf ab, die Umsetzbarkeit des Konzepts anhand realitätsnaher Szenarien zu demonstrieren. Für jeden Anwendungsfall wurden konkrete Durchführungsschritte und erwartete Ergebnisse definiert:

1. Nachweis der Rückruf-Readiness

Ziel war es, ein digitales Rückruf-Szenario abzubilden und die strukturellen Voraussetzungen für eine schnelle, standardisierte Reaktion zu prüfen. Im Fokus stand dabei die Frage, ob eine (teil-)automatisierte Kommunikation mit relevanten Akteuren ermöglicht werden kann, um Maßnahmen wie Reparatur, Rückversand oder Entsorgung auszulösen.

Erwartete Ergebnisse:

- Nachweis der digitalen Rückrufbereitschaft
- Verfügbarkeit relevanter Event-Daten
- Verknüpfung von Event-Daten mit GUID und Produkt-ID

2. Bereitstellung von Daten zu eingebauten Bauprodukten für die Kreislaufwirtschaft

Dieser Anwendungsfall zeigt, wie Produktdaten so strukturiert dokumentiert werden können, dass eine Wiederverwendung – z. B. von Aluminiumprofilen nach einem Rückbau – ermöglicht wird. Der Use Case greift das konkrete Interesse eines Projektpartners (Schüco International KG) auf,

Rückbaumaterialien wieder in den Produktionskreislauf zu integrieren. Damit wird die Relevanz digitaler Produktinformationen für zirkuläre Geschäftsmodelle unterstrichen.

Erwartetes Ergebnis:

- Erfolgreiche Bereitstellung relevanter Produktdaten auf der Madaster-Plattform zur Förderung der Kreislaufwirtschaft mit dem Ziel, Materialpässe zur Verfügung zu stellen.

3. Dokumentation der Wartung für die Gewährleistung

Ziel war es, die Anwendung des Konzepts im Kontext eines digitalen Wartungsmanagements zu erproben. Auf Basis vollständiger Datenverfügbarkeit sollen Wartungsmaßnahmen dokumentiert und für die Geltendmachung von Gewährleistungsansprüchen nutzbar gemacht werden. Darüber hinaus unterstützt die strukturierte Dokumentation eine frühzeitige Fehlererkennung und verbessert so die Betriebssicherheit.

Erwartete Ergebnisse:

- Nachweis der durchgeführten Wartung zur Sicherstellung vertraglicher Pflichten
- Dokumentation der Wartungshistorie als Grundlage für spätere Auswertungen

7.4.2 Durchführung**Praxisnahe Ausgangslage und Validierung**

Die Entwicklung und Umsetzung der Anwendungsfälle erfolgte in enger Zusammenarbeit mit den Projektpartnern und orientierte sich an konkreten Herausforderungen aus der Praxis. Ziel war es, unterschiedliche Szenarien der digitalen Rückverfolgbarkeit von Bauprodukten exemplarisch abzubilden und auf ihre Umsetzbarkeit im realen Unternehmenskontext zu prüfen.

Aufgrund der thematischen Unterschiede sowie der jeweils unterschiedlichen Voraussetzungen und Reifegrade variieren die Anforderungen, der Detaillierungsgrad der Umsetzung sowie die eingesetzten Methoden.

Im Rahmen eines wechselseitigen Wissens- und Erfahrungstransfers zwischen Forschung und Praxis konnten wissenschaftliche Erkenntnisse in anwendungsorientierte Lösungen überführt und in der betrieblichen Realität validiert werden. Die Ergebnisse dieser Validierung bilden die Grundlage für die anschließende theoretische Modellierung der Anwendungsfälle.

Theoretische Modellierung

Die drei Anwendungsfälle des Projekts wurden systematisch nach dem in der VDI/DIN EE 2552 Blatt 12.1 [44] empfohlenen Aufbau dokumentiert und zusätzlich um strukturierte Prozessdarstellungen gemäß DIN EN ISO 29481 ergänzt. Diese einheitliche Dokumentationsstruktur gewährleistet die Nachvollziehbarkeit und Vergleichbarkeit der Ergebnisse über alle Anwendungsfälle hinweg. Jeder Anwendungsfall besteht aus folgenden Elementen:

1. Allgemeines

In diesem Abschnitt erfolgt die fachliche Einordnung des Anwendungsfalls. Es werden Zielsetzung, Anwendungsbereich sowie der thematische Bezug zum Gesamtkonzept dargestellt.

2. Prozessbeschreibung

Die Prozessbeschreibung umfasst die Darstellung der relevanten Abläufe und Aktivitäten sowie der Interaktionen zwischen den beteiligten Akteuren. Die Beschreibung erfolgt entlang der tatsächlichen Umsetzungsschritte.

3. Informationsbedarf und Prüfoptionen

Dieser Teil beschreibt die erforderlichen Informationen zur erfolgreichen Durchführung des Anwendungsfalls sowie mögliche Prüfmechanismen zur Qualitätssicherung. Dazu gehört auch die Festlegung der Informationsanforderungstiefe in Form des Levels of Information Need (LOIN).

4. Prozessdiagramm (gemäß DIN EN ISO 29481)

Die Prozessabläufe werden zusätzlich visuell in einem standardisierten Prozessdiagramm dargestellt, um die Abfolge der einzelnen Aktivitäten und deren Zusammenhänge transparent aufzuzeigen (siehe Abbildung 67). Aufgrund der Komplexität und des Detaillierungsgrads konnten das vollständigen Prozessdiagramme im Bericht nicht in hinreichender Auflösung und Lesbarkeit abgebildet werden. Im Folgenden wird daher exemplarisch ein Teilausschnitt dargestellt. Die vollständigen Diagramme aller Anwendungsfälle sind dem Bericht als Anlage 2-4 beigefügt.

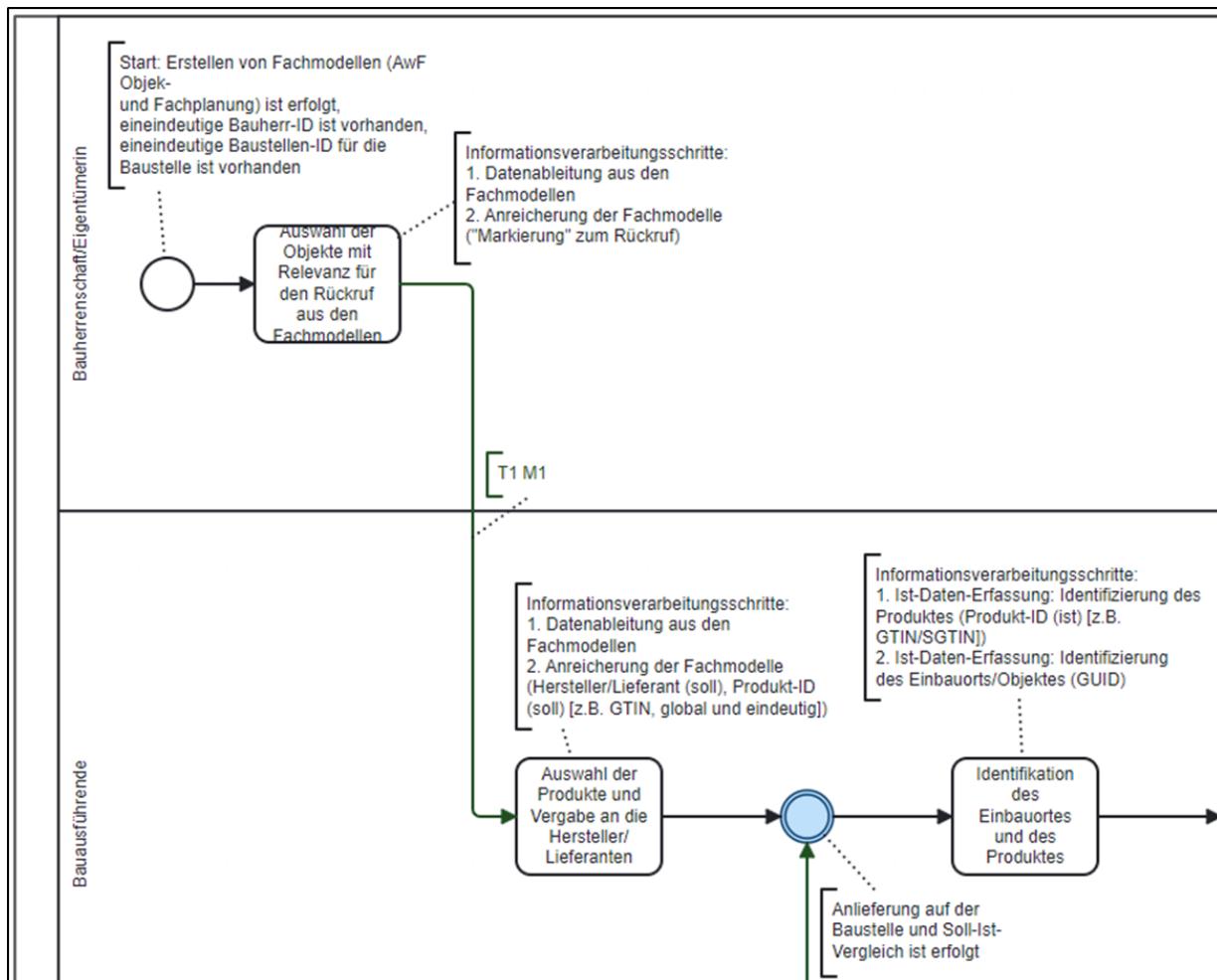


Abbildung 67: Beispielhafter Teilauszug der Prozessbeschreibung des Anwendungsfalls Rückruf Readiness (eigene Darstellung)

5. Prozessverantwortlichkeiten

Eine tabellarische Übersicht ordnet die einzelnen Prozessschritte den jeweils verantwortlichen Rollen oder Akteuren zu und zeigt damit Zuständigkeiten im Ablauf auf.

6. Interaktionsplan (gemäß DIN EN ISO 29481)

Der Interaktionsplan visualisiert die Beziehungen und Kommunikationsflüsse zwischen den beteiligten Rollen und unterstützt die Analyse von Schnittstellen im Prozess (siehe Abbildung 68).

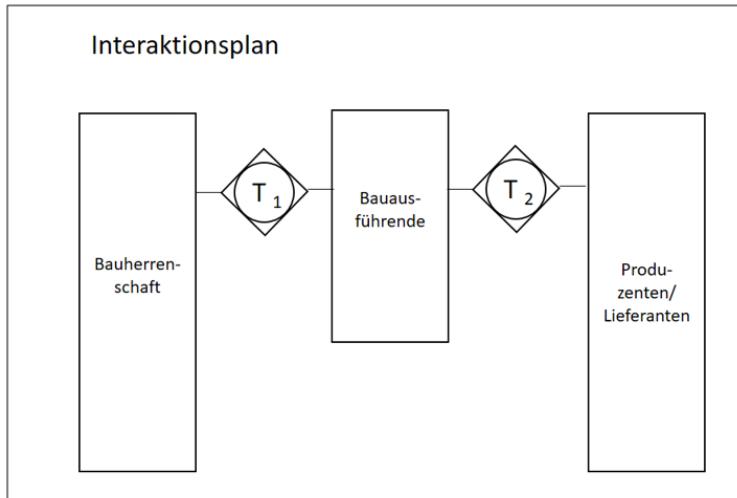


Abbildung 68: Beispiel des Interaktionsplans für den Anwendungsfall Rückruf-Readiness

7. Transaktionsdiagramm (gemäß DIN EN ISO 29481)

Das Transaktionsdiagramm zeigt die Rollen einer Transaktion sowie die ausgetauschten Informationseinheiten auf. Es verdeutlicht, welche Koordinationshandlungen im Rahmen der Transaktionen erforderlich sind (siehe Abbildung 69).

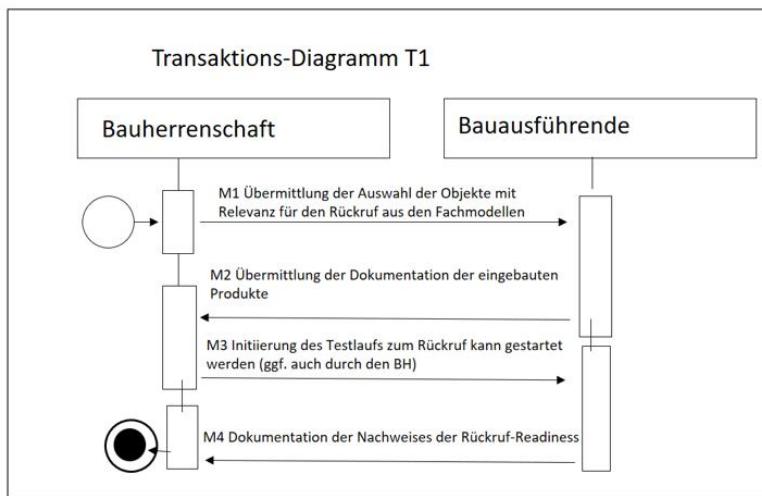


Abbildung 69: Beispiel Transaktions-Diagramm für den Anwendungsfall Rückruf-Readiness

8. Prozessdetaillierung

In einer vertieften Beschreibung werden die einzelnen Prozesse mit ihren zugehörigen Prozessinformationen dargestellt, einschließlich relevanter Datenobjekte und zeitlicher Abfolgen.

9. Anlage: Informationsbedarfstiefe (LOIN)

Die Anforderungen an die Informationsgehalte und -tiefen wurden separat als Datei gemäß dem Konzept des Level of Information Need dokumentiert und als Anlage beigefügt.

Die vollständigen Modellierungen sind in den Anlagen 2 bis 4 dokumentiert. Im vorliegenden Bericht werden ausgewählte Auszüge exemplarisch vorgestellt. Zur besseren Vergleichbarkeit der praktischen Ansätze folgt am Ende dieses Kapitels eine strukturierte Übersicht aller Anwendungsfälle mit einheitlichen Bewertungskriterien.

7.4.3 Ergebnisse

7.4.3.1 Nachweis der Rückruf-Readiness

7.4.3.1.1 Einleitung und Zielsetzung

Ziel dieses Anwendungsfalls war die Entwicklung und Erprobung eines digital gestützten Rückrufprozesses für sicherheitsrelevante Bauprodukte. Dabei sollte geprüft werden, ob bestehende digitale Produkt- und Projektinformationen – insbesondere aus BIM-Modellen und EPCIS-Ereignisdaten – eine präzise, automatisierte Rückverfolgung und Informationsweitergabe im Ereignisfall ermöglichen.

7.4.3.1.2 Praktische Validierung - Analyse bestehender Rückrufprozesse

Im Rahmen der Validierung wurde gemeinsam mit dem Projektpartner Jansen der Ist-Zustand aktueller Rückrufprozesse analysiert. Bei sicherheitsrelevanten Produktmängeln wird dort derzeit ein ad hoc agierendes Task-Force-Team gebildet, welches die Maßnahmen zur Rückholung der betroffenen Produkte plant und durchführt. Aufgrund fehlender zentraler Datenstrukturen, fragmentierter Kundenbeziehungen und nicht durchgängig dokumentierter Liefer- und Projektinformationen erfolgt die Umsetzung bislang jedoch manuell, zeitaufwendig und mit unsicherem Rückverfolgungserfolg.

Diese Herausforderungen wurden im Rahmen von Projektworkshops auch von den weiteren Industriepartnern dormakaba GmbH, Xella Deutschland GmbH und Gebr. Jäger GmbH bestätigt. Die Rückverfolgbarkeit bereits ausgelieferter und verbauter Produkte ist in der gegenwärtigen Praxis nur eingeschränkt realisierbar.

Die beschriebene Prozessdetaillierung bildet die konzeptionelle Grundlage für die Rückverfolgbarkeit sicherheitsrelevanter Bauprodukte im Ereignisfall. Um die praktische Umsetzbarkeit und Aussagekraft dieses Konzepts zu prüfen, wurde im nächsten Schritt eine prototypische Validierung gemeinsam mit einem Projektpartner durchgeführt. Dabei standen insbesondere die Verfügbarkeit, Vollständigkeit und Qualität der rückrufrelevanten Informationen im Fokus – bezogen auf ein konkretes Bauprodukt innerhalb eines realitätsnahen Anwendungsfalls.

Konzeption eines idealtypischen Rückrufprozesses

Basierend auf der theoretischen Analyse und dem erarbeiteten Konzept wurde ein idealtypischer Rückrufprozess entworfen, der auf digitalen Datenstrukturen basiert. Die folgenden Prozessschritte beschreiben den angestrebten Ablauf:

1. Erkennung des Problems

Ein Hersteller identifiziert eine fehlerhafte Produktcharge (z. B. Türschließer DORMA ITS 96) und initiiert einen Rückruf.

2. Identifikation betroffener Produkte

Die Identifikation kann über einen unternehmensinternen EPCIS Repository oder – bei verteilten Datenquellen – über einen zentralen Discovery Service erfolgen. Entscheidend ist, in welchen Bauprojekten oder Bauteilen das betroffene Produkt verbaut wurde.

3. Benachrichtigung der relevanten Akteure

Alle betroffenen Teilnehmer der Liefer- und Wertschöpfungskette – etwa Eigentümer, Bauherren oder Facility Manager – werden automatisiert informiert und erhalten konkrete Handlungsempfehlungen.

4. Durchführung und Dokumentation

Rückbau, Austausch oder Reparatur der betroffenen Bauteile werden durchgeführt und digital dokumentiert, um die Einhaltung regulatorischer Anforderungen zu gewährleisten.

5. Voraussetzungen für einen digitalen Rückruf

- Strukturierte, standardisierte Daten (z. B. EPCIS-Events, BIM-Modelle) müssen zentral verfügbar sein.
- Ein Discovery Service unterstützt die Verknüpfung über Systeme hinweg.
- Alle Akteure müssen standardisierte Datenschnittstellen bereitstellen.

EPCIS Repository versus Discovery Service

EPCIS Repository

Ein EPCIS Repository speichert ereignisbasierte Produktdaten innerhalb eines Unternehmens. Der Zugriff erfolgt rollen- und systembasiert unter Wahrung von Datenschutz- und Sicherheitsanforderungen.

Discovery Service

Ein Discovery Service fungiert als indexbasiertes Verzeichnis, das EPCIS-Daten verschiedener Organisationen verknüpft, ohne die Detaildaten selbst zu speichern. Der Service ermöglicht systemübergreifende Suchabfragen und verknüpft Indexdaten (z. B. GUID, EPCIS-Daten, Projekt-ID) mit den Speicherorten relevanter Ereignisse. Dadurch können Rückrufe über Unternehmensgrenzen hinweg effizient organisiert werden. Der Discovery Service kann von einem neutralen Akteur oder Verband betrieben werden.

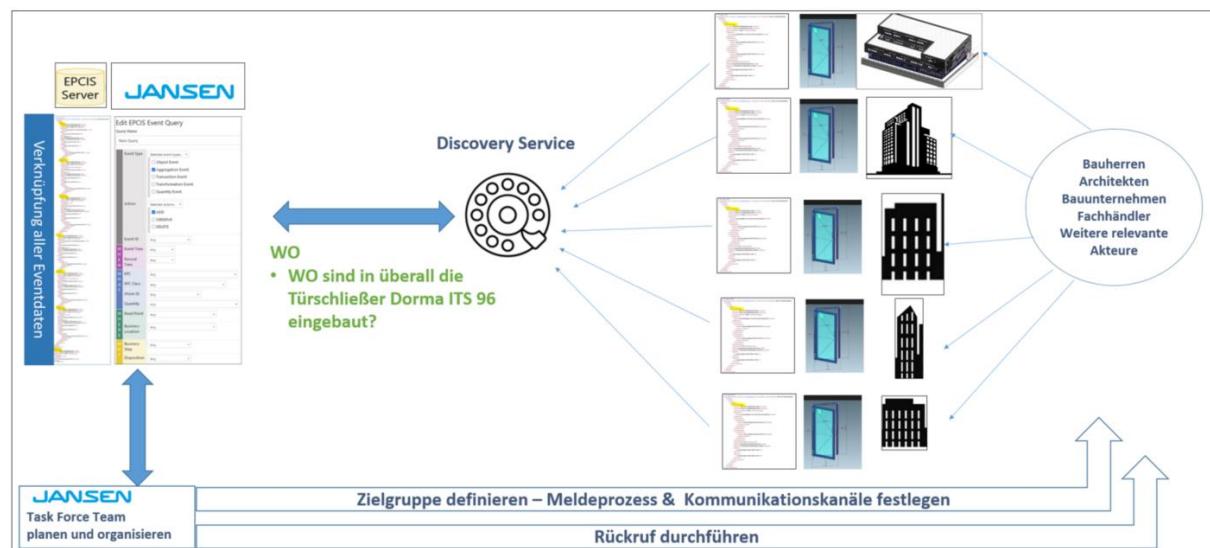


Abbildung 70: Darstellung des entwickelten Rückrufmanagement Prozess (eigene Darstellung)

Ergebnisbewertung:

Die Simulation eines sicherheitsrelevanten Rückrufs in Kooperation mit der Firma Jansen belegt die grundsätzliche Umsetzbarkeit und Praxistauglichkeit des entwickelten Konzepts.

7.4.3.1.3 Theoretische Modellierung

Für eine systemgestützte Rückrufstrategie ist die digitale Verfügbarkeit strukturierter und identifizierbarer Produktinformationen essenziell. Auf Basis des BIM-Modells werden rückrufrelevante Objekte in den Fachmodellen identifiziert, konkrete Produkte ausgewählt und Herstellern bzw. Lieferanten zugeordnet. Anschließend erfolgt die Erzeugung und Bereitstellung von EPCIS-Events für reale Bauprodukte, z. B. zur Dokumentation von Lieferung und Einbau.

Der Einbau wird sowohl durch Einbau-Events als auch durch ergänzende Modellinformationen dokumentiert. In einem abschließenden Prüfschritt wird die Rückruf-Readiness getestet – einschließlich der Verfügbarkeit, Nachvollziehbarkeit und Qualität der relevanten Daten im Modell.

Der EPCIS-Standard bildet dabei die technische Grundlage zur strukturierten Erfassung und zum interoperablen Austausch der Ereignisdaten. Die Kombination aus Fachmodell, standardisierten Identifikatoren (GUID, GTIN etc.) und Event-Daten schafft die Basis für eine (teil-)automatisierte Rückverfolgbarkeit und dient als Ausgangspunkt für die digitale Integration von Rückrufprozessen in Geschäftsabläufe.

Dieser Ablauf basiert auf der in Anlage 2 enthaltenen Modellierung des Anwendungsfalls gemäß VDI/DIN EE 2552 Blatt 12.1 inkl. LOIN-Tabelle und bildet den theoretischen Teil der Anwendungsfallentwicklung.

7.4.3.1.4 Die Bedeutung von Rückverfolgbarkeit in diesem Kontext**Präzise Identifikation und lückenlose Dokumentation**

Durch die Verknüpfung von BIM-Daten, EPCIS-Events und serialisierten Produkt-IDs ist eine eindeutige Identifikation verbauter Bauprodukte möglich. Dadurch lassen sich gezielte Rückrufmaßnahmen durchführen, die nur tatsächlich betroffene Bauteile und Projekte adressieren.

Effiziente Benachrichtigung relevanter Akteure

Systemgestützt können betroffene Eigentümer, Bauherren und Facility Manager automatisiert und spezifisch benachrichtigt werden.

Zeit- und Kosteneinsparungen

Die aufwendige manuelle Suche nach verbauten Produkten entfällt. Die digitale Rückverfolgung reduziert organisatorischen Aufwand und minimiert Stillstandszeiten.

Einhaltung regulatorischer Anforderungen

Die lückenlose Nachverfolgbarkeit und strukturierte Dokumentation verbessert die Produktsicherheit und gewährleistet die Einhaltung gesetzlicher und normativer Anforderungen.

Optimierte Datenintegration

Das Konzept ermöglicht die Einbindung bestehender digitaler Infrastrukturen aus dem BIM- und IoT-Umfeld und legt damit die Grundlage für ein zukunftsfähiges digitales Rückrufmanagement im Bauwesen.

Fazit

Das entwickelte Konzept zur Bauproduktrückverfolgbarkeit, gestützt auf den theoretisch beschriebenen Anwendungsfall, zeigt, dass digitale Produktdaten entlang der gesamten Wertschöpfungskette zur Steigerung von Qualität, Sicherheit und Effizienz beitragen können. Sowohl das Konzept als auch der zugrundeliegende BIM-Anwendungsfall bieten eine skalierbare und interoperable Grundlage für ein zukunftssicheres Rückrufmanagement in der Bauindustrie. Sie ermöglichen eine effiziente Integration von Rückrufprozessen und schaffen die Basis für die digitale Transformation in der Branche.

7.4.3.2 Bereitstellung von Daten zu eingebauten Bauprodukten für die Kreislaufwirtschaft

7.4.3.2.1. Einleitung und Zielsetzung

Eine effektive Kreislaufwirtschaft im Bauwesen erfordert transparente Informationen zu verbauten Materialien – idealerweise über Materialpässe. Im Projekt wurde untersucht, wie strukturierte Produktdaten in digitalen Zwillingen (z. B. BIM-Modelle) mit externen Plattformen verknüpft und als Materialpass nutzbar gemacht werden können.

7.4.3.2.2 Praktische Validierung – Konkretisierung des Anwendungsfalls mit Schüco und Madaster

Gemeinsam mit den Praxispartnern Schüco International KG und Madaster Germany wurde der Anwendungsfall zur rückverfolgbaren Bereitstellung von Bauproduktinformationen für zirkuläre Wertschöpfungsketten konkretisiert und praktisch validiert. Ziel war es, die technische und prozessuale Umsetzbarkeit eines durchgängigen digitalen Informationsflusses zu prüfen – vom digitalen Gebäudemodell über eine cloudbasierte Dateninfrastruktur bis hin zur externen Materialpass-Plattform.

Im Mittelpunkt stand dabei die Frage, wie produktbezogene Daten – insbesondere zu verbauten Komponenten, Materialien, Herkunft, Lebenszyklusstatus und potenzieller Wiederverwendbarkeit – gebäudeindividuell verfügbar gemacht und medienbruchfrei an externe Plattformen wie Madaster überführt werden können.

Zur praktischen Erprobung wurden zwei Szenarien für die Datenbereitstellung berücksichtigt:

1. Datenbereitstellung durch den Hersteller:

In diesem Fall erfolgt die Bereitstellung der relevanten Produktinformationen – beispielsweise Seriennummern, Materialkennwerte oder Recyclinghinweise – direkt durch den Hersteller auf der Madaster-Plattform. Die Gebäudeverantwortlichen verknüpfen diese Informationen im Anschluss mit den jeweiligen Gebäudedaten.

2. Datenbereitstellung durch den Gebäudeverantwortlichen:

Alternativ werden die benötigten Daten durch den Gebäudeverantwortlichen selbst bereitgestellt. In der vorliegenden Validierungsstudie wurde dieser Ansatz verfolgt und durch das Projektteam der Bergischen Universität Wuppertal exemplarisch simuliert.

Die Daten wurden in einem modular aufgebauten Dashboard aufbereitet, das eine gezielte Zusammenstellung und Validierung vor dem Datenexport ermöglicht.

Die in Kapitel 7.3.3.11 dargestellte Mockup-Umsetzung veranschaulicht diese Funktion exemplarisch. Dort wurden die zentralen Anwendungsfälle – darunter der Import von BIM-Bauteillisten, Tracking & Tracing, die Anbindung eines digitalen Wartungsberichts, sowie der Datenexport an Madaster – prototypisch visualisiert.

Der Export der strukturierten Informationen an Madaster erfolgte über eine eingerichtete Schnittstelle, die einen automatisierten, kontinuierlichen und standardkonformen Datenfluss sicherstellt.

Zur Evaluierung der Interoperabilität und Praxistauglichkeit wurden Testzugänge zu den Systemen Madaster und SchüCal bereitgestellt. Dadurch konnte der gesamte Prozess realitätsnah simuliert und reale Datentransfers durchgeführt werden.

Die erfolgreiche Integration in Madaster wurde über einen Testzugang überprüft. Abbildung 71 zeigt exemplarisch, wie die exportierten Daten aus der Mockup-Datei im Madaster-System übernommen wurden.

Abbildung 71: Darstellung des aktualisierten Datentransfers auf der Madaster-Plattform

Damit konnte demonstriert werden, dass eine bidirektionale Verbindung zwischen einer gebäudezentrierten Datenumgebung und externen Plattformen für digitale Materialpässe realisierbar ist.

7.4.3.2.3. Theoretische Modellierung

Die theoretische Analyse zeigt, dass digitale Gebäudedatenplattformen – exemplarisch in Form einer cloudbasierten Datenumgebung – in Kombination mit externen Systemen wie Madaster grundsätzlich geeignet sind, um Produktinformationen von verbauten Bauprodukten – beispielhaft Aluminiumprofile in Fenstern – strukturiert zu erfassen und für eine spätere Wiederverwendung oder ein Recycling

bereitzustellen. Der zentrale Erfolgsfaktor liegt in der eindeutigen Verknüpfung von Bauteilinformationen mit den konkreten Bauwerksobjekten sowie deren standardisierter Übertragung in eine nutzbare, systemübergreifende Datenumgebung. Voraussetzung hierfür ist eine belastbare IT-Infrastruktur, die sowohl die konsistente Datenhaltung als auch die Bereitstellung über geeignete Nutzeroberflächen unterstützt.

Im Rahmen der VDI-konformen Dokumentation wurde definiert, dass sämtliche relevanten Bauproduktdaten vollständig in der Gebäudedaten-Cloud erfasst werden. Der Betreiber bzw. Bauherr kann einen gezielten Datenexport aus der Cloudstruktur anstoßen, der in die Madaster-Plattform überführt wird. Dort erfolgt der strukturierte Import in die Madaster-Datenbank. Alternativ oder ergänzend können auch die jeweiligen Hersteller ihre Produktinformationen direkt auf Madaster einstellen und mit spezifischen Gebäuden verknüpfen.

Innerhalb der Plattform erfolgt ein permanenter Abgleich zwischen den importierten Informationen und den in der Datenbank vorhandenen Datensätzen. Durch regelmäßige Updates wird das digitale Gebäudemodell sukzessive angereichert. Auf dieser Grundlage lassen sich erweiterte Kennwerte zur Kreislauffähigkeit ableiten – etwa der Zirkularitätsindikator, die Demontierbarkeit, das Global Warming Potential oder der verbleibende Rohstoff-Restwert. Diese Informationen werden dem Betreiber bzw. Bauherrn bereitgestellt und erlauben eine nachvollziehbare Dokumentation der Kreislauffähigkeit. So kann nachgewiesen werden, dass die für eine zukünftige Wiedereinbringung von Bauprodukten in den Stoffkreislauf erforderlichen Daten systematisch erfasst und verfügbar gemacht wurden.

Dieser Ablauf basiert auf der in Anlage 3 enthaltenen Modellierung des Anwendungsfalls gemäß VDI/DIN EE 2552 Blatt 12.1 inkl. LOIN-Tabelle und bildet den theoretischen Teil der Anwendungsfallentwicklung.

7.4.3.2.4 Die Bedeutung von Rückverfolgbarkeit in diesem Kontext

Nachverfolgbarkeit von Baumaterialien und Bauprodukten

Das entwickelte Konzept zur Bauproduktrückverfolgbarkeit ermöglicht die strukturierte Erfassung und Bereitstellung von Ereignisdaten (z. B. Produktion, Transport, Einbau, Wartung oder Rückbau) zu Baumaterialien und Bauprodukten entlang ihres Lebenszyklus. Mithilfe eindeutiger Identifikatoren (z. B. EPCs) und standardisierter Ereignisformate (z. B. Object-Event, Aggregation-Event) lassen sich Informationen wie *Was*, *Wann*, *Wo* und *Warum* dokumentieren. In Kombination mit externen Stammdaten – etwa zur Herkunft, Zusammensetzung oder Produktnutzung – kann beim Rückbau präzise nachvollzogen werden, welche Materialien in welchen Gebäudeteilen verbaut wurden. Dies schafft eine belastbare Datenbasis für Rückbauentscheidungen im Sinne der Kreislaufwirtschaft.

1. Effiziente Demontage

Der EPCIS-Standard stellt die Grundlage für eine interoperable Dateninfrastruktur dar, die eine gezielte Planung von Rückbauprozessen ermöglicht. Voraussetzung dafür ist, dass relevante Ereignisse – wie der Einbauort oder der Zeitpunkt der Installation – während des Produktlebenszyklus systematisch erfasst wurden. Kombiniert mit BIM-Informationen und IoT-Daten können Bauunternehmen daraus konkrete Handlungsinformationen ableiten. So lassen sich wiederverwendbare Bauteile selektiv demontieren, unnötige Zerstörungen vermeiden und Rückbauzeiten optimieren – mit positiven Auswirkungen auf Umwelt und Wirtschaftlichkeit.

2. Wiederverwendung, Recycling und Restwertschätzung

EPCIS-Daten bieten eine strukturierte Informationsbasis, um die Wiederverwendbarkeit oder Recyclingfähigkeit von Bauprodukten zu bewerten. Durch die Kombination von Ereignisprotokollen mit Materialangaben und Nutzungshistorie können Komponenten gezielt identifiziert und dokumentiert werden. Dies erleichtert nicht nur die Rückführung in Stoff- oder Produktkreisläufe, sondern ermöglicht auch belastbare Restwertschätzungen im Rahmen von Rückbauprojekten.

3. Compliance, Reporting und Lebenszyklusanalyse (Life Cycle Assessment, LCA)

EPCIS kann die Einhaltung gesetzlicher Vorgaben im Rückbauprozess unterstützen, indem es eine strukturierte und nachweissichere Dokumentation relevanter Ereignisse und Materialien ermöglicht. Die standardisierte Erfassung erleichtert das Reporting im Rahmen gesetzlicher Umweltaufgaben, bei Zertifizierungsverfahren oder für Umweltbilanzen (LCA). Voraussetzung ist eine durchgängige Integration der relevanten Ereignisse in das EPCIS-System.

4. Dokumentation und Transparenz

EPCIS schafft die Grundlage für eine durchgängige digitale Dokumentation des Produkt- und Materialflusses im Rückbauprozess. Die standardisierte Struktur erlaubt es, Informationen zentral zu verwalten, wiederfindbar zu machen und revisionssicher bereitzustellen. Damit wird sowohl die interne Organisation verbessert als auch die externe Nachvollziehbarkeit für Behörden, Zertifizierer oder Bauherren gestärkt.

5. Optimierung der Rückbauprozesse

Die Analyse von EPCIS-Daten kann als Grundlage für datengetriebene Prozessverbesserungen im Rückbau dienen. Durch Auswertung von Ereignismustern und Materialströmen lassen sich Demontagestrategien, Sortierprozesse oder Logistikabläufe gezielt optimieren. Dies kann zur Reduktion von Umweltbelastungen und zur wirtschaftlichen Wiederverwertung von Materialien beitragen.

Fazit:

Der EPCIS-Standard liefert keine operative Rückbaulösung, sondern schafft eine strukturierte, interoperable Dateninfrastruktur zur digitalen Abbildung von Produkt- und Materialereignissen im Bauwesen. In Kombination mit digitalen Gebäudemodellen (BIM), IoT-Systemen und ergänzenden Stammdaten kann so eine durchgängige Nachverfolgbarkeit von Bauprodukten realisiert werden – von der Planung über den Einbau bis zur Wiederverwendung. Dies bildet die Grundlage für eine datengestützte und ressourcenschonende Kreislaufwirtschaft im Bauwesen.

7.4.3.3 Dokumentation der Wartung für die Gewährleistung

7.4.3.3.1 Einleitung und Zielsetzung

In vielen Bauprojekten fehlen strukturierte digitale Prozesse zur Dokumentation von Wartungsmaßnahmen. Dies erschwert den Nachweis gegenüber Eigentümern, erschwert das Facility Management und kann zu Garantieproblemen führen. Im Projekt wurde daher untersucht, wie Wartungsdaten digital erfasst und im Lebenszyklus eines Produkts eindeutig referenziert werden können.

7.4.3.3.2 Praktische Validierung – Konkretisierung des Anwendungsfalls mit dem Gebäudemanagement der Stadt Wuppertal (GMW)

Ziel war es, gemeinsam mit dem GMW einen prototypischen digitalen Wartungsprozess zu entwickeln und dessen Integration in bestehende Abläufe zu erproben. Eine zentrale Herausforderung bestand darin, dass bislang kein einheitlicher Wartungsprozess sowie keine durchgängige Datenstruktur vorlagen. Die bisherigen Abläufe erfolgten vollständig analog, wobei jede beteiligte Partei individuelle Anforderungen an die Art, Struktur und Umfang der Datenerfassung stellte. Eine gemeinsame, standardisierte Datenbasis lag in der Regel nicht vor.

Im Rahmen der Validierung wurde der Fokus exemplarisch auf eine Heizungsanlage in einem Wohngebäude gelegt. Die relevanten Daten wurden im Lieferketten-Rückverfolgbarkeits-Datenhub, insbesondere im Tabellenblatt Projektdaten – Single Point of Truth, zusammengeführt. Dabei flossen Informationen aus dem Instandhaltungsvertrag, dem technischen Anlagenblatt sowie standardisierte Merkmale gemäß den VDMA-Empfehlungen zur Wartung und der ISO 23386 in die Struktur ein. Eine Übersicht der zugehörigen Vorgänge ist der genannten Anlage 1 zu entnehmen.

Ein wesentliches Ergebnis war, dass es bislang keine einheitliche Sprache für die Beschreibung der Anlageninformationen gab. Unterschiedliche Beteiligte – etwa Betreiber, Wartungsfirmen oder Planer – verwendeten uneinheitliche Begriffe oder interpretierten Informationsanforderungen unterschiedlich. Zur Herstellung einer gemeinsamen Datenbasis wurde daher eine betriebsinterne Namenskonvention eingeführt, die sicherstellt, dass jede eingebettete Anlage eindeutig identifiziert werden kann. Diese Konvention folgt dem Muster: [Kürzel für Anlagenart Gebäudenummer]. Ein Beispiel hierfür ist HZG_1234_Kessel. Diese stringente Benennung im Textformat ermöglicht eine klare Zuordnung und verbessert die Vergleichbarkeit sowie die Weiterverarbeitung der Daten in digitalen Systemen erheblich.

Auf dieser Datenbasis wurde ein Dashboard zur Wartung entwickelt, das alle relevanten Informationen zusammenführt und miteinander verknüpft. Die prototypische Verknüpfung eines digitalen Wartungsberichts mit den Gebäude-Stammdaten wurde im Mockup realisiert und über einen Screenshot dokumentiert (siehe hierzu Abbildung 63 und 64 im Kapitel 7.3.3.11). Dieser zeigt exemplarisch, wie durch die Kombination der ID des Kostensammlers und der ID der Heizungsanlage, Wartungsstatus und Standortinformationen eine wartungsrelevante Ereigniskette erzeugt und visualisiert werden kann.

Das zugehörige Mockup simuliert die visualisierte Darstellung eines digitalen Wartungsnachweises. Durch das Scannen eines QR-Codes können durchgeführte und digital unterzeichnete Wartungen in der Gebäude-Cloud gespeichert und nachvollziehbar gemacht werden. Auf diese Weise werden die Wartungszyklen der Heizungsanlage digital dokumentiert – als Grundlage für eine potenzielle spätere Geltendmachung von Gewährleistungsansprüchen.

Der entwickelte digitale Prozess bildet die Grundlage für zukünftige Erweiterungen – etwa zur strukturierten Erfassung von Wartungen und zur Geltendmachung von Gewährleistungsansprüchen.

7.4.3.3 Theoretische Modellierung

Die theoretische Ausarbeitung verdeutlicht das Potenzial digitalisierter Wartungsprozesse zur Erfüllung vertraglicher Betreiberpflichten und zur nachhaltigen Verbesserung der Betriebssicherheit technischer Anlagen. Durch die strukturierte Verknüpfung von Wartungsdaten mit vorhandenen Gebäude- und Anlagedaten sowie relevanten Vertragsinformationen lassen sich durchgängige digitale Nachweise aufbauen. Diese schaffen die Grundlage für transparente Dokumentation, revisionssichere Archivierung und datenbasierte Optimierung im Gebäudetrieb.

Eine zentrale Voraussetzung bildet die eindeutige Identifikation der wartungspflichtigen Komponenten, beispielsweise über Bauteilkennzeichnungen im digitalen Gebäudemodell oder über produktbezogene Identifikatoren. Die standardisierte Erfassung und Übertragung von Wartungsinformationen ermöglicht eine nachvollziehbare Zuordnung zu den jeweiligen Gebäudeelementen und erlaubt im Ergebnis eine systematische Qualitätssicherung im laufenden Betrieb.

Im praktischen Ablauf beginnt der Prozess mit der Beauftragung der Wartung durch den Gebäudebetreiber. Der beauftragte Dienstleister nimmt den Auftrag an und erstellt intern einen Arbeitsauftrag

für den zuständigen Monteur. Dieser bereitet die Wartung vor – etwa durch Zusammenstellung benötigter Materialien – und führt die Arbeiten aus. Im Anschluss erstellt er einen digitalen Wartungsbericht, der sowohl dem Dienstleister für die interne Auftragsnachbearbeitung (z. B. zur Rechnungserstellung) als auch dem Gebäudebetreiber übermittelt wird.

Der Gebäudebetreiber verknüpft den digitalen Wartungsbericht mit den vorhandenen Gebäudemdaten und archiviert ihn zentral. Dadurch entsteht ein nachvollziehbarer, digital dokumentierter Wartungsvorgang, der sowohl zur Rechnungsprüfung als auch im Kontext möglicher Gewährleistungsansprüche genutzt werden kann. Die so geschaffene Datenbasis ermöglicht zudem eine kontinuierliche Auswertung der Wartungshistorie und bildet eine Grundlage für datenbasierte Instandhaltungsstrategien im Sinne eines vorausschauenden Facility Managements.

Dieser Ablauf basiert auf der in Anlage 4 enthaltenen Modellierung des Anwendungsfalls gemäß VDI/DIN EE 2552 Blatt 12.1 inkl. LOIN-Tabelle und bildet den theoretischen Teil der Anwendungsfallentwicklung.

7.4.3.3.4 Die Bedeutung von Rückverfolgbarkeit in diesem Kontext

Eine durchgängige Rückverfolgbarkeit ist eine zentrale Voraussetzung für die Digitalisierung und Qualitätssicherung im Wartungsmanagement von Bauprodukten. Sie ermöglicht es, den Verlauf, den Standort und die Nutzung von Anlagen oder Wartungsaktivitäten vollständig zu dokumentieren und nachvollziehbar zu machen.

Die eindeutige Identifikation von Anlagen und Bauteilen bildet die Grundlage für eine lückenlose Dokumentation. In Kombination mit dem EPCIS-Standard und IoT-Anbindungen kann der gesamte Lebenszyklus eines Produkts – von der Lieferung über den Einbau und die Wartung bis hin zum Austausch – digital abgebildet und mit relevanten Datenquellen wie dem BIM-Modell verknüpft werden. Wartungshistorien müssen nicht mehr manuell geführt werden, sondern entstehen automatisiert im Hintergrund. Dadurch wird nicht nur die Entscheidungsgrundlage verbessert, sondern auch die Einhaltung von Vorschriften lückenlos belegbar.

Rückverfolgbarkeit schafft darüber hinaus die Basis für vorausschauende Wartung (Predictive Maintenance): Wartungsprozesse lassen sich automatisiert anstoßen, sobald definierte Schwellenwerte überschritten werden. Wartungstechniker erhalten über mobile Anwendungen oder AR-Systeme unmittelbar Zugriff auf relevante Informationen wie Handbücher oder Ersatzteildaten.

Auch für Rückbau und Wiederverwendung eröffnet die digitale Rückverfolgbarkeit neue Potenziale: Defekte oder auszutauschende Bauteile können exakt identifiziert, ihre Materialzusammensetzung analysiert und gezielt in zirkuläre Nutzungsstrategien (z. B. Recycling oder Wiederverwertung) eingebunden werden.

Ohne eine durchgängige Rückverfolgbarkeit lassen sich weder die Anforderungen an Transparenz und Nachweisführung noch ein effizienter, digitalisierter Wartungsprozess zuverlässig umsetzen.

7.4.3.4 Ergebnisbewertung

Die zentrale Erkenntnis ist, dass mit Hilfe des EPCIS-Standards eine digitale Datenverknüpfung entlang der Liefer- und Nutzungskette aufgebaut werden konnte. Dadurch wurde die Grundlage für eine strukturierte Event-basierte Dokumentation und Auswertung gelegt. Diese digitale Datenverfügbarkeit

wurde anhand der drei Anwendungsfälle exemplarisch demonstriert – das darin liegende Potential ist jedoch noch längst nicht ausgeschöpft.

Langfristig bietet die EPCIS-basierte Architektur die Möglichkeit, verschiedenste Anwendungen modular zu ergänzen – etwa für automatisierte Prüfungen, KI-basierte Auswertungen oder die Integration in BIM-gestützte Planungs- und Rückbauprozesse.

Die praktische Umsetzung ermöglichte nicht nur den Nachweis der grundsätzlichen Umsetzbarkeit, sondern offenbarte auch systemische, technische und prozessuale Engpässe – etwa durch unzureichende Datenverfügbarkeit, fehlende oder uneinheitliche Standards sowie medienbruchbehaftete Informationsflüsse. Diese Beobachtungen stellen zentrale Lessons Learned dar, da sie sowohl die Machbarkeit als auch die noch bestehenden Herausforderungen aufzeigen und damit gezielte Weiterentwicklungen unterstützen.

Die folgende Bewertung fasst die Erkenntnisse aus den drei validierten Anwendungsfällen zusammen und ordnet sie hinsichtlich ihres Beitrags zur digitalen Transformation im Bauwesen ein.

1. Rückrufmanagement

Das entwickelte Konzept zur digitalen Abbildung von Rückrufen zeigt, dass eine lückenlose Rückverfolgbarkeit über die gesamte Liefer- und Nutzungskette hinweg möglich ist. Die Herausforderung liegt jedoch in der praktischen Umsetzung innerhalb der stark fragmentierten Bauwirtschaft. Unterschiedliche Systemlandschaften, fehlende Standards und heterogene Prozessverantwortungen erschweren eine durchgängige Integration. Es braucht hier tragfähige Kooperationsmodelle und interoperable Schnittstellen, um das Rückrufkonzept in reale Projekte zu überführen.

2. Kreislaufwirtschaft und Rückbau

Systeme wie Madaster bieten eine vielversprechende Infrastruktur, um Materialpässe und Gebäude-datenbanken für zirkuläre Nutzungskonzepte zu etablieren. Die größte Herausforderung besteht derzeit darin, diese Systeme mit belastbaren, standardisierten und strukturierten Daten zu füllen. Es genügt nicht, die Plattform bereitzustellen – es müssen Prozesse, Rollen und Datenverantwortlichkeiten definiert werden, um Relevanz und Praxistauglichkeit sicherzustellen. Nur so kann ein echter Mehrwert für Rückbau und Recycling entstehen.

3. Digitales Wartungsmanagement

Der Anwendungsfall zur Wartungsdokumentation zeigt, dass durch digitale Rückverfolgbarkeit Wartung und Gewährleistung deutlich effizienter und transparenter gestaltet werden können. Grundlage ist die digitale Verfügbarkeit strukturierter Daten: Der Einbauort jeder TGA-Anlage ist eindeutig bekannt, und mit EPCIS-Events lässt sich nachvollziehen, was, wann, wo und warum etwas geschehen ist – so kann der Lebenszyklus technischer Anlagen systematisch dokumentiert werden. Die Validierung hat jedoch auch gezeigt, dass zunächst eine umfassende Ist-Analyse der bestehenden analogen Prozesse notwendig ist. Nur auf dieser Basis kann eine schrittweise Transformation erfolgen. Gleichzeitig bedarf es einer klaren Abstimmung darüber, welche Daten geliefert werden müssen, was aktuell überhaupt verfügbar ist und wie diese Daten in bestehende Systeme eingebunden werden können.

Fazit:

Die Validierung hat gezeigt, dass Rückverfolgbarkeit als digitales Prinzip praxistauglich ist – wenn passende Rahmenbedingungen geschaffen werden. Die Herausforderung liegt weniger in der Technik, sondern vielmehr in der Überwindung von Fragmentierung, unklaren Zuständigkeiten und fehlenden Standards. Um das volle Potenzial der Rückverfolgbarkeit zu erschließen, sind eine klare Zielsetzung, abgestimmte Umsetzungsstrategien und geeignete Kooperationspartner erforderlich – exemplarisch aufgezeigt im Konzeptteil von Arbeitspaket 3.

Die erfolgreiche Ausarbeitung und Validierung der drei Anwendungsfälle wurde durch die enge Zusammenarbeit zwischen dem Forschungsteam und den Projektpartnern wesentlich unterstützt. Im Projekt zeigte sich, dass neben der technischen Machbarkeit insbesondere die Zusammenarbeit über institutionelle und fachliche Grenzen hinweg entscheidend für die Entwicklung tragfähiger Lösungen war. Das Forschungsteam übernahm hier eine koordinierende Rolle und ermöglichte einen offenen Austausch zwischen Bauwirtschaft, öffentlicher Verwaltung und IT-Dienstleistern. Diese Form der übergreifenden Kooperation kann als Modell verstanden werden, das bei der späteren Übertragung in die Praxis – insbesondere in der fragmentierten Bauwirtschaft – eine zentrale Rolle spielt.

Die Erkenntnisse aus der Validierung der Anwendungsfälle bildeten die Grundlage für die Entwicklung eines Demonstrators, der die technische Machbarkeit und den praktischen Nutzen des Konzepts anschaulich belegt. Auf Basis der zuvor entwickelten Mockups und Use Cases wurde ein digitaler Prototyp umgesetzt, der die Rückverfolgbarkeit exemplarisch erfahrbar macht und als Werkzeug für die weitere Konzeptverfeinerung dient.

Bevor im folgenden Kapitel der entwickelte Demonstrator vorgestellt wird, fasst die nachstehende Bewertung (vgl. Tabelle 4) die zentralen Erkenntnisse aus der praktischen Validierung der Anwendungsfälle zusammen. Die Einordnung erfolgt exemplarisch und dient der Ableitung erster übertragbarer Erkenntnisse.

Kriterium	Anwendungsfall		
	Nachweis der Rückruf-Readiness	Bereitstellung von Daten zu eingebauten Bauprodukten für die Kreislaufwirtschaft	Dokumentation der Wartung für die Gewährleistung
Theoretische Beschreibung gemäß VDI/DIN EE 2552 Blatt 12.1	einheitlich	einheitlich	einheitlich
Digitaler Reifegrad der Beteiligten	hoch	hoch	hoch
EPCIS-Standard anwendbar	ja	ja	ja
Validierung im Unternehmenskontext erfolgt	ja	ja	ja
Eindeutige Produktkennzeichnung vorhanden	unternehmensintern/global nein	im Projekt nein/generell zum Teil	unternehmensintern/global nein
Skalierbarkeit auf andere Projekte	ja	ja	ja
Kommunikationsaufwand	Im Projekt gering, generell hoch	mittel (mehrere Stakeholder)	hoch (mehrere Stakeholder intern und extern)
Datenverfügbarkeit	Im Projekt hoch, generell niedrig	Im Projekt hoch, generell niedrig mit steigender Tendenz	Im Projekt hoch, generell niedrig da kein einheitlicher Standard
Komplexität der Prozesskette	Bis Inverkehrbringer Mittel, zu weiteren Vorlieferanten hoch	hoch	mittel
Zeitlicher Aufwand bei vorhandenen Daten	gering	mittel	gering
Zeitlicher Aufwand bei fehlenden Daten	hoch	hoch	hoch
Potential zur Integration in bestehende Systeme	vorhanden	vorhanden	vorhanden
Automatisierbarkeit	realisierbar	realisierbar	realisierbar
Erzielbarer Nutzen / Mehrwert	gezielte schnelle prozessgesteuerte Aktionen möglich, was die Prozesskosten reduziert	Hoher Sicherheitsnutzen	Langfristiger Qualitätsnutzen
Voraussetzung für eine initiale Umsetzung	Im Projekt gegeben durch Kooperationsbereitschaft – generell abhängig von Stakeholder-Zusammenspiel und digitaler Offenheit	Sind gegeben, da die Plattformaktiv aktiv am Markt ist, hängt ab vom Fokus der Unternehmen, Bauherrn und Gebäudebetreiber	Im Projekt gegeben durch Kooperationsbereitschaft – generell abhängig von Zusammenspiel und digitaler Offenheit im Unternehmen
Aufwand für die initiale Einführung des Konzepts bei gegebenen Voraussetzungen	mittel	mittel	mittel

Tabelle 4: Exemplarische Einordnung der Validierungsergebnisse (eigene Darstellung)

7.5 Arbeitspaket 5: Entwicklung eines Demonstrators

7.5.1 Ziel des Arbeitspakets

Im Rahmen des Forschungsprojekts wurde ein Demonstrator als Proof of Concept (PoC) für die EPCIS-basierte Rückverfolgbarkeit von Bauprodukten entwickelt. Ziel war es, die im Projekt erarbeiteten Konzeptbausteine in einer praxisnahen Anwendung zu veranschaulichen und die Umsetzbarkeit eines digitalen Traceability-Systems für die Baubranche zu demonstrieren.

Der Demonstrator dient zugleich als Werkzeug zur Validierung ausgewählter Use Cases entlang des Lebenszyklus von Bauprodukten – von der Lieferung über den Einbau bis hin zu Wartung oder Rückbau.

7.5.2 Durchführung

Die technische Umsetzung basiert auf einer modularen Webanwendung mit serverseitiger Verarbeitung von EPCIS-Events über eine Open EPCIS-Lösung.

Der im Konzept entwickelte und im Bericht dokumentierte Rückverfolgbarkeits-Lieferketten-Datenhub ermöglichte eine strukturierte Vorbereitung der EPCIS-Events, einschließlich der Verknüpfung mit Stammdaten und der Bereitstellung für den Systemimport. Die GS1 Workbench wurde unterstützend für Analyse- und Testzwecke genutzt, ist jedoch nicht Bestandteil des Demonstrators selbst.

Der Demonstrator konzentriert sich auf die Kernfunktionen des digitalen Tracking und Tracing. Ziel ist es, den Weg eines Bauprodukts entlang der Lieferkette – vom Rohstoff über Verarbeitung und Lieferung bis zum Einbau – transparent nachvollziehbar zu machen (Tracing) sowie den aktuellen Standort bzw. Status einzelner Produkte im Projektkontext zu dokumentieren (Tracking). Ereignisdaten wie Lieferung oder Einbau werden dabei strukturiert als EPCIS-Events im System erfasst. Da diese Events primär aus IDs bestehen, erfolgt eine systematische Verknüpfung mit den zugehörigen Stammdaten, um die Informationen für Nutzer interpretierbar und kontextbezogen nutzbar zu machen.

Die finale Lösung wurde als webbasierter Demonstrator mit einer Benutzeroberfläche auf Basis von Node.js und react entwickelt. Node.js ist eine freie, plattformumgreifende Open-Source Laufzeitumgebung für Java Script [45], während React eine Java-Script Bibliothek zur Erstellung von Web- und nativen Benutzeroberflächen ist [46].

Zur Visualisierung und Interaktion mit Bauelementen im 3D-Modell wurde der Autodesk APS Viewers integriert.

Nutzer können direkt mit einzelnen Komponenten interagieren und kontextbezogene Informationen wie Lieferstatus oder die Ereignishistorie der Bauprodukte abrufen. Dadurch wird ein umfassender Einblick in die Rückverfolgbarkeit einzelner Bauelemente innerhalb der Lieferkette ermöglicht.

7.5.3 Ergebnisse

In seiner aktuellen Version stellt der Demonstrator eine Verbindung zum EPCIS-Server epcat her, das serialisierte Ereignisdaten wie z.B. der Montage bereitstellt. Ergänzend dazu werden Produktdateninformationen – etwa GTIN-basierte Artikelbeschreibungen, technische Spezifikationen und Materialdaten – aus einer zentralen Datenbank abgerufen.

Ein zentrales Merkmal des Prototyps ist die benutzergesteuerte Erstellung von Rückverfolgbarkeitsereignissen: Nutzer können manuell EPCIS-Events erzeugen, die anschließend persistiert, visualisiert und mit den zugehörigen Komponenten verknüpft werden (vgl. Abbildung 72).

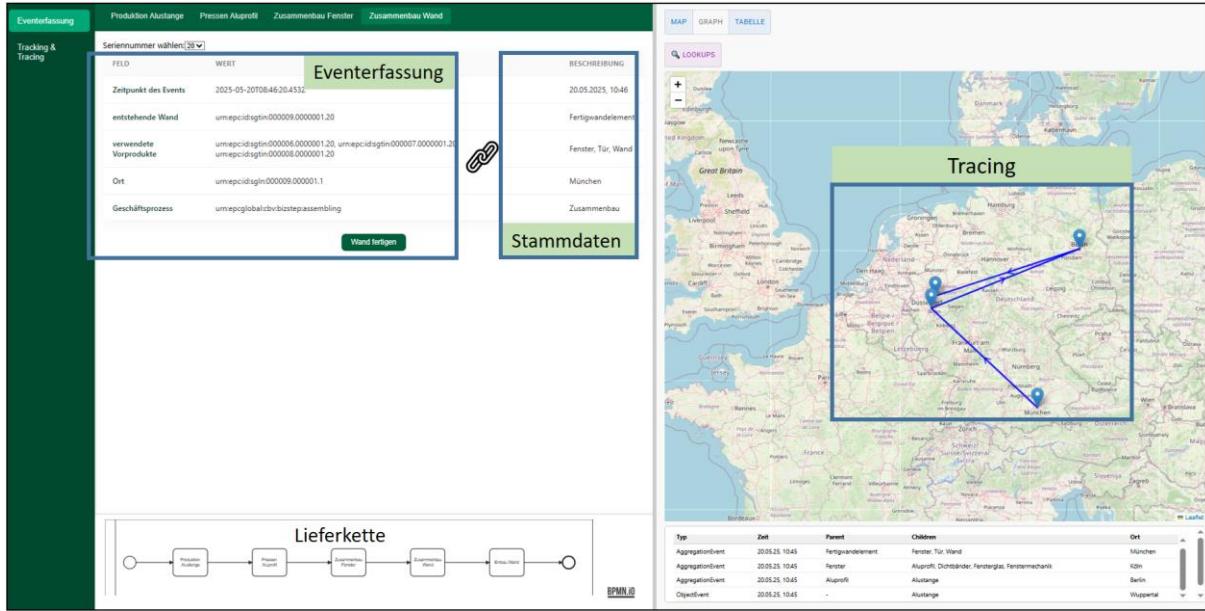


Abbildung 72: Screenshot vom Demonstrator zur benutzergesteuerten Erstellung von Rückverfolgbarkeitsereignissen

Durch die Verknüpfung von Rückverfolgbarkeitsereignissen mit GUIDs aus dem BIM-Modell ist es möglich, einzelne Bauteile direkt im Demonstrator zu verfolgen und zurückzuverfolgen (vgl. Abbildung 73 und Abbildung 74). Diese Integration erlaubt eine ereignisbasierte Navigation, die den jeweiligen Kontext einzelner Produkte innerhalb der Lieferkette transparent macht. Wird ein bestimmtes Bauteil ausgewählt, erscheinen alle zugehörigen Prozessereignisse – etwa Herstellung, Lieferung oder Einbau – in Bezug zu seiner geometrischen Repräsentation im Modell. Dadurch entsteht eine Verbindung zwischen abstrakten Lieferkettendaten und dem physischen Konstruktionskontext, was sowohl betriebliche Auswertungen als auch Maßnahmen der Qualitätssicherung unterstützt.

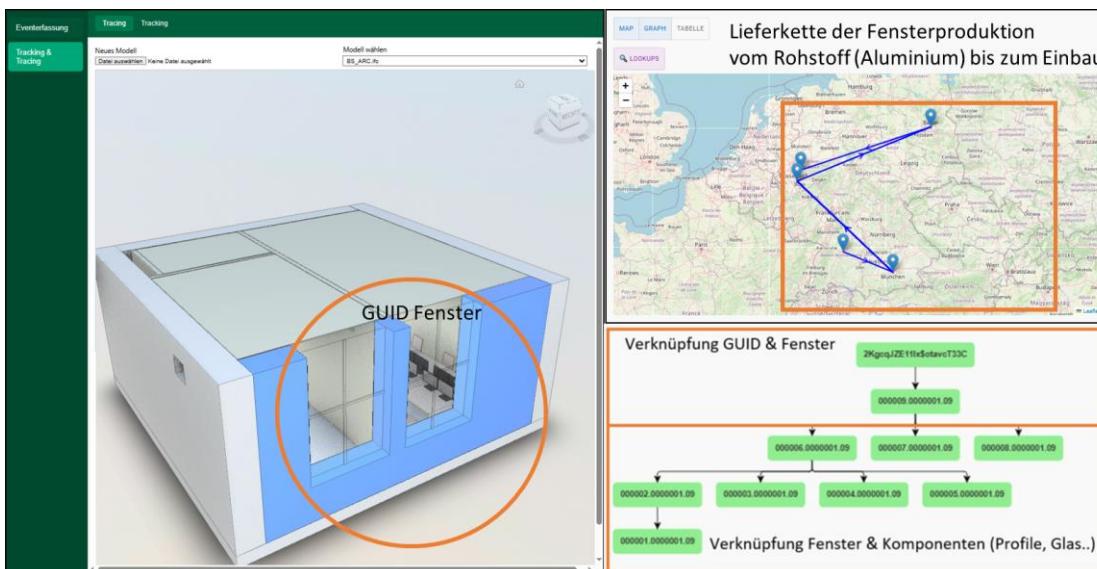


Abbildung 73: Screenshot Demonstrator Verknüpfung GUID & Bauteil

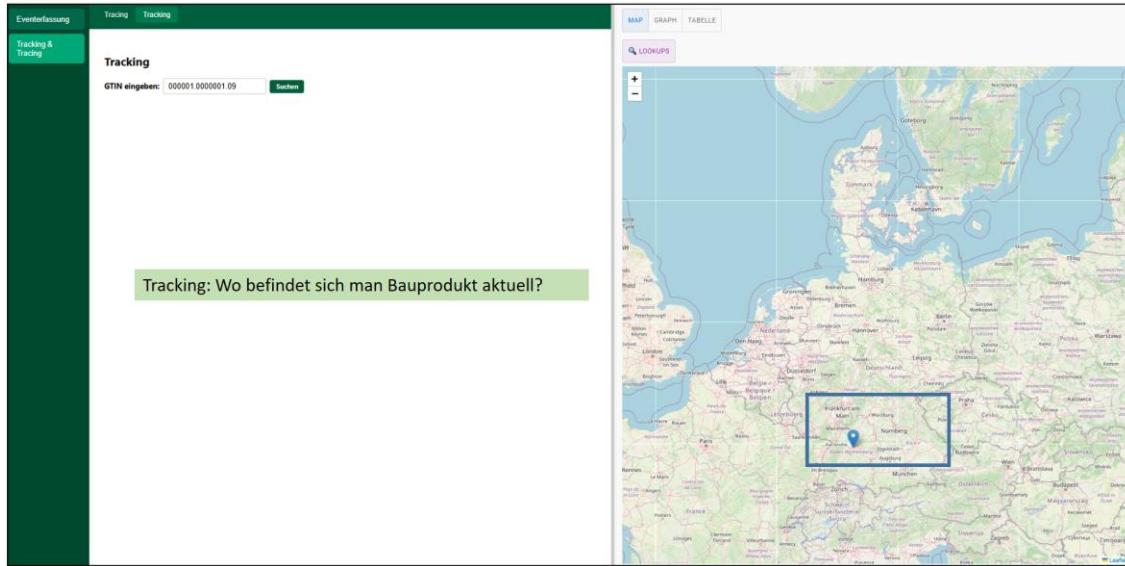


Abbildung 74: Screenshot Demonstrator Abbildung der Tracking Funktion

Der Demonstrator wird kontinuierlich weiterentwickelt, um sich stärker an das im Projekt vorgeschlagene vernetzte Modell anzupassen. Langfristiges Ziel ist die Unterstützung dezentraler Datenarchitekturen, in denen sowohl Ereignisdaten als auch Produktstammdaten von einzelnen Akteuren gepflegt und durch auflösbare, standardisierte Identifikatoren (z.B. GS1 Digital Link) auffindbar gemacht werden.

Zukünftige Iterationen werden Komponenten wie Broker, dezentrale EPCIS-Repositories und richtlinienbasierte Zugriffskontrollen im Einklang mit Referenzarchitekturen wie Gaia-X- und IDS. Ziel ist es, reale Szenarien der verteilten Datenverarbeitung zu simulieren und zentrale Aspekte wie Dateneigentum, selektive Offenlegung und föderierten Datenzugriff im Kontext der Rückverfolgbarkeit praktisch zu erproben.

Der Demonstrator stellt damit einen funktionsfähigen Prototyp dar, der exemplarisch zeigt, wie sich EPCIS-basierte Rückverfolgbarkeit in Bauprojekten umsetzen lässt. Auch über das Projektende hinaus kann er als Test- und Entwicklungsumgebung für weitere Projekt genutzt und bei Bedarf funktional erweitert werden – etwa zur Anbindung von IoT-Sensoren oder ERP-Systemen.

7.5.4 Meilenstein 4

Im Rahmen dieses Meilensteins wurde ein funktionsfähiger Demonstrator zur EPCIS-basierten Rückverfolgbarkeit von Bauprodukten entlang der Lieferkette realisiert. Der Prototyp bildet zentrale Elemente des entwickelten Datenmodells ab und ermöglicht die strukturierte Erfassung, Speicherung und Visualisierung von EPCIS-Ereignissen wie Herstellung, Versand und Einbau. Durch die Verknüpfung dieser Ereignisse mit produktbezogenen Stammdaten und eindeutigen Identifikatoren (z. B. GTIN, GUID) wird eine durchgängige Rückverfolgbarkeit einzelner Bauelemente ermöglicht.

Die Anwendung integriert Daten aus unterschiedlichen Quellen und erfüllt damit IoT-Anforderungen im Sinne einer systemübergreifenden Vernetzung von Informationen. Ereignisdaten werden über eine Open-EPCIS-Infrastruktur bereitgestellt, während produkt- und modellbezogene Informationen aus externen Datenbanken und dem BIM-Modell eingebunden werden. Die visuelle Einbettung der Ereignisse erfolgt über den Autodesk APS Viewer, wodurch Nutzer direkt mit den geometrischen Repräsentationen einzelner Komponenten interagieren und deren Historie sowie aktuellen Status im räumlichen Kontext nachvollziehen können.

Der Demonstrator dient als prototypische Referenzumgebung für die Validierung der Rückverfolgbarkeitskonzepte, die Simulation praxisnaher Anwendungsszenarien sowie die zukünftige Integration in digitale Bauprozesse und IT-Ökosysteme.

Darüber hinaus steht er auch über das Projektende hinaus als modulare Test- und Entwicklungsumgebung im BIM-Labor der Bergischen Universität Wuppertal jederzeit internen und externen Interessierten zur Verfügung und kann bei Bedarf funktional erweitert werden.

Zur nachhaltigen Dokumentation und Sicherstellung der Verfügbarkeit der Anwendung sind in Anlage 6: BIM & IoT – Demoversion zentrale Funktionen des Demonstrators und sowie exemplarische Interaktionen mit dem zuvor in Kapitel 7.3.3.11 beschriebenen Mockup dargestellt.

7.6 Arbeitspaket 6: – Dokumentation der Ergebnisse

7.6.1 Ziel des Arbeitspakets

Ziel des Arbeitspakets war es, sämtliche im Projektverlauf entwickelten Bausteine, Prozessschritte und Erkenntnisse in strukturierter Form zu dokumentieren und zugänglich zu machen. Damit soll sichergestellt werden, dass das entwickelte Konzept zur Bauproduktrückverfolgbarkeit vollständig nachvollziehbar und für Dritte reproduzierbar ist. Die Dokumentation dient zugleich als Grundlage für den Wissenstransfer in Forschung, Praxis und Normung.

7.6.2 Durchführung

Die Dokumentation erfolgte in mehreren aufeinander abgestimmten Formaten:

- **Forschungsbericht:** Umfassende Zusammenfassung aller inhaltlichen und methodischen Projektergebnisse.
- **Transferbericht:** Kompakte Aufbereitung zentraler Ergebnisse für eine praxisorientierte Zielgruppe.
- **Use Case-Dokumentation:** Beschreibung und Visualisierung von drei konkreten Anwendungsfällen.
- **Mockup einer Gebäude-Cloud:** Visualisierung einer cloudbasierten Systemarchitektur zur Speicherung rückverfolgbarer Produktinformationen.
- **Lieferkettendaten-Daten-Hub:** Strukturierte Vorlage zur Erfassung, Verknüpfung und Auswertung rückverfolgbarer Produktinformationen in Lieferketten.
- **Demonstrator:** Interaktive Anwendung zur Veranschaulichung der entwickelten Use Cases.
- **GS1 Workbench:** Als frei zugängliches Werkzeug zur Visualisierung von EPCIS-Daten wurde zusätzlich die GS1 Workbench empfohlen. Diese ist nach Registrierung kostenlos nutzbar und unterstützt die praktische Erprobung der Konzepte.

7.6.3 Ergebnisse

Sämtliche Ergebnisse und Präsentationen aus diesem Arbeitspaket wurden auf der Website des Instituts veröffentlicht. Sie stehen dort zum Download bereit und ermöglichen Projektpartnern, Fachöffentlichkeit und interessierten Unternehmen eine eigenständige Auseinandersetzung mit dem entwickelten Rückverfolgbarkeitskonzept.

7.6.4 Änderungen im Rahmen des Projektverlaufs

Der ursprünglich im Projekttitel genannte Zusatz „**umgesetzt am Anwendungsfall der Bauprodukt-rückverfolgbarkeit**“ wurde gestrichen, da sich die Rückverfolgbarkeit im Projektverlauf nicht als einzelner Anwendungsfall, sondern als methodischer Kern des Konzepts herausgestellt hat.

7.6.5 Einordnung der Arbeitshypothesen anhand der Projektergebnisse

Im Rahmen des Projekts konnten die aufgestellten Hypothesen unterschiedlich stark durch praktische Erkenntnisse und die prototypische Umsetzung gestützt werden. Die Tabelle 5 fasst den Stand der Validierung differenziert zusammen:

Hypothese	Kernaussage	Einordnung	Erläuterung
1. Digitalisierung & Effizienz	Digitalisierung reduziert papierbasierte Prozesse	Bestätigt	Der Demonstrator zeigt klar das Potenzial zur Ablösung manueller Abläufe durch strukturierte digitale Prozesse.
	Digitalisierung verbessert Wartung und Qualitätsprüfung	Tendenziell bestätigt	Erste Szenarien deuten auf Effizienzsteigerung hin, eine breitere Validierung ist zukünftig erforderlich.
2. Rückverfolgbarkeit & Standards	Eindeutige Kennzeichnung verbessert Rückverfolgbarkeit	Weitgehend bestätigt	Die Nutzung von GTIN und GUID im Zusammenspiel mit dem Datenmodell und BIM wurde erfolgreich erprobt.
	EPCIS ist auf Bauprodukte übertragbar	Bestätigt	Der Standard wurde prototypisch eingesetzt und auf bauspezifische Anforderungen angepasst.
3. Datenmanagement & Interoperabilität	Interoperable Systeme verbessern Datenverfügbarkeit	Teilweise bestätigt	Erste Ansätze zur Systemverknüpfung bestehen, aber Medienbrüche und fragmentierte Datenquellen bleiben eine Herausforderung.
	Strukturierte Datenmodelle ermöglichen automatisierte Prozesse	Bestätigt	Die Integration strukturierter Daten nach ISO 23386 bildet eine funktionale Grundlage im prototypischen Aufbau.
4. Nachhaltigkeit & Kreislaufwirtschaft	Digitaler Rückbau stärkt Kreislaufwirtschaft	Ansatzweise bestätigt	Erste Rückbaukonzepte wurden modelliert, eine vollständige Umsetzung ist Gegenstand weiterer Forschung.
5. Akzeptanz & Implementierung	Umsetzung hängt von Standards, Anreizen und Regulierung ab	Bestätigt	Rückmeldungen der Partner zeigen, dass neben Technik auch wirtschaftliche und regulatorische Bedingungen entscheidend sind.

Tabelle 5: Arbeitshypothesen und Einordnung (eigene Darstellung)

8. Fazit und Ausblick

Im Forschungsprojekt wurde ein ganzheitliches Konzept zur Rückverfolgbarkeit von Bauprodukten entwickelt. Dabei wurden bestehende digitale Werkzeuge und Standards aus dem Bereich Building Information Modeling (BIM) und dem Internet of Things (IoT) integriert und weitergedacht.

Die umfassende Dokumentation der im Projekt erzielten Ergebnisse leistet einen wesentlichen Beitrag zur Nachnutzung und Weiterentwicklung des Konzepts. Sie ermöglicht die Integration in bestehende IT-Strukturen und unterstützt die Diskussion in relevanten Fachgremien – insbesondere im Hinblick auf aktuelle Standardisierungsbestrebungen.

Die Analysen in Zusammenarbeit mit den Projektpartnern verdeutlichen, dass eine strukturierte und interoperable Datenhaltung entlang der dezentralen Systeme erhebliche Effizienzpotenziale eröffnet. Die Reduktion manueller Schnittstellen und die Etablierung eines gemeinsamen Verständnisses über Datenformate und Austauschpunkte fördern die Nachvollziehbarkeit entlang der gesamten Lieferkette. Zugleich zeigt sich: Für eine breite Umsetzung sind weitergehende Forschungs- und Koordinationsaktivitäten erforderlich – insbesondere im Hinblick auf standardisierte Austauschformate und skalierbare, interoperable Systemarchitekturen.

Von der Theorie zur Praxis: Erreichte Ergebnisse und identifizierte Handlungsbedarfe in der Bauindustrie

8.1. Eindeutige Kennzeichnungen

- Die Kombination aus dem GS1 Nummernsystem (z.B. GTIN) für marktfähige Produkte und der GUID aus der BIM-Planung für Objekte in der Planungsphase bietet eine tragfähige Grundlage für Rückverfolgbarkeit entlang des gesamten Lebenszyklus von Bauprodukten.
- Der Einsatz proprietärer Herstellerkennzeichnungen ist grundsätzlich möglich, schränkt jedoch Skalierbarkeit und Interoperabilität ein.

Handlungsbedarf und mögliche Maßnahmen

- Um eine digitale, automatisierte und medienbruchfreie Integration in globale IT-Systeme ohne bilaterale Absprachen zu ermöglichen, ist die Entwicklung einheitlicher Kennzeichnungsstandards in der Bauindustrie für Produkte, Unternehmen und logistischen Liefereinheiten essenziell.

8.2. Globale Rückverfolgbarkeits-Standard für ein skalierbares Tracking & Tracing

- Die Anwendung des GS1 EPCIS-Standards wurde erfolgreich anhand realer Szenarien getestet – u. a. mithilfe der GS1 Workbench und eines epact EPCIS-Servers im Kontext der Fensterproduktion.
- Die Zusammenführung von Daten entlang der gesamten Lieferkette – vom Rohstoff über Produktion und Transport bis zum Einbau – konnte in der Testumgebung konsistent abgebildet werden.

Handlungsbedarf und mögliche Maßnahmen

- Unternehmen, die Rückverfolgbarkeit, Datenmanagement und Nachhaltigkeit verbessern möchten, sollten eine strukturierte Vorgehensweise zur Analyse und Implementierung geeigneter Rückverfolgbarkeitslösungen zu verfolgen. Dazu gehören Pilotprojekte, Standardtests und die Anbindung an übergeordnete Dateninfrastrukturen.

8.3. Datenmanagement

- Im Projekt wurden strukturierte Datentemplates auf Basis der Norm **ISO 23386** aufgebaut. Diese ermöglichen die standardisierte Beschreibung von Daten und schaffen damit die Grundlage für einen standardisierten Datenaustausch aller Akteure entlang der Lieferkette.
- Die Verknüpfung von Stammdaten mit transaktionsbezogenen EPCIS-Ereignissen wurde exemplarisch demonstriert – etwa zur Darstellung von Liefer-, Einbau- und Wartungszuständen über den gesamten Lebenszyklus eines Bauprodukts.

Handlungsbedarf und mögliche Maßnahmen

- Zur flächendeckenden Nutzung ist der **breite Aufbau domänenpezifischer Datenmodelle** erforderlich, die auf anerkannten Normen basieren und von Herstellern, Planern und Betreibern gemeinsam getragen werden.
- Zudem sind **Werkzeuge zur einfachen Erstellung, Verwaltung und Nutzung** solcher Datentemplates notwendig – idealerweise durch Schnittstellen zu bestehenden BIM-Systemen oder Materialdatenbanken.
- Langfristig sollten die erarbeiteten Datentemplates in **offene, maschinenlesbare Dateninfrastrukturen** überführt und in digitale Produktpässe integriert werden.
- Ein Blick in andere Industrien zeigt, wie standardisierte Datenmodelle und digitale Rückverfolgbarkeit bereits heute erfolgreich umgesetzt werden – insbesondere in sicherheitskritischen Bereichen wie der Luftfahrtindustrie. Im Rahmen eines Projektbesuchs im November 2024 wurde im Unternehmen Otto Fuchs die Produktion sicherheitsrelevanter Komponenten für die Luftfahrtbranche besichtigt. Dabei standen insbesondere die digital gestützten Rückverfolgbarkeitsprozesse im Fokus, wie sie bei der Fertigung von Bauteilen für Flugzeuge zur Anwendung kommen.

Ein zentrales Element ist ein internes Klassifikationssystem, das sämtliche Materialien und Produktgruppen in sechs Rückverfolgbarkeitsstufen einteilt – je nach Kritikalität für Sicherheit und Funktion. Die Skala beginnt mit **OF 1A – critical**, bei der jedes Erzeugnis in Fertigungs- und Lieferungsphasen gekennzeichnet werden muss. Es folgt **OF 1B**, bei der eine Abstufung der Phasen erfolgt. Darauf aufbauend liegen die Stufen **OF2 bis OF5**, die weiteren abgestuften Anforderungen an Kennzeichnung, Datenhaltung und digitale Dokumentation definieren, bis hin zur letzten Stufe, bei der keine Rückverfolgung notwendig ist.

Dieses risikobasierte Modell weist funktionale Parallelen zu Chargen- und Seriennummernsystemen aus der Konsumgüterindustrie auf, geht jedoch durch die Integration prozessbezogener Informationen und durchgängiger Materialverfolgung deutlich darüber hinaus.

In der Diskussion mit den Fachverantwortlichen vor Ort wurde der im Projekt entwickelte EPCIS-basierte Ansatz zur Rückverfolgbarkeit von Bauprodukten als grundsätzlich praktikabel

eingeschätzt – insbesondere im Hinblick auf die potenzielle Übertragbarkeit von Rückverfolgbarkeitslogiken zwischen sicherheitskritischen Industrien.

8.4. Technische IT-Architektur

- Die Entwicklung einer strukturierten IT-Architektur basierte auf einem klar definierten Datenmodell, das durch eine prototypische Ontologie in Protégé visualisiert wurde. Diese diente nicht nur der internen Modellierung, sondern auch als wirkungsvolles Instrument zur Vermittlung der Systemlogik gegenüber Praxispartnern. Insbesondere die grafische Aufbereitung komplexer Zusammenhänge ermöglichte ein tieferes Verständnis der Datenflüsse und -beziehungen – ein Aspekt, der in Workshops mehrfach zu einem klaren Aha-Effekt führte.
- Im Projekt wurde ein zentraler Excel-basierter Daten-Hub entwickelt und in Zusammenarbeit mit einem IT-Dienstleister in eine cloudbasierte Lösung überführt.
- Diese Lösung wird als Mockup dargestellt und dient über das Projekt hinaus als Demonstrator für Rückverfolgbarkeitslösungen, die mit minimalem Anpassungsaufwand in bestehende IT-Strukturen integriert werden können.

Handlungsbedarf und mögliche Maßnahmen

- Der Aufbau einer übergreifenden, interoperablen Dateninfrastruktur ist essenziell – z. B. nach dem Vorbild des Global Data Synchronisation Network (GDSN) [47], einem weltweit genutzten System zum standardisierten Austausch von Produktstammdaten. Ziel ist, dass Hersteller strukturierte Produktdaten mit identischen Eigenschaften einmalig bereitstellen – unabhängig davon, in welchen Gebäuden oder bei welchen Bauherren sie eingesetzt werden.
- Zur Darstellung vollständiger Datenhistorien auf Basis von EPCIS müssen Mechanismen zum dauerhaften Speichern, Abfragen und Weitergeben von Ereignisdaten etabliert werden – etwa über XML-basierte Schnittstellen, wie sie mit der GS1 Workbench und einem Insert-Before/After-Prinzip demonstriert wurden.

8.5. Demonstratoren

- Mit der EPCIS-Workbench als Lern-, Analyse-, Visualisierungs- und Validierungstool wurden die relevanten EPCIS-Events für alle Anwendungsfälle des Projekts erstellt, getestet und mit GS1- sowie herstellerspezifischen Identen an einen epcat EPCIS-Server übertragen. Zudem wurden gezielte Abfragen zur Rückverfolgbarkeit entlang der Lieferkette realisiert.
- Der entwickelte Demonstrator zeigt erfolgreich, wie EPCIS-basierte Rückverfolgbarkeit von Bauprodukten entlang der Lieferkette umgesetzt werden kann. Durch die Verknüpfung von Ereignisdaten, Stammdaten und BIM-Informationen ermöglicht er eine transparente und systemübergreifende Nachverfolgung. Als prototypische Referenzumgebung bietet er eine wertvolle Grundlage, die in zukünftigen Projekten genutzt, erweitert und weiterentwickelt werden kann.

Handlungsbedarf und mögliche Maßnahmen

- Um die Verständlichkeit und Akzeptanz von Rückverfolgbarkeitslösungen in der Bauindustrie zu erhöhen, sollten Demonstratoren gezielt weiterentwickelt, dokumentiert und in Schulungs-, Normierungs- und Pilotprojekte eingebunden werden.

- Darüber hinaus bietet sich die Integration solcher Mockups in bestehende BIM- und CAFM-Systeme an, um einen niederschwelligen Einstieg in EPCIS-basierte Prozesse zu ermöglichen.

8.6. Umsetzung des Konzepts in weiteren BIM-Anwendungsfällen

In Zusammenarbeit mit den Projektpartnern wurde das entwickelte Rückverfolgbarkeitskonzept erfolgreich auf weitere **praxisrelevante BIM-Anwendungsfälle** übertragen. Dabei wurden konkrete Anwendungsszenarien identifiziert und modellhaft umgesetzt, darunter:

- **Nachweis der Rückruf-Readiness** durch die lückenlose Dokumentation der Produktverwendung im Gebäude über EPCIS-Events.
- **Bereitstellung strukturierter Daten zu eingebauten Bauprodukten** als Grundlage für **Wieder-verwendung und Recycling** im Sinne der Kreislaufwirtschaft.
- **Dokumentation von Wartungsmaßnahmen** zur Unterstützung der **Gewährleistungsprozesse** und des digitalen Facility Managements.

Handlungsbedarf und mögliche Maßnahmen

- Für die **breitere Übertragbarkeit auf weitere BIM-Anwendungsfälle** ist eine **systematische Katalogisierung typischer Anwendungsfälle** notwendig, einschließlich geeigneter Datenstrukturen, Identifikationskonzepte und Austauschformate.
- Zudem sollten **branchenspezifische Leitfäden und Schulungsmaterialien** entwickelt werden, um Planer, Hersteller, Bauausführende und Betreiber bei der Implementierung rückverfolgsbezogener Prozesse im BIM-Kontext zu unterstützen.

8.7. Normen, Standards und rechtliche Rahmenbedingungen

Erreichte Ergebnisse

Im Projekt wurden relevante ISO-Standards, DIN-Normen und europäische Gesetzesinitiativen systematisch berücksichtigt und deren Anforderungen auf die Praxistauglichkeit des entwickelten Konzepts geprüft.

Dabei zeigte sich, dass die Lösung zentrale Anforderungen wie Rückverfolgbarkeit, strukturierte Datenpflege und digitale Dokumentation unterstützt:

- **ISO 9000 und ISO 9001:** Anforderungen an Rückverfolgbarkeit und Kennzeichnung von Bauprodukten werden erfüllt.
- **GS1 EPCIS Standard (ISO 19887 und ISO 19988):** Durch die Verwendung des EPCIS-Standards wird ein lückenloses Tracking & Tracing über den gesamten Produktlebenszyklus ermöglicht.
- **ISO 23386:** Die Methodik zur Erstellung und Pflege von Merkmalskatalogen bildet eine Grundlage für den Aufbau interoperabler Datenmodelle.
- **DIN EN ISO 19650:** Die Integration in BIM-basierte Informationsmanagementstrukturen wird unterstützt.
- **VDI/DIN EE 2552 Blatt 12.1:** Beschreibt eine einheitliche Struktur zur Beschreibung von BIM-Anwendungsfällen.

Im Hinblick auf relevante europäische Gesetzesinitiativen ergibt sich folgende Übereinstimmung:

- **Digitaler Produktpass (DPP)**, basierend auf dem **European Green Deal** und dem **Circular Economy Action Plan der EU** (Europäische Kommission, 2019): Die projektierten Lösungen schaffen die technischen Voraussetzungen für Rückverfolgbarkeit, Reparatur- und Demontageinformationen sowie Kreislaufwirtschaftsdaten.
- **Ecodesign for Sustainable Products Regulation (ESPR)**, Entwurf der Europäischen Kommission, 2022: Grundlage für verpflichtende digitale Produktinformationen im Rahmen der neuen Ökodesign-Anforderungen.
- **EU Circular Economy Action Plan (CEAP)**, Europäische Kommission, 2020: Förderung der Wiederverwendbarkeit und Recyclingfähigkeit von Produkten durch digitale Dokumentation.
- **Building Material Passport (BMP)**, Initiative im Rahmen des Green Deal: Bereitstellung eines digitalen Ressourcenpasses für Bauwerke zur Förderung der Materialwiederverwendung.
- **EU-Taxonomie-Verordnung (Verordnung (EU) 2020/852)**: Strukturierte Erfassung von Umwelt- und Materialinformationen als Grundlage für nachhaltige Investitionsentscheidungen.
- **Abfallrahmenrichtlinie (Richtlinie 2008/98/EG über Abfälle)**: Digitale Bereitstellung relevanter Recycling- und Entsorgungsinformationen.

Handlungsbedarf und mögliche Maßnahmen

Obwohl die entwickelten Konzepte wesentliche Anforderungen bereits adressieren, besteht Handlungsbedarf in folgenden Bereichen:

- **Standardisierte Merkmalsmodelle**: Um die Umsetzung der ISO 23386 konsistent in der Bauindustrie zu etablieren, sind branchenspezifische, harmonisierte Merkmalskataloge erforderlich.
- **Verbindliche Anforderungen für digitale Produktpässe**: Die genaue Ausgestaltung der Anforderungen an den Digitalen Produktpass (DPP) wird durch künftige Rechtsakte konkretisiert und muss flexibel abgebildet werden können.
- **Integration in bestehende Systeme**: Zur Umsetzung der Kreislaufwirtschaftsziele ist die Anbindung an Plattformen wie Madaster oder neue regulatorische Register notwendig.

8.8. Erfolgsfaktoren für die praktische Umsetzung

Ein zentrales Ergebnis des Projekts besteht in der Erkenntnis, dass digitale Rückverfolgbarkeit, prädiktive Instandhaltung und Rückrufprozesse in der Baupraxis nur dann erfolgreich implementiert werden können, wenn geeignete Kooperationsstrukturen geschaffen werden.

Die Bauwirtschaft weist in vielen Bereichen eine hohe organisatorische und prozessuale Fragmentierung auf – insbesondere im Zusammenspiel verschiedener Akteure entlang der Planungs-, Ausführungs- und Betriebsphasen. Diese Struktur erschwert häufig die durchgängige Dokumentation und Rückverfolgbarkeit von Bauprodukten. Hersteller, Verarbeiter, Planer, Betreiber und Behörden agieren oftmals isoliert, mit jeweils eigenen Systemen und Anforderungen. Diese Fragmentierung stellt eine der zentralen Herausforderungen für die Etablierung durchgängiger, digital unterstützter Prozesse dar.

Das Projekt hat deutlich gemacht, wie wichtig es ist, neutrale Instanzen zu etablieren, die verschiedene Akteure zusammenbringen und moderieren – etwa Hochschulen, Netzwerke oder öffentliche Innovationsplattformen. Nur durch solche Strukturen wird ein übergreifendes Verständnis dafür geschaffen:

- welche Daten erforderlich sind,
- welche Prozesse möglich sind,
- und welche gemeinsamen Standards notwendig sind.

Für die Zukunft ergibt sich daraus ein klarer Handlungsauftrag:

Es sollten neue Formate der sektorübergreifenden Kooperation angedacht und erprobt werden, z.B.

- **Pilotprojekte**, die verschiedene Akteure der Bau- und Immobilienbranche frühzeitig einbinden,
- **digitale Datenräume** für den Gebäudebestand, die Informationen standardisiert und langfristig verfügbar machen
- sowie **koordinierende Rollen in öffentlichen Bauvorhaben**, um Innovationen in die Breite zu tragen.
- In der Praxis kann die organisatorische Trennung von Planungs- und Ausführungsprozessen eine zusätzliche Herausforderung für die Rückverfolgbarkeit darstellen. Je stärker Planung, Produktauswahl und bauliche Umsetzung in voneinander getrennten Strukturen erfolgen, desto schwieriger wird es, durchgängige Informationsketten über den gesamten Lebenszyklus eines Bauprodukts hinweg sicherzustellen. Modelle, die auf integrierte Projektabwicklung oder „One-Stop-Shop“-Ansätze setzen, könnten hier einen Beitrag zur Verbesserung der Transparenz leisten.

Nur durch einen offenen Blick über den Tellerrand hinaus und die Bereitschaft zur Zusammenarbeit kann die im Projekt entwickelte Methodik nachhaltig Wirkung entfalten – als Beitrag zur digitalen Transformation und zur Förderung von Nachhaltigkeit, Effizienz und Kreislaufwirtschaft in der Bauwirtschaft.

8.9. Forschungslücke und zukünftiger Handlungsbedarf

Das Projekt hat deutlich gemacht, dass eine zentrale Herausforderung für die Rückverfolgbarkeit von Bauprodukten in der bislang fehlenden systematischen Rückkopplung zwischen Produktherstellern und Bauprojekten liegt. Zwar stellen viele Hersteller bereits in frühen Projektphasen – etwa im Rahmen von Angebotsprozessen – detaillierte BIM-Modelle zur Verfügung. Wie sich jedoch exemplarisch an einer im Projektkontext dargestellten Prozesskette zeigen ließ, bleibt häufig unklar, ob die ursprünglich vorgesehenen Produkte tatsächlich verwendet und an welchen konkreten Einbauorten sie verbaut wurden.

Dieses Informationsdefizit wird durch mehrstufige Vertriebsstrukturen zusätzlich verstärkt – ein Befund, der von allen Projektpartnern übereinstimmend bestätigt wurde. Herstellern fehlen dadurch nicht nur verlässliche Informationen über den tatsächlichen Einsatz ihrer Produkte, sondern auch darüber, in welcher Form dieser erfolgt ist. Produktbezeichnungen, Artikelnummern und technische Spezifikationen können sich entlang der Lieferkette verändern oder unvollständig übertragen werden.

Besonders herausfordernd wird dies bei Bauelementen, die aus Komponenten verschiedener Hersteller bestehen. Solange diese innerhalb eines geschlossenen Systems verbleiben – etwa bei Komplettlösungen eines Herstellers – ist eine gewisse Nachverfolgbarkeit möglich. Werden jedoch Drittkomponenten wie Schlosser oder elektronische Bauteile integriert, verliert sich diese Transparenz oftmals.

Vor diesem Hintergrund besteht eine zentrale Aufgabe zukünftiger Forschung darin, Lösungen zu entwickeln, mit denen auch heterogene und dynamische Lieferketten systematisch abgebildet und nachvollzogen werden können. Standardisierte, EPCIS-basierte Rückmeldestrukturen bieten hierfür einen vielversprechenden Ansatz – insbesondere durch die Verknüpfung von BIM-Daten, Einbaudokumentation und digitalen Produktidentitäten.

Darüber hinaus verweist das Projekt auf eine bislang kaum adressierte Forschungslücke: Obwohl EPCIS als international bewährter Standard für die digitale Rückverfolgbarkeit in anderen Branchen – etwa im Handel oder der Logistik – etabliert ist, wurde seine Übertragbarkeit auf die Bauwirtschaft bislang kaum wissenschaftlich untersucht. Trotz einer hohen Verbreitung der GTIN unter Bauproduktherstellern ist die Nutzung von EPCIS in der Branche nicht dokumentiert.

Das im Projekt entwickelte Konzept leistet hier Grundlagenarbeit und versteht sich als Impulsgeber für weiterführende Forschung. Künftige Untersuchungen sollten insbesondere auf feldbezogene Anwendungen, Integrationsmöglichkeiten in bestehende IT- und BIM-Infrastrukturen sowie auf organisatorische und regulatorische Rahmenbedingungen abzielen. Nur so lässt sich langfristig eine robuste, praxisnahe und interoperable Rückverfolgbarkeit von Bauprodukten im Sinne einer digitalen Materialflusskontrolle realisieren.

9. Literaturverzeichnis

- [1] BMDV, "BIM Deutschland.de," [Online]. Available: <https://www.bimdeutschland.de/>. [Accessed September 2024].
- [2] J. Pistorius, Industrie 4.0 - Schlüsseltechnologien für die Produktion, Saarbrücken: Springer Viewer, 2025.
- [3] GS1, "EPCIS," [Online]. Available: <https://www.gs1-germany.de/standards/datenaustausch/epcis/>. [Accessed Juli 2024].
- [4] BMZ, "Agenda 2030," 2025. [Online]. Available: <https://www.bmz.de/de/agenda-2030>. [Accessed April 2025].
- [5] EU, "Der europäische Grüne Deal," [Online]. Available: https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_de. [Accessed April 2025].
- [6] Fraunhofer, "Der Digitale Produktpass," [Online]. Available: <https://publica-rest.fraunhofer.de/server/api/core/bitstreams/771a840f-dea6-4457-8c51-f52005c881bf/content>. [Accessed April 2025].
- [7] DIN EN ISO 9000 Qualitätsmanagementsysteme - 3.6.13 Rückverfolgbarkeit, "www.nautos.de," [Online]. [Accessed Juni 2024].
- [8] DIN EN ISO 9001 Qualitätsmanagementsysteme-Anforderungen-8.5.2 Kennzeichnung und Rückverfolgbarkeit , "www.nautos.de," [Online]. [Accessed Juni 2024].
- [9] GS1, "GTIN kaufen," [Online]. Available: <https://www.gs1-germany.de/ean-gtin-barcode/ean-kaufen/>. [Accessed März 2025].
- [10] EU, "Einmalige Produkterkennung," [Online]. Available: https://health.ec.europa.eu/medical-devices-topics-interest/unique-device-identifier-udi_de. [Accessed März 2025].
- [11] MVB, "Die Grundlage für die Vermarktung Ihrer Titel," [Online]. Available: <https://mvb-online.de/marken-und-produkte/isbn>. [Accessed März 2025].
- [12] GS1 Germany GmbH, "www.gs1-germany.de," [Online]. Available: <https://www.gs1-germany.de/ueber-uns/>. [Accessed Juni 2024].
- [13] GS1, "Alles begann mit einem einfach Beep...," [Online]. Available: <https://www.gs1-germany.de/newsroom/im-fokus/50-jahre-barcode/>. [Accessed Januar 2025].
- [14] GS1 Germany GmbH, "www.gs1-germany.de," [Online]. Available: <https://www.gs1-germany.de/gs1-standards/>. [Accessed Juni 2024].
- [15] GS1, "Barcodes/RFID," [Online]. Available: <https://www.gs1-germany.de/standards/barcodes-rfid/>. [Accessed März 2025].
- [16] GS1, "RFID," [Online]. Available: <https://www.gs1-germany.de/standards/barcodes-rfid/epc-rfid/>. [Accessed März 2025].
- [17] GS1, "Datenaustausch," [Online]. Available: <https://www.gs1-germany.de/standards/datenaustausch/>. [Accessed März 2025].

- [18] BHB-Handelsverband, "www.bhb.org," [Online]. Available: https://www.bhb.org/fileadmin/user_upload/themen/logistik/BHB_Guideline_2016.pdf.
- [19] GS1 Germany GmbH, "www.gs1-germany.de," [Online]. Available: <https://www.gs1-germany.de/gs1-standards/klassifikation/produktklassifikation-gpc/>. [Accessed Juni 2024].
- [20] ETIM Deutschland e.V., "www.etim.de," [Online]. Available: <https://etim.de/daten/>. [Accessed Juni 2024].
- [21] ECLASS e.V., "https://etim.de/daten/," [Online]. Available: <https://eclasseu.eu/eclasse-standard>. [Accessed Juni 2024].
- [22] United Nations Standard Products and Services Code, "https://www.unspsc.org/," [Online]. Available: <https://www.unspsc.org/>. [Accessed Juni 2024].
- [23] GS1, "GTIN kaufen," [Online]. Available: <https://www.gs1-germany.de/ean-gtin-barcode/ean-kaufen/>. [Accessed Januar 2024].
- [24] GS1, "GS1 Datenbezeichner," [Online]. Available: <https://www.gs1-germany.de/standards/barcodes-rfid/datenbezeichner/>. [Accessed Juni 2024].
- [25] guid.one, "https://guid.one/guid," [Online]. Available: <https://guid.one/guid>. [Accessed Juni 2024].
- [26] GS1ORG, "Core Business Vocabulary (CBV) Standard," [Online]. Available: <https://ref.gs1.org/standards/cbv/>. [Accessed Juni 2024].
- [27] EDEKA, "https://www.edeka.de/nachhaltigkeit/transparenz/rueckverfolgbarkeit.jsp," [Online]. Available: <https://www.edeka.de/nachhaltigkeit/transparenz/rueckverfolgbarkeit.jsp>. [Accessed Juni 2024].
- [28] Metro, "https://www.metro.de/nachhaltigkeit/lieferkette-rueckverfolgbarkeit/pro-trace," [Online]. Available: <https://www.metro.de/nachhaltigkeit/lieferkette-rueckverfolgbarkeit/pro-trace>. [Accessed Juni 2024].
- [29] PIMVerzeichnis, "PIM Verzeichnis-Was macht ein PIM-System," [Online]. Available: <https://www.pim-verzeichnis.de/was-ist-ein-pim-system/>. [Accessed Mai 2024].
- [30] Knauf, "Systemfinder," [Online]. Available: <https://knauf.com/de-DE/unsere-tools/systemfinder>. [Accessed November 2024].
- [31] Schücal, "Schüco," [Online]. Available: <https://www.schueco.com/de/verarbeiter/digitale-loesungen/schuecal>. [Accessed Dezember 2024].
- [32] GS1, "EPCIS Workbench," [Online]. Available: <https://epcisworkbench.gs1.org/ui/home>. [Accessed Juni 2024].
- [33] EECC, "epcat," [Online]. Available: <https://www.eecc.info/epcat.html>. [Accessed Juni 2024].
- [34] ERP-de, "Was ist der Single Point of Truth?," [Online]. Available: <https://www.erp.de/erp-software/bi/was-ist-der-single-point-of-truth>. [Accessed Juni 2024].
- [35] DINMedia, "DIN EN ISO 23386:2020-11," [Online]. Available: <https://www.dinmedia.de/de/norm/din-en-iso-23386/317329650>. [Accessed Januar 2024].
- [36] GS1, "GS1 Datenbezeichner," [Online]. Available: <https://www.gs1-germany.de/standards/barcodes-rfid/datenbezeichner/>. [Accessed Dezember 2024].

-
- [37] M. Juhn, "Der Uniform Resource Name (URN) Kapitel 9.4.1," [Online]. Available: http://nestor.sub.uni-goettingen.de/handbuch/artikel/nestor_handbuch_artikel_336.pdf. [Accessed September 2024].
 - [38] GS1ORG, "EPC Encoder/Decoder," [Online]. Available: <https://www.gs1.org/services/epc-encoderdecoder>. [Accessed November 2024].
 - [39] IETfORG, "Uniform Resource Identifier (URI): Generic Syntax," [Online]. Available: <https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc3986>. [Accessed November 2024].
 - [40] Knauf, "Systemfinder," [Online]. Available: <https://knauf.com/de-DE/unsere-tools/systemfinder>. [Accessed November 2024].
 - [41] GS1, "Welche Nummern sind für mich als Händler relevant?," [Online]. Available: <https://www.gs1-germany.de/sku-gtin-ean-asin-upc-code/>.
 - [42] IBM, "Referential integrity," [Online]. Available: <https://www.ibm.com/docs/de/informix-servers/15.0.0?topic=integrity-referential>. [Accessed November 2024].
 - [43] LearnSQL, "SQL JOIN-Typen erklärt," [Online]. Available: <https://learnsql.de/blog/sql-join-typen-erklaert/>. [Accessed Dezember 2024].
 - [44] VDI/DIN, "VDI/DIN-Expertenempfehlung 2552 Blatt 12.1," Beuth, 2022.
 - [45] nodejs, "JavaScript überall ausführen," [Online]. Available: <https://nodejs.org/en>. [Accessed April 2025].
 - [46] React, "Die Bibliothek für Web- und native Benutzeroberflächen," [Online]. Available: <https://react.dev/>. [Accessed April 2025].
 - [47] GS1, "Datenaustausch Stammdaten über Global Data Synchronization Network (GDSN®) austauschen," [Online]. Available: <https://www.gs1-germany.de/produkte-services/stammdaten/gdsn/>. [Accessed Dezember 2024].

10. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Praxis- und Projektpartner.....	20
Abbildung 2: Arbeits- und Zeitplan (eigene Darstellung DPBB 2023)	20
Abbildung 3: Datenerfassung mittels Barcode, 2D-Codes und RFID (eigene Darstellung)	26
Abbildung 4: 4-stufige Verpackungshierarchie, Quelle: BHB Handelsverband, https://www.bhb.org/fileadmin/user_upload/publikationen/BHB_Guideline_2016.pdf (abgerufen am 14.04.2025)	28
Abbildung 5: Das GS1-Nummernsystem in Anlehnung GS1 Germany (eigene Darstellung)	29
Abbildung 6: Darstellung der GS1 Basisnummer Kapazitäten, Quelle: GS1 Germany, https://www.gs1- germany.de/standards/identifikation/unternehmen-gln/ (abgerufen am 14.04.2025)	30
Abbildung 7: Darstellung strukturierte Aufbau der GTIN (eigene Darstellung).....	32
Abbildung 8: Darstellung individuelle Hersteller Idente (eigene Darstellung)	32
Abbildung 9: Von der Datenmatrix zum Datenmodell – schematische Darstellung des Projektverlaufs (eigene Darstellung).....	33
Abbildung 10: Fortschritt in der Weiterentwicklung der Datenmatrix (eigene Darstellung)	38
Abbildung 11: Zusammenfassung der Dimensionen (eigene Darstellung)	42
Abbildung 12: Beispiel Object-Event (eigene Darstellung)	43
Abbildung 13: Beispiel Aggregation Event (eigene Darstellung)	44
Abbildung 14: Beispiel Transaction-Event (eigene Darstellung).....	45
Abbildung 15: Beispiel Transformation-Event (eigene Darstellung)	46
Abbildung 16: Analyse vorhandener EPCIS Lösungen im Lebensmitteleinzelhandel.....	47
Abbildung 17: Analyse der Prozesskette in der Fensterproduktion (eigene Darstellung)	47
Abbildung 18: Datenentstehung für die Rückverfolgbarkeit entlang der Lieferkette (eigene Darstellung)	48
Abbildung 19: Abbildung der Lieferkette (eigene Darstellung)	49
Abbildung 20: Versand von Betonwandelementen zur Baustelle, eigene Aufnahme, Hamm, Juli 2024 .	50
Abbildung 21: Einbau der Betonelemente Wand auf der Baustelle im Raum Stuttgart, eigene Aufnahme, Juli 2024	50
Abbildung 22: Anonymisierte Systemarchitektur des PIM System eines Projektpartners.....	51
Abbildung 23: Auszug der Massenzusammenstellung aus dem SchüCal-Projektzugang	52
Abbildung 24: Benutzeroberfläche der GS1 Workbench (Screenshot)	54
Abbildung 25: Screenshot eines Transformation-Event aus der GS1 Workbench.....	54
Abbildung 26: Screenshot einer XML-Nachricht, die automatisiert in der GS1 Workbench erstellt wurde	55
Abbildung 27: Screenshot der Versand- und Empfangsfunktion der GS1 Workbench zum epcat-Server	55

Abbildung 28: Screenshot aus der GS1 Workbench.....	58
Abbildung 29: Darstellung des URN-Aufbaus (eigene Darstellung)	59
Abbildung 30: Darstellung der URI (eigene Darstellung).....	60
Abbildung 31: Test Eingabe Herstellerartikelnummer (eigene Darstellung)	60
Abbildung 32: Erstellung der XML in der GS1 Worbench (eigene Darstellung)	61
Abbildung 33: Eingabe Read Point und Business Location mit manueller URI (eigene Darstellung)	62
Abbildung 34: Geprüfte XML Nachricht in der GS1 Workbench (eigene Darstellung)	62
Abbildung 35: Darstellung der Vorteile durch eindeutige Strukturen (eigene Darstellung)	63
Abbildung 36: Darstellung der Herausforderung durch individueller Herstellerartikelnummern (eigene Darstellung).....	64
Abbildung 37: Ausschnitt aus dem Systemfinder von Knauf (Kombination GTIN mit HAN). Quelle Knauf, Systemfinder, Aufruf im November 2024.....	64
Abbildung 38: Beispiel einer Umstellung auf eindeutige Idente (eigene Darstellung).....	65
Abbildung 39: Darstellung technische Validierung (eigene Darstellung).....	66
Abbildung 40: Alle Events von der Alu-Stange bis zum Einbau (eigene Darstellung)	66
Abbildung 41: Abfrage aus der GS1 Workbench an den epcat-Server (eigene Darstellung)	67
Abbildung 42: Simulierter Einkaufsprozess einer Fensterbank (eigene Darstellung nach Hornbach, 2025, www.hornbach.de, abgerufen am 05.05.2025).....	68
Abbildung 43: Erfassung eines gekauften Baumarktartikels in der GS1 Workbench (eigene Darstellung)	69
Abbildung 44: Beispiel erfasster EPCIS-Event Identifikatoren in der GS1 Workbench (eigene Darstellung)	70
Abbildung 45: Zusammenführen der Eventdaten aus unterschiedlichen Datenquellen (eigene Darstellung).....	72
Abbildung 46: Rückverfolgbarkeits-Lieferketten-Datenhub (eigene Darstellung)	74
Abbildung 47: Darstellung der referenziellen Datenverknüpfung (eigene Darstellung).....	75
Abbildung 48: Tabellenblatt README (Eigene Darstellung).....	75
Abbildung 49: von der Datenmatrix zum Datenmodell (eigene Darstellung)	76
Abbildung 50: Tabellenblatt EPCIS-Daten (eigene Darstellung).....	76
Abbildung 51: Rückverfolgbarkeit-Lieferketten-Datenhub (RLD) (eigene Darstellung).....	77
Abbildung 52: Visualisierung der Datenzusammenhänge in protégé (eigene Darstellung)	80
Abbildung 53: Screenshot der Mockup-Version Gebäude-Cloud	82
Abbildung 54: Screenshot des Mockups zum Datenimport.....	82
Abbildung 55: Screenshot der Mockup Upload Freigabe Funktion	83
Abbildung 56: Screenshot eines Mockup Dashboard Beispiel	84
Abbildung 57: Screenshot Mockup „Bearbeitung“	84

Abbildung 58: Screenshot des Mockups „Übersicht alle Daten“	85
Abbildung 59: Screenshot der Mockup Tracking & Tracing Funktionalität	85
Abbildung 60: Screenshot des Mockups zur weiteren Tracking & Tracing Darstellung	86
Abbildung 61: Screenshot der Mockup Übersicht zur Darstellung einer Tracing Funktion.....	86
Abbildung 62: Screenshot der Mockup Darstellung der Tracking Funktion.....	87
Abbildung 63: Screenshot der Mockup Funktion zur Verknüpfung von Stammdaten mit Wartungsdaten	88
Abbildung 64: Screenshot der Mockup Abbildung des Dashboard Wartung.....	88
Abbildung 65: Screenshot des Mockup zur Madaster Ouput Funktion	89
Abbildung 66: Screenshot des Mockups zur Übersicht der Datenoutput-Funktion für Madaster	89
Abbildung 67: Beispielhafter Teilauszug der Prozessbeschreibung des Anwendungsfall Rückruf Readiness (eigene Darstellung).....	94
Abbildung 68: Beispiel des Interaktionsplans für den Anwendungsfall Rückruf-Readiness	95
Abbildung 69: Beispiel Transaktions-Diagramm für den Anwendungsfall Rückruf-Readiness	95
Abbildung 70: Darstellung des entwickelten Rückrufmanagement Prozess (eigene Darstellung)	97
Abbildung 71: Darstellung des aktualisierten Datentransfers auf der Madaster-Plattform.....	100
Abbildung 72: Screenshot vom Demonstrator zur benutzergesteuerten Erstellung von Rückverfolgbarkeitsereignissen.....	108
Abbildung 73: Screenshot Demonstrator Verknüpfung GUID & Bauteil.....	108
Abbildung 74: Screenshot Demonstrator Abbildung der Tracking Funktion	109

11. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Analyseergebnisse (eigene Darstellung), Quelle: Experteninterviews mit Bauvista, BayWa, Hagebau, EUROBAUSTOFF, Heinze, Stark, Zedach, ZVSSHK, ProMaterial, GS1, September 2023.....	31
Tabelle 2: Datenmatrixaufbau (eigene Darstellung).....	33
Tabelle 3: Beispiel Verknüpfung der GUID mit der GTIN und weiteren Informationen (eigene Darstellung)	37
Tabelle 4: Exemplarische Einordnung der Validierungsergebnisse (eigene Darstellung)	106
Tabelle 5: Arbeitshypothesen und Einordnung (eigene Darstellung)	111

12. Abkürzungsverzeichnis

BIM.....	<i>Building Information Modeling</i>
CPID.....	<i>Component/Part-Identifier</i>
DIN.....	<i>Deutsches Institut für Normung</i>
EDI.....	<i>Electronic Data Interchange</i>
epcat	<i>Electronic Product Code Analytic Tool</i>
EPCIS	<i>Electronic Product Code Information Services</i>
GCN	<i>Global Coupon Number</i>
GDTI.....	<i>Global Document Type Identifier</i>
GINC.....	<i>Global Identification fpr Consigment Number</i>
GLN.....	<i>Global Location Number</i>
GMN.....	<i>Global Model Number</i>
GRAI.....	<i>Global Returnable Asset Identifier</i>
GSIN	<i>Global Shipment Identification Number</i>
GSRN.....	<i>Global Service Relation Number</i>
GTIN	<i>Global Trade Iten Number</i>
GUID.....	<i>Globally Unique Identifier</i>
HAN.....	<i>Hersteller Artikel Nummer</i>
IoT	<i>Internet of Things</i>
ISO.....	<i>Internationale Organisation für Normung</i>
LOIN	<i>Level of Information Need</i>
RFID	<i>Radio-Frequency Identification</i>
RLD	<i>Rückverfolgbarkeits-Lieferketten-Datenhub</i>
SGTIN	<i>Serialised Global Trade Item Number</i>
SPoT.....	<i>Singel Point of Truth</i>
SSCC.....	<i>Serial Shipping Container Code</i>
URI.....	<i>Uniform Resource Identifier</i>
URL.....	<i>Uniform Resource Locator</i>
URN	<i>Uniform Resource Names</i>

13. Anlagen

Alle nachfolgend genannten Anlagen sind unter folgendem Link abrufbar:

Anlagen BIM & IoT

Die Anlagen sind über den oben genannten Link bis zum 31.12.2026 verfügbar. Danach können sie auf Anfrage über die verantwortliche Einrichtung bezogen werden.

Anlage 1: Rückverfolgbarkeits-Lieferketten-Daten-Hub (RLD)

Anlage 2: Anwendungsfall – Nachweis der Rückruf-Readiness (inkl. LOIN-Tabelle)

Anlage 3: Anwendungsfall – Bereitstellung von Daten zu eingebauten Bauprodukten für die Kreislaufwirtschaft (inkl. LOIN-Tabelle)

Anlage 4: Anwendungsfall – Dokumentation der Wartung für die Gewährleistung (inkl. LOIN-Tabelle)

Anlage 5: Mockup – Die Idee im Detail

Anlage 6: BIM & IoT – Demoversion