

Petrik, Dimitri; Stuber, Kim; Faßbaender, Lena; Lehmann, Jan; Widmann, Lena

Article — Published Version

Digitale Produktpässe zur Umsetzung der Twin Transformation in der Bauwirtschaft: Anforderungen und eine prototypische Implementierung

HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik

Suggested Citation: Petrik, Dimitri; Stuber, Kim; Faßbaender, Lena; Lehmann, Jan; Widmann, Lena (2026) : Digitale Produktpässe zur Umsetzung der Twin Transformation in der Bauwirtschaft: Anforderungen und eine prototypische Implementierung, HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik, ISSN 2198-2775, Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden, Vol. 63, Iss. 1, pp. 123-145, <https://doi.org/10.1365/s40702-025-01235-y>

This Version is available at:

<https://hdl.handle.net/10419/341880>

Standard-Nutzungsbedingungen:

Die Dokumente auf EconStor dürfen zu eigenen wissenschaftlichen Zwecken und zum Privatgebrauch gespeichert und kopiert werden.

Sie dürfen die Dokumente nicht für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, öffentlich zugänglich machen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Sofern die Verfasser die Dokumente unter Open-Content-Lizenzen (insbesondere CC-Lizenzen) zur Verfügung gestellt haben sollten, gelten abweichend von diesen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Terms of use:

Documents in EconStor may be saved and copied for your personal and scholarly purposes.

You are not to copy documents for public or commercial purposes, to exhibit the documents publicly, to make them publicly available on the internet, or to distribute or otherwise use the documents in public.

If the documents have been made available under an Open Content Licence (especially Creative Commons Licences), you may exercise further usage rights as specified in the indicated licence.



<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>



Digitale Produktpässe zur Umsetzung der Twin Transformation in der Bauwirtschaft: Anforderungen und eine prototypische Implementierung

Dimitri Petrik · Kim Stuber · Lena Faßbaender · Jan Lehmann · Lena Widmann

Eingegangen: 21. September 2025 / Angenommen: 8. Dezember 2025 / Online publiziert: 12. Januar 2026
© The Author(s) 2025

Zusammenfassung Mit der Ökodesignrichtlinie werden digitale Produktpässe (DPPs) zukünftig ein zentrales Instrument zur Förderung der Kreislaufwirtschaft in verschiedenen Domänen darstellen. Die Bauwirtschaft steht somit vor einer Twin Transformation und befindet sich in einem Wandel. Digitalisierung und Datendurchgängigkeit spielen dabei eine zentrale Rolle, um den steigenden Anforderungen der Nachhaltigkeitsregulierung gerecht zu werden. Dieser tiefgreifende Wandel ist in die übergeordneten Herausforderungen multipler Transformationen eingebettet, die technologische, ökologische und organisatorische Veränderungen miteinander verknüpfen. In diesem Beitrag wird die Frage behandelt, wie ein DPP-System für die Bauwirtschaft gestaltet sein muss, um Transparenz und Wiederverwendung über den gesamten Lebenszyklus von Gebäuden hinweg zu ermöglichen. Auf Basis einer systematischen Literaturanalyse werden zunächst acht Anforderungen aus regulatorischer, technologischer und branchenspezifischer Perspektive abgeleitet. Anschließend werden diese Anforderungen in die Entwicklung eines

✉ Dimitri Petrik · Kim Stuber

Graduate School of Excellence advanced Manufacturing, Engineering, Universität Stuttgart,
Nobelstr. 12, 70569 Stuttgart, Deutschland
E-Mail: Dimitri.petrik@gsame.uni-stuttgart.de

Kim Stuber

E-Mail: Kim.stuber@gsame.uni-stuttgart.de

Lena Faßbaender · Jan Lehmann · Lena Widmann

Abt. VIII: Wirtschaftsinformatik II, Universität Stuttgart, Keplerstr. 17, 70174 Stuttgart, Deutschland

Lena Faßbaender

E-Mail: st167899@stud.uni-stuttgart.de

Jan Lehmann

E-Mail: st190975@stud.uni-stuttgart.de

Lena Widmann

E-Mail: st188611@stud.uni-stuttgart.de

prototypischen DPP-Systems überführt. Die prototypische Umsetzung erfolgt in Form einer webbasierten Anwendung. Diese orientiert sich an einer hierarchischen Informationsstruktur und stellt Daten auf Gebäude-, Produkt-, Komponenten- und Materialebene bedarfsgerecht für die Akteure der Bauwirtschaft dar. Der Beitrag leistet einen praxisnahen Entwurf eines interorganisationalen Informationssystems zur Förderung der datengetriebenen Kreislaufwirtschaft in der Bauwirtschaft und schafft Gestaltungswissen für die künftige Umsetzung der Twin Transformation.

Schlüsselwörter Digitale Produktpässe · Materialpässe · Gebäudepässe · Passverwaltungssysteme · Gebäudeinformationsmanagement · Twin Transformation · Bauwirtschaft

Digital Product Passports for the Twin Transformation in the Construction Industry: Requirements and a Prototype Development

Abstract With the Ecodesign Directive digital product passports (DPPs) will serve as a key instrument for promoting the circular economy across various domains. The construction industry is thus facing a twin transformation and undergoing a change in which digitalization and data integration are key to meeting the growing demands of sustainability regulations. This fundamental shift is rooted in the broader challenges of multiple transformations, linking technological, ecological and organizational changes. This article addresses the question of how a DPP system for the construction industry must be designed to enable transparency and reuse throughout the life cycle of buildings. Based on a systematic literature analysis, eight requirements are first derived from a regulatory, technological, and industry-specific perspective. These requirements are then translated into the development of a prototype DPP system. The prototype is implemented as a web-based application. It is based on a hierarchical information structure that presents data at the building, product, component, and material levels as needed by the different actors in the construction industry. The article presents a practical design for an interorganizational information system that promotes data-driven circular economy in the construction industry and creates design knowledge for the future implementation of the twin transformation.

Keywords Digital product passports · Material passports · Building passports · Passport management systems · Building Information Management · Twin Transformation · Construction industry

1 Einleitung

Die Bauwirtschaft zählt mit einem massebezogenen Ressourcenverbrauch von etwa 40 % zu den weltweit ressourcenintensivsten Branchen (Heinrich und Lang 2020). Gleichzeitig ist sie für rund ein Drittel der von Menschen erzeugten CO₂-Emissionen sowie für 40 % des Abfallvolumens verantwortlich (Europäische Kommission 2024). Angesichts dieser erheblichen Emissionen hat sich Deutschland das Ziel ge-

setzt, den gesamten Gebäudebestand bis zum Jahr 2045 klimaneutral zu gestalten (Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen 2025).

Ein vielversprechender Ansatz zur Erreichung der Klimaneutralität ist die Kreislaufwirtschaft, die auf möglichst lange Nutzung von Produkten und Materialien setzt, um den Ressourcenverbrauch zu senken. So können auch in der Bauwirtschaft bspw. beim Rückbau rezyklierte Materialien oder Bauprodukte wiederverwendet werden (Okolo et al. 2024). Die Potenziale der Kreislaufwirtschaft werden jedoch durch unzureichende Informationen gehemmt (Jäger-Roschko und Petersen 2022). Da genaue Informationen über die Eigenschaften der Baumaterialien und -produkte erforderlich sind, eröffnet Digitalisierung der Bestandsdaten neue Möglichkeiten für die Umsetzung der Kreislaufwirtschaft. So wird die Kreislaufwirtschaft regulatorisch durch die Ecodesign for Sustainable Products Regulation (ESPR) unterstützt, die ab 2030 auch für Bauprodukte gilt (Europäische Union 2024a). Ein zentrales Instrument dieser Regulierung sind digitale Produktpässe (DPPs) zur Erfassung und Bereitstellung produktspezifischer Informationen über den gesamten Lebenszyklus. Die für die Bauindustrie relevante Verordnung zur Vermarktung von Bauprodukten 2024/3110 fordert ebenfalls DPPs (Europäische Union 2024b). Da DPPs verschiedene Informationen bündeln und zugänglich machen, wird erwartet, dass sie die Informationsbedürfnisse der Akteure in der Baubranche erfüllen. Auf diese Weise sollen sie zur Realisierung verschiedener klima- und ressourcenbezogener Zielsetzungen beitragen (Honic et al. 2019a; Çetin et al. 2023).

Die DPP-Einführung leistet nicht nur einen Beitrag zur Umsetzung der Kreislaufwirtschaft, sondern steht auch exemplarisch für die Manifestation der Twin Transformation. Darunter wird ein integrierter Ansatz verstanden, der digitale und nachhaltigkeitsbezogene Anforderungen gleichermaßen adressiert und Synergien erzeugt (Christmann et al. 2024; Hammerschmidt et al. 2025). Während datengetriebene Konzepte wie das Building Information Modeling (BIM) bereits ausreichend beforscht sind (Fauzi et al. 2025), ist die Forschung zu DPPs noch in einem frühen Stadium. Zwar gibt die Europäische Union (EU) allgemeine Ziele und Erwartungen an DPPs vor (Europäische Union 2024a), jedoch besteht Unsicherheit hinsichtlich der konkreten Umsetzung. Während Pilotprojekte vorrangig in der Batteriedomäne stattfinden, verstärken freiwillige, jedoch nicht standardisierte Pass-Initiativen in der Bauwirtschaft diese Unsicherheit (Çetin et al. 2023). Trotz erster Umsetzungsprinzipien (Heeß et al. 2024), allgemeiner Umsetzungsrichtlinien (Langley et al. 2023) sowie Anforderungen (Plociennik et al. 2022a) ist das Wissen über eine mehrwertstiftende Gestaltung der DPPs trotz des Handlungsdrucks seitens der Nachhaltigkeitsregulierungen noch unzureichend. Deshalb verfolgt der Beitrag das Ziel, Gestaltungswissen zu einem mehrwertstiftenden Einsatz der DPPs im Kontext in der Bauwirtschaft zu erarbeiten, um deren Umsetzung und damit die Twin Transformation der Bauwirtschaft zu unterstützen. Es ergeben sich folgende Forschungsfragen:

FF 1: Welche Anforderungen werden an DPP-Systeme in der Bauwirtschaft gestellt?

FF 2: Wie kann ein DPP-System für die Bauwirtschaft prototypisch gestaltet werden?

Zur Beantwortung der Forschungsfragen wurde die existierende Literatur systematisch analysiert, um Anforderungen an die Umsetzung von DPP-Systemen für die Bauwirtschaft abzuleiten. Die Anforderungen werden in eine prototypische Implementierung überführt. Der Anforderungskatalog und der Prototyp wurden mit zwei Experten der Bauwirtschaft evaluiert.

Der Beitrag folgt folgender Struktur. Im zweiten Abschnitt werden die Kreislaufwirtschaft, DPPs und verwandte datengetriebene Konzepte der Bauwirtschaft vorgestellt. Im dritten Abschnitt werden das Vorgehen der Literaturanalyse, der Prototypentwicklung sowie der Evaluation vorgestellt. Im vierten Abschnitt werden die Anforderungen und anschließend der Prototyp vorgestellt. Die anschließende Diskussion ordnet die gewonnenen Erkenntnisse in den wissenschaftlichen Kontext der Twin Transformation und des Informationsmanagements für die Kreislaufwirtschaft ein und leitet daraus Implikationen für Theorie und Praxis ab. Die Arbeit schließt mit einer kritischen Reflexion der Ergebnisse sowie einem Ausblick auf zukünftige Forschungsperspektiven.

2 Twin Transformation in der Bauwirtschaft

Dieser Abschnitt führt die Kreislaufwirtschaft und DPPs sowie verwandte datengetriebene Konzepte in der Bauwirtschaft ein, da deren synergetisches Zusammenspiel die Twin Transformation ausmacht.

2.1 Kreislaufwirtschaft

Die Kreislaufwirtschaft entstand als Antwort auf den exzessiven Verbrauch endlicher Ressourcen und die damit zusammenhängende Umweltwirkung. Die Ellen MacArthur Foundation, eine führende Wohltätigkeitsorganisation zur Verbreitung der Kreislaufwirtschaft, definiert sie als *„ein industrielles System, das bewusst und gezielt auf Wiederherstellung oder Regeneration ausgerichtet ist. Es ersetzt das End-of-Life-Konzept durch Wiederherstellung, verlagert sich auf die Nutzung erneuerbarer Energien, verzichtet auf den Einsatz giftiger Chemikalien, die die Wiederverwendung beeinträchtigen, und strebt die Beseitigung von Abfall durch die überlegene Gestaltung von Materialien, Produkten, Systemen und damit auch Geschäftsmodellen an“* (Ellen MacArthur Foundation 2013). Ziel ist es, das Abfallaufkommen zu minimieren, den ökologischen Fußabdruck der Ressourcengewinnung zu verringern und destruktive Konsum- und Produktionsgewohnheiten zu überwinden.

Angesichts der hohen Ressourcenintensität der Bauwirtschaft gilt die Kreislaufwirtschaft als vielversprechender Ansatz zur Reduktion von Umweltbelastungen (Benachio et al. 2020). Dabei geht es nicht nur um die Wiederverwendung von Baumaterialien nach dem Rückbau, sondern um einen ganzheitlichen Ansatz: Gebäude werden so konzipiert, dass Abfall und Emissionen vermieden werden, die Wiederverwendung von Bauprodukten gefördert wird und die Regeneration natürlicher Systeme erleichtert wird. In diesem Kontext integrieren Gebäude zirkuläre Prinzipien auf verschiedenen räumlich-zeitlichen Ebenen und berücksichtigen nach Möglichkeit auch wirtschaftliche und soziale Aspekte. Gebäude, ihre Komponen-

ten und Materialien erhalten vielfältige Verwendungsmöglichkeiten am Ende ihres ersten Lebenszyklus (Malabi Eberhardt et al. 2020). Gebäude sollen als „Materialbanken“ verstanden werden, die so gestaltet sind, dass sie sich leicht demontieren oder zurückbauen lassen, um ihre Bestandteile in neuen Bauvorhaben wiederzuverwenden (Honic et al. 2019a).

In der Praxis wird das Schließen von Kreisläufen jedoch häufig durch Unsicherheiten hinsichtlich der Herkunft, Qualität und Eignung der Materialien oder Bauprodukte erschwert da keine ausreichende Dokumentation vorliegt (Hobbs und Adams 2017). Informationen fehlen insbesondere bei älteren Bestandsgebäuden. Hinzu kommen Datenbrüche zwischen den Akteuren entlang der Bauwertschöpfungskette, da Gebäude in der Regel bei einmaligen Projekten mit einer Vielzahl beteiligter Zulieferer entstehen, was die Komplexität der Informationsbeschaffung erhöht (Benachio et al. 2020). Diese Probleme können durch eine digitale lebenszyklusorientierte Dokumentation relevanter Eigenschaften adressiert werden, die Daten für Entscheidungen über Wiederverwendungsprozesse in der Bauwirtschaft bereitstellt.

2.2 Digitale Produktpässe und verwandte Konzepte

Für Bauprodukte ist die verpflichtende Einführung ab Mitte 2028 geplant. Dies ergibt sich aus Artikel 75 der EU-Bauprodukteverordnung, die am 7. Januar 2025 in Kraft trat und als Teil des European Green Deal nachhaltiges Bauen fördern soll. (Europäische Union 2024a) Gleichzeitig schreibt die Verordnung zur Vermarktung von Bauprodukten 2024/3110 die Einführung von DPPs für Bauprodukte vor (Europäische Union 2024b). Der genaue Starttermin für DPPs für Bauprodukte hängt vom Erlass der technischen Umsetzungsakte ab, die laut dem Zentralverband Deutsches Baugewerbe bis Ende 2026 zu erwarten ist (Wörrle 2025). Demnach wird *„Die ESPR ... einen digitalen Produktpass (DPP) einführen, einen digitalen Ausweis für Produkte, Komponenten und Materialien, in dem relevante Informationen gespeichert werden, um die Nachhaltigkeit von Produkten zu unterstützen, ihre Kreislaufwirtschaft zu fördern und die Einhaltung gesetzlicher Vorschriften zu stärken. Diese Informationen werden elektronisch zugänglich sein, sodass Verbraucher, Hersteller und Behörden leichter fundierte Entscheidungen in Bezug auf Nachhaltigkeit, Kreislaufwirtschaft und Einhaltung gesetzlicher Vorschriften treffen können. Außerdem können Zollbehörden damit automatisch die Existenz und Echtheit der DPPs importierter Produkte überprüfen“* (Europäische Union 2024a).

Ein DPP soll also Daten für ein eindeutig identifizierbares Produkt über den Produktlebenszyklus in einem Datenmodell organisieren. Zusätzlich sollen diese Daten über ein elektronisches Medium für verschiedene Akteure zugänglich gemacht werden. Es wird erwartet, dass Daten rund um die Produktidentifikation, Produktherkunft sowie Zusammensetzung, Nutzung und Wartung, Anleitungen, Rückwärtslogistik, Umweltwirkung und Compliance in DPPs zu erfassen sind (Jensen et al. 2023). Dafür ist es notwendig die Wertschöpfungskette in die Versorgung von DPPs mit Primärdaten einzubinden: von der Materialbeschaffung über den Bau bis hin zum Gebäudebetrieb und Abbruch (King et al. 2023). Daten zur Materialzusammensetzung jedes Bauprodukts können Entscheidungen über die Wiederverwertung

steuern, sodass DPPs als Instrument der ökologischen Optimierung in allen Lebensphasen eines Produkts verstanden werden können. Aufgrund regulatorischer Pflicht zur Offenlegung bestimmter Daten wird erwartet, dass DPPs die Transparenz in verteilten Wertschöpfungsketten erhöhen, zirkuläres Bauen und die Wiederverwendung von Baustoffen erleichtern sowie eine nachhaltige Beschaffung fördern (Çetin et al. 2023; Zhang und Seuring 2024; Gieß und Möller 2025).

DPPs sind jedoch von freiwilligen Vorläuferinitiativen der Bauwirtschaft zu unterscheiden. Ein verwandter Ansatz in der Baubranche ist der Materialpass (MP), der aus dem EU-Projekt „Buildings as Material Banks“ hervorging (Honic et al. 2019a). MPs sind *„(digitale) Datensätze, die definierte Eigenschaften von Materialien und Komponenten in Produkten und Systemen beschreiben, die ihnen einen Wert für die derzeitige Verwendung, Rückgewinnung und Wiederverwendung verleihen“* (Mulhall et al. 2017). Ein weiteres komplementäres Konzept sind digitale Baulogbücher (DBL) (Çetin et al. 2023). Ein DBL ist ein *„gemeinsamer Speicherort für alle relevanten Gebäudedaten. Es fördert Transparenz, Vertrauen, fundierte Entscheidungsfindung und den Informationsaustausch innerhalb der Baubranche, zwischen Gebäudeeigentümern und -nutzern, Finanzinstituten und Behörden.“* (Europäische Kommission 2020). Die DBLs sind ein Ansatz im Rahmen der EU-Strategie zur Digitalisierung des Gebäudebestands. Ein DBL kann mehrere DPPs oder MPs enthalten, aus denen ein Gebäude besteht, ist jedoch im Unterschied zu DPPs nicht domänenübergreifend standardisiert und bislang nicht verpflichtend.

Außerdem darf BIM nicht unerwähnt bleiben, da es bei der Vergabe öffentlicher Aufträge für den Bundesinfrastrukturbau und den infrastrukturbezogenen Hochbau in Deutschland bereits verpflichtend ist. BIM bezeichnet ein digitales Modellierungswerkzeug, das alle relevanten Bauwerksdaten in einem zentralen, dreidimensionalen Modell zusammenführt. Das Gebäudemodell wird in BIM auf der Grundlage eines Modellierungsleitfadens und mit vordefinierten Bauelementen erstellt, die in einer Vorlage bereitgestellt werden (Honic et al. 2019b; Jablonski et al. 2025).

All diese Konzepte verdeutlichen, dass digital zugängliche Daten essenziell für die Umsetzung von nachhaltigen Aktivitäten und damit die Twin Transformation in der Bauwirtschaft sind (Markou et al. 2025). Die Bereitstellung von Daten in DPPs dient unmittelbar der ökologischen Optimierung von Bauprozessen und -produkten und verkörpert einen konkreten Ausdruck der Twin Transformation in der Bauwirtschaft. Die DPPs sind jedoch mehr als nur Daten. Sie sind in Informationssysteme eingebettet und benötigen IT-Systeme, um die Datenversorgung der DPPs zu steuern und die Zugriffe verschiedener Akteure auf die Daten zu verwalten (Ducuing und Reich 2023; Wiesner et al. 2024). Das Backend dieser Systeme übernimmt die Verarbeitung von Anfragen und verwaltet die Zugriffsrechte, um sicherzustellen, dass die im DPP gespeicherten Daten korrekt bereitgestellt werden. Das Frontend

Tab. 1 Abgrenzung datengetriebener Konzepte in der Baubranche

	BIM	Materialpass	DPP	Digitales Logbuch
Zweck	Modellierung	Bereitstellung strukturierter Informationen		
Bezugsobjekt	Bauprojekt	Material	Bauprodukt	Gebäude
Benötigt	–	DPP System		

ist eine interaktive Benutzerschnittstelle zur Visualisierung der Informationen aus dem DPP (Belova et al. 2025). Diese IT-Systeme werden folgend als DPP-Systeme genannt und die nachfolgenden Anforderungen sowie der Prototyp beziehen sich auf die Gestaltung solcher DPP-Systeme. Tab. 1 grenzt die datengetriebenen Konzepte der Twin Transformation in der Baubranche ab.

3 Methodik

In diesem Abschnitt wird das methodische Vorgehen beschrieben. Zunächst wird die systematische Literaturanalyse zur Ableitung der Anforderungen an DPP-Systeme erläutert. Anschließend werden die Entwicklung des prototypischen DPP-Systems sowie die durchgeführte Expertenevaluation vorgestellt.

3.1 Systematische Literaturanalyse

Zur Erarbeitung eines fundierten Verständnisses über die Gestaltung der DPPs in der Bauwirtschaft wurde eine systematische Literaturanalyse nach von Vom Brocke et al. (2009) durchgeführt. Ziel dieser Analyse war es, die vorhandenen wissenschaftlichen Erkenntnisse zu DPPs und verwandten Konzepten wie Materialpässen oder digitalen Baulogbüchern systematisch zu identifizieren, zu analysieren und zu integrieren. Im Mittelpunkt stand dabei die Frage, welche funktionale Anforderungen und Qualitätsattribute an DPPs sich aus der regulatorischen, technologischen und branchenspezifischen Perspektive ableiten lassen, nicht jedoch die Entwicklung einer Forschungsagenda. Diese drei Perspektiven ergeben sich aus den zentralen Triebkräften hinter den DPPs: die EU-Vorgaben; die digitale Beschaffenheit und die Besonderheiten der Bauwirtschaft, die DPPs umsetzen muss.

Die Literatursuche erfolgte im Juli 2025 in sechs wissenschaftlichen Datenbanken mit folgendem Suchstring, um DPPs sowie verwandte Konzepte zu berücksichtigen: *((„digital product“ OR „material“ OR „building“) AND passport) OR „digital log-book“*.

Aufgrund der Neuartigkeit der Konzepte wurde keine zeitliche Einschränkung bei der Literatursuche vorgenommen. Potenzielle passende Publikationen wurden auf Basis von Titeln und Abstracts identifiziert und gescreent. Nur peer-reviewte Journal- und Konferenzpublikationen wurden in die Analyse eingeschlossen, die konkrete Anforderungen, Gestaltungsprinzipien oder Herausforderungen im Zusammenhang mit DPPs, Materialpässen oder digitalen Baulogbüchern adressieren. Duplikate verschiedener Datenbanken wurden eliminiert. In den Titeln, Abstracts und Volltexten wurde nach den bereits bekannten Anforderungen, Gestaltungsprinzipien und -empfehlungen sowie Problemen und Herausforderungen gesucht (deduktive Kategorien). Generische Publikationen ohne ausreichende Spezifikationstiefe wurden ausgeschlossen. Zudem wurden die Erwartungen der Regulatoren an DPPs analysiert, da sie als Restriktionen den Lösungsraum der DPPs definieren. Ergänzend kamen eine Vorwärts- und Rückwärtssuche sowie regulatorische Texte der EU zur Ökodesignrichtlinie und zur Bauverordnung als relevante Quellen hinzu (Europäische Union 2024a, b). Der Ablauf ist in Tab. 2 dargestellt.

Tab. 2 Ablauf der Literatursuche

Datenbank	Initialer Suchstring	Titel Screening	Entfernung der Duplikate	Abstract Screening	Relevante Paper
EBSCOhost*	63	63	125	299	19
Web of Science*	441	240			
ScienceDirect*	182	61			
IEEE Explore*	186	52			
ACM*	1242	1			
AiSeL	402	7			
Summe	2516	424			
–	–	–	–	Rückwärtssuche	3
–	–	–	–	Vorwärtssuche	0
–	–	–	–	Regulatorische Texte	2
–	–	–	–	Summe	24

*Filterung auf Titel, Abstract und Keywords

Basierend auf einer konzept-zentrischen Inhaltsanalyse wurde der Literaturkorpus nach den zuvor genannten Kategorien durchsucht (Webster und Watson 2002). Die identifizierten Ergebnisse wurden thematisch geclustert (z. B. verschiedene Erkenntnisse zum regulatorischen Bezug bildeten eine Kategorie). Diese Kategorien bildeten anschließend den Input für die Ableitung von funktionalen Anforderungen und Qualitätsattributen (Glinz 2007). Die Anforderungsbildung folgte folgendem Vorgehen: Während die Ergebnistypen (z. B. Anforderungen Herausforderungen, Gestaltungsempfehlungen) deduktive Kategorien bildeten, wurde deren Inhalt induktiv in verschiedene Anforderungen überführt. Der Kodierungsprozess wurde von zwei unabhängigen Gruppen innerhalb des Forschungsteams durchgeführt. Tab. 3 enthält zwei beispielhafte Textstellen (direkte und indirekte Hinweise) die veranschaulichen, wie die Anforderungen aus dem Literatursample abgeleitet wurden.

3.2 Prototypentwicklung und empirische Evaluation

Die Anforderungen bildeten den Input für einen Prototyp eines DPP-Systems. Der Prototyp wurde als eine Webanwendung umgesetzt, die eine strukturierte Erfassung

Tab. 3 Beispielhafte Textstellen zur Nachvollziehbarkeit des Analyseprozesses

Textstellen	Codes	Anforderungen
„In order to provide data for the DPP (1), a database must be available (2). This information come from a variety of sources (3). From operational data during production to energy consumption and data from MES or ERP systems“ (Ajdinović et al. 2024)	(1) Begründung (2) Quellsystem (3) Vielzahl relevanter Quellsysteme	Integration mit Quellsystemen
„... MPs are typically operated on an online platform (e.g., Madaster, Cirdax, Concular, etc.), where data from BIM or product data spreadsheets (1) are fed into the system to create material-related circularity indices (2).“ (Çetin et al. 2023)	(1) BIM als Quellsystem (2) Begründung	Integration mit BIM

und Visualisierung von Produktinformationen entlang der Wertschöpfungskette im Bauwesen ermöglicht. Die Entwicklung erfolgte unter Einsatz aktueller Webtechnologien, um Nutzern eine interaktive Arbeit mit den DPP-Daten zu ermöglichen:

- *Vite* diene als Build- und Entwicklungsserver.
- *TypeScript* wurde als Typsystem für JavaScript verwendet, um die komplexe Datenstruktur (z. B. Attribute auf Gebäude-, Produkt-, Komponenten- und Materialebene) konsistent zu halten.
- *React* bildete die Grundlage für die komponentenbasierte Architektur der Anwendung.
- *shadcn/ui* wurde als UI-Komponentenbibliothek genutzt, um zugängliche und visuell konsistente Interaktionselemente zu integrieren.
- *Tailwind CSS* diene zur Gestaltung einer interaktiven Benutzeroberfläche.

Zum Schluss wurden der Prototyp und der Anforderungskatalog zwei Experten aus der Bauwirtschaft präsentiert, um die Validität und Vollständigkeit der Anforderungen sicherzustellen. Einer der Experten ist auf Digital Real Estate spezialisiert und verfügt über ausgewiesene BIM-Expertise, während der andere Experte als Head of Product Management bei einem digitalen Plattformunternehmen der Baubranche tätig ist. Beide Experten verfügen über mehrjährige Branchenerfahrung und haben die EU-Gesetzgebung mit der DPP-Pflicht genauso im Blick wie die Nachhaltigkeitsinitiativen in der Branche. Zum Einsatz kam ein vorab vorbereiteter Interviewleitfaden mit Fragen zur praktischen Relevanz und Vollständigkeit der Anforderungen (z. B. Einsatz bestehender Materialpass- oder DPP-Systeme, Bedeutung von BIM-Systemen im Geschäftsalltag, Stand der Datenstandardisierung, Nachfrage nach DPP-Lösungen in der Branche), zur Einordnung des gezeigten Prototyps in den jeweiligen Unternehmenskontext sowie zur Angemessenheit der Datenorganisation und der präsentierten Datenkategorien. Ergänzend wurden die Experten gebeten, zu jeder Anforderung eine Rückmeldung zu geben, ob diese im Baukontext hinreichend, relevant oder lückenhaft ist, und ob zusätzliche funktionale Aspekte berücksichtigt werden sollten. Die Interviews zielten somit nicht nur auf eine bestätigende Einschätzung, sondern auf die Identifikation von Lücken und die Priorisierung praxisrelevanter Funktionen ab. Das Feedback führte zur Konkretisierung der Datenquellen und der in der Baubranche eingesetzten Datenstandards, zu einer besseren Differenzierung der relevanten Umweltkennzahlen und zur Ergänzung relevanter Rollen (insb. im Kontext des öffentlichen Beschaffungswesens).

4 Ergebnisse

In diesem Kapitel werden zunächst die aus der Literatur abgeleiteten Anforderungen (engl.: Requirements, abgekürzt R) an DPP-Systeme in der Bauwirtschaft präsentiert. Anschließend wird gezeigt, wie diese Anforderungen in die Umsetzung des prototypischen DPP-Systems überführt wurden.

4.1 Anforderungen an digitale Produktpässe

Insgesamt wurden acht Anforderungen aus der Literatur abgeleitet wie in Tab. 4 dargestellt.

Folgend werden nur zentrale Quellen aus der Tab. 4 für die jeweiligen Anforderungen angegeben.

R1: Hierarchische Organisation und Verknüpfung von Daten entlang der baulichen Struktur In der Bauwirtschaft müssen Daten zu Herkunft und Zusammensetzung von Materialien über verschiedene Hierarchieebenen wie Gebäude, System, Produkt, Komponente und Material erfasst und verknüpft werden, um die Komplexität moderner Bauprojekte digital abzubilden und einzelne Objekte im Gesamtkontext eines Bauwerks bewerten zu können (Honic et al. 2019b). Ein Beispiel: Beton und Dämmstoffe bilden die Komponenten einer Wand, die wiederum Teil eines Fassadenelements ist, welche einem Teilsystem oder dem gesamten Gebäude zugeordnet sind.

Tab. 4 Verteilung der Anforderungen in der Literatur

Anforderungen/Autoren	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8
<i>Ajdinović et al. (2024)</i>	–	X	–	X	–	–	–	X
<i>Belova et al. (2025)</i>	–	X	X	–	X	X	X	X
<i>Çetin et al. (2023)</i>	X	X	–	–	–	–	X	–
<i>Chaudhuri et al. (2025)</i>	–	–	X	–	–	X	–	–
<i>Ducuing und Reich (2023)</i>	–	–	–	–	–	X	X	–
<i>Haupt et al. (2024)</i>	–	–	–	–	X	–	–	–
<i>Heeß et al. (2024)</i>	–	–	–	X	–	X	–	–
<i>Honic et al. (2019a)</i>	X	X	X	–	–	–	–	–
<i>Honic et al. (2019b)</i>	–	X	–	X	X	–	X	X
<i>Jung et al. (2024)</i>	–	–	X	–	–	–	–	–
<i>King et al. (2023)</i>	–	–	–	X	–	–	X	–
<i>Langley et al. (2023)</i>	–	X	X	X	–	–	X	X
<i>Markou et al. (2025)</i>	X	X	X	–	–	–	–	–
<i>Monteiro et al. (2024)</i>	–	X	–	X	–	–	–	–
<i>Morellini et al. (2025)</i>	–	X	–	–	–	–	X	–
<i>Plociennik et al. (2022a)</i>	–	–	X	–	–	–	–	X
<i>Plociennik et al. (2022b)</i>	–	–	X	–	X	–	–	–
<i>Plociennik et al. (2024)</i>	–	–	–	–	X	–	–	X
<i>Pohlmann et al. (2024)</i>	–	–	–	–	X	–	–	–
<i>Sanchez et al. (2024)</i>	X	X	X	–	–	–	–	–
<i>Wan und Jiang (2025)</i>	–	–	–	–	–	X	X	–
<i>Wiesner et al. (2024)</i>	X	–	X	X	–	X	X	–
<i>Europäische Union (2024a)</i>	X	X	X	–	X	X	–	X
<i>Europäische Union (2024b)</i>	X	X	–	–	–	–	–	X

DPP-Systeme müssen in der Lage sein, Daten entlang der typischen Struktur von Bauwerken hierarchisch zu organisieren und zu verknüpfen (Çetin et al. 2023; Markou et al. 2025). Diese hierarchische Datenarchitektur ist entscheidend für nachgelagerte Prozesse wie Rückbauplanung, Recyclingstrategien oder die Berechnung von CO₂-Emissionen für Bauprojekte/Gebäude. Ohne diese strukturierte Verknüpfung würden wichtige Informationen fragmentiert vorliegen und könnten weder für die Planung noch für die Bewertung von Wiederverwendungspotenzialen sinnvoll genutzt werden (Sanchez et al. 2024; Wiesner et al. 2024). Die Anforderung leitet sich also aus der baulichen Realität ab, denn nur wenn Daten einzelner Objekte in Relation zueinander organisiert sind, können DPP-Systeme Transparenz schaffen und fundierte Nachhaltigkeitsentscheidungen unterstützen.

R2: Systemintegration mit Building Information Management Systemen Im BIM lassen sich alle Bauelemente klassifizieren, sodass bereits in der Planungsphase eines Bauprojekts durch die Erstellung eines digitalen Modells eine umfassende digitale Repräsentation des Gebäudes mitsamt einzelner Bauelemente ermöglicht wird. Mit dem Modell können Bauprozesse, Kosten und verwendete Materialien überwacht und später (etwa bei Audits) nachvollzogen werden (Okolo et al. 2024; Ajdinović et al. 2024; Belova et al. 2025). Durch eine bidirektionale Verknüpfung von DPP-Systemen mit BIM lassen sich redundante Datenerfassung und Fehlerquellen vermeiden. Die in BIM modellierten Objekte können verschiedene Kontextdaten entlang der hierarchischen baulichen Struktur bereitstellen, um über eindeutige Identifikatoren die Daten im DPP-System anzureichern.

Ein Beispiel: Ein Hersteller von Bauprodukten wird gesetzlich verpflichtet die Materialstücklisten in DPPs zu übermitteln. Ein BIM kann zusätzlich geometrische Informationen liefern. Die Kombination schafft einen Mehrwert für Umweltbewertungen, Rückbauplanung und Facility Management. Wenn ein BIM zusätzlich über Funktionalitäten der Lebenszyklusanalyse verfügt (Honic et al. 2019a, b) dann können zusätzliche Informationen wie z. B. zu CO₂-Emissionen oder zu Recyclingmöglichkeiten einzelner Bauelemente hinterlegt werden. Das BIM-Modell stellt also eine wichtige Datenquelle für das DPP-System für alle Akteure entlang der Wertschöpfungskette dar.

Gebäude sind jedoch keine statischen Objekte. Wenn bspw. im Zuge von Sanierungen Materialien ergänzt oder ersetzt werden (etwa durch emissionsärmere Produkte), müssen die DPP-Daten ins BIM übertragen werden. Nur so bleibt das digitale Modell verlässlich für Audits, Gebäudebetrieb und Rückbauplanung (Sanchez et al. 2024). Die Möglichkeit über den Lebenszyklus eines Gebäudes die Daten im DPP aus dem BIM zu aktualisieren und umgekehrt erzeugt den Mehrwert eines DPP-Systems über die gesetzliche Compliance hinaus.

R3: Semantische Standardisierung zur Sicherstellung interoperabler DPPs

Um die Zusammenarbeit der heterogenen Akteure im Bauwesen effektiv zu unterstützen, genügt die Bereitstellung technischer Schnittstellen allein nicht. Entscheidend ist die eindeutige und domänenübergreifende Interpretierbarkeit der Daten. Uneinheitliche Begriffsverwendungen bei Materialbezeichnungen, Emissionswerten

oder Produktherkünften führen zu Dateninkonsistenzen, Missverständnissen und eingeschränkter Automatisierbarkeit (z. B. durch proprietäre BIM-Systeme).

Ein semantisch interoperables DPP-System sollte daher auf standardisierten Vokabularen, Ontologien und Datenmodellen basieren. Industry Foundation Classes (IFC) sind nach ISO standardisierte Beschreibungen der Baubranche für den Datenexport aus BIM (Sanchez et al. 2024; Markou et al. 2025). Sie sind also unerlässlich für geometrische und planerische Informationen. Zusätzlich ist es denkbar die Asset Administration Shell (AAS), wie sie im Rahmen von Industrie 4.0 spezifiziert wird, einzusetzen. Die AAS ermöglicht die strukturierte Beschreibung eines physischen oder digitalen Assets durch standardisierte Submodelle (z. B. für CO₂-Emissionen, Wartungshistorie, regulatorische Nachweise) (Plociennik et al. 2022a, b; Langley et al. 2023). Durch die Einbettung beider semantischer Standardisierungsansätze entsteht die Grundlage für die maschinelle Vergleichbarkeit, Weitergabe und Verknüpfung von Produktdaten entlang komplexer Bauprozesse, die von verschiedenen Akteuren der Wertschöpfungskette bearbeitet werden (Belova et al. 2025; Wiesner et al. 2024). Insbesondere angesichts der Vielzahl von BIM-Systemen und der gesetzlichen Pflicht zur DPP-Erstellung auch für internationale Hersteller ist eine solche semantische Standardisierung von Datenattributen unverzichtbar, um Interoperabilität und Compliance zu sichern (Markou et al. 2025).

R4: Automatisierte Generierung von DPPs Ein DPP-System sollte Pässe automatisch erstellen, aktualisieren und validieren können. Dadurch werden Aufwände der Datenhaltung reduziert und die Datenqualität gesichert, um komplexe Objekte wie Bauwerke realitätsgetreu digital abzubilden. So kann z. B. eine Materialänderung während einer Sanierung oder ein Wartungseintrag über den Lebenszyklus automatisch im DPP reflektiert werden. Ergänzt durch IoT-Sensorik eröffnet dies das Potenzial für eine kontinuierliche, kontextbezogene Erweiterung des DPP. Ziel ist es möglichst aktuelle und wahrheitsgemäße DPP-Daten und Umweltkennzahlen bereitzustellen, ohne aufwändige manuelle Datenaggregation (Honic et al. 2019b; Monteiro et al. 2024). Die Generierung kann workflow- oder ereignisbasiert erfolgen. Dies ist die Voraussetzung dafür, dass bei Planungsänderungen, Sanierungen oder Rückbauereignissen in Bauprojekten relevante Informationen automatisch übernommen werden (Ajdinović et al. 2024; Wiesner et al. 2024). Dazu müssen DPP-Systeme Daten aus vor- und nachgelagerten IT-Systemen wie BIM, Materialdatenbanken, Environmental-Product-Declaration-(EPD)-Datenbanken extrahieren und gemäß regulatorischen Anforderungen strukturieren.

R5: Integration von Umweltkennzahlen Vor dem Hintergrund regulatorischer Vorgaben (z. B. ESPR, Bauproduktverordnung) und freiwilliger Initiativen (wie Green Public Procurement) gewinnt die ökologische Bewertung von Bauprodukten an Relevanz. Planer:innen, Bauherr:innen und Vergabestellen benötigen dafür standardisierte, transparente Umweltinformationen auf Basis anerkannter Methoden wie der Lebenszyklusanalyse (LCA) (Haupt et al. 2024; Plociennik et al. 2022b, 2024).

Ein DPP-System muss daher relevante Umweltkennzahlen semantisch eindeutig abbilden und maschinenlesbar bereitstellen. Dazu gehören LCA-basierte Indikatoren (z. B. Global Warming Potential als CO₂-Äquivalent und der Primärenergiever-

brauch) sowie Rezyklatanteile. Durch ihre Integration lassen sich ökologische Auswirkungen von Materialien vergleichen, regulatorische Anforderungen überprüfen und Nachhaltigkeitsziele datenbasiert nachweisen – etwa für ESG-Reporting oder für Green-Building-Zertifizierungen (z. B. DGNB, BREEAM). Besonders im öffentlichen Beschaffungswesen sowie bei Audits und Umweltzertifizierungen sind solche Kennzahlen unverzichtbar, da sie Transparenz schaffen und fundierte Entscheidungen über Materialauswahl, Wiederverwendung oder Substitution ermöglichen. Um diese Funktion zu erfüllen, muss das DPP-System externe Datenquellen wie LCA-Software oder EPD-Datenbanken integrieren da nur so eine nachvollziehbare und vergleichbare ökologische Bewertung möglich wird (Honic et al. 2019b; Haupt et al. 2024; Pohlmann et al. 2024; Plociennik et al. 2024).

R6: Validierung der Daten Damit DPPs von den Akteuren der Bauwirtschaft als vertrauenswürdig wahrgenommen werden, müssen die enthaltenen Daten nicht nur vollständig, sondern auch korrekt und manipulationssicher sein. Eingabefehler oder Datenübertragungsfehler sowie bewusste Manipulationen untergraben die Glaubwürdigkeit des ganzen Systems. Entsprechend sollten DPP-Systeme über Mechanismen zur Validierung und Plausibilisierung verfügen (Ducuing and Reich 2023; Heeß et al. 2024; Wiesner et al. 2024). Dazu zählen bspw. automatisierte Dateneingangvalidierungen auf Vollständigkeit und Formatkonformität, kontextbasierte Plausibilitätsprüfungen (z. B. falsche Vorzeichen und sonstige manipulationssichere Schutzmechanismen (Belova et al. 2025; Wan und Jiang 2025)).

R7: Kollaborationsorientierte, rollenadaptive Informationsvisualisierung Hersteller, Architekturbüros, Bauunternehmen, Auditor:innen und Regulierungsbehörden benötigen verlässlichen, konsistenten Zugriff auf nachhaltigkeitsrelevante Informationen. Ein DPP-System muss daher die Zusammenarbeit entlang der am Bau beteiligten gesamten Wertschöpfungskette aktiv unterstützen (King et al. 2023; Wiesner et al. 2024). Damit die Informationen jedoch nicht nur maschinell lesbar, sondern auch für Entscheider:innen verständlich sind, ist eine rollenadaptive Visualisierung der Daten erforderlich. Architekt:innen in der Planungsphase, Bauleiter:innen auf der Baustelle oder Auditor:innen bei der Zertifizierung benötigen unterschiedliche Informationen (Çetin et al. 2023; Wan und Jiang 2025). Während Hersteller technische Produktdetails benötigen, interessieren sich Auditor:innen für Umweltindikatoren, und öffentliche Stellen benötigen verlässliche Kennzahlen und Zertifikate für Vergabeentscheidungen.

Eine filterbare Benutzeroberfläche, die zwischen Projekt-, Produkt-, Komponenten- und Materialebene unterscheidet, kann diese vielfältigen Informationsbedarfe adressieren. Ergänzend zu den regulatorisch geforderten Informationen, ermöglichen differenzierte Datenzugriffsberechtigungen eine bedarfsgerechte Bereitstellung freiwillig geteilter Zusatzinformationen ohne dabei gesetzlich geschützte Interessen zu verletzen. Erst wenn Daten rollenbasiert bereitgestellt und zielgruppenspezifisch aufbereitet sind (Ducuing und Reich 2023; Wan und Jiang 2025; Morellini et al. 2025; Wiesner et al. 2024), entfalten DPPs ihr Potenzial als Entscheidungsgrundlage im Rahmen der Twin Transformation der Bauwirtschaft.

R8: Erweiterbarkeit für technologische und regulatorische Zukunftssicherheit

Ein DPP muss die von der EU vorgegebenen Attribute erfassen, um regulatorische Compliance sicherzustellen (Europäische Union 2024a, b). Da Umfang, Datenpunkte und Interoperabilitätsstandards künftig weiterentwickelt werden, muss ein DPP-System technologisch wandelbar sein, um regulatorischen Veränderungen dauerhaft gerecht zu werden (Langley et al. 2023). Dazu zählt auch die flexible Anbindung externer Schnittstellen (APIs), etwa für automatisiertes Reporting an regulatorische Register (wie das DPP-Register) oder den Datenaustausch mit anderen inter-organisationalen Informationssystemen wie Madaster.

Die Erweiterbarkeit umfasst zwei Dimensionen. Im Rahmen der technologischen Erweiterbarkeit müssen DPP-Systeme in der Lage sein neue Datenquellen, Formate und Indikatoren einzubinden. IoT-Sensordaten aus Gebäuden bspw. können künftig zur Erfassung von Feuchtigkeit integriert werden. Nur so kann das System dem Konzept eines „Passes“ gerecht werden, der relevante Ereignisse über den Lebenszyklus eines Gebäudes dokumentiert. Im Rahmen der regulatorischen Erweiterbarkeit müssen DPP-Systeme auf die sich ändernden Vorschriften z. B. durch die Integration neuer Pflichtdatenpunkte, Zertifikate oder Nachhaltigkeitsindikatoren reagieren können. Diese Anpassungsfähigkeit setzt erweiterbare Datenmodelle und hybride Datenbankarchitekturen voraus (Plociennik et al. 2024): Graphdatenbanken ermöglichen die flexible Abbildung semantischer Beziehungen, während Zeitreihendatenbanken für die effiziente Speicherung dynamischer Zustandsdaten geeignet sind. Diese beispielhafte Kombination beider Datenbanktypen gewährleistet die Erweiterbarkeit von DPP-Systemen, sodass diese anschlussfähig an neue regulatorische Vorgaben und offen für die Integration neuer Technologien bleiben.

4.2 Prototypischer Aufbau eines Systems für digitale Produktpässe

Der entwickelte webbasierte Prototyp dient der Visualisierung zentraler Anforderungen eines DPP-Systems in der Bauwirtschaft. Der Fokus liegt bewusst auf der frontseitigen Darstellung und Interaktion mit DPP-Daten. Der Prototyp demonstriert somit die Umsetzung der Anforderungen R1, R3, R5, R7, R8. Die Integration mit BIM (R2), die automatisierte Generierung der DPPs (R4) sowie die Validierungsmechanismen (R6) sind hingegen als konzeptionelle Erweiterung im Datenmodell und in der Architektur vorgesehen, jedoch nicht vollständig implementiert.

Den Einstieg in den Prototyp bietet ein Dashboard, das als Ergebnis einer Datenabfrage verschiedene Bauprojekte als Infokacheln mit zentralen Kacheln und Statusinformationen darstellt und anhand der Statusinformationen ordnet.

Über projektbezogene Karten werden Details wie Standort, Bauherr:in, Projektlaufzeit und Fortschrittskennzahlen visualisiert. So können Bauherr:innen den Fortschritt einzelner Bauvorhaben sowie den Anteil recycelter Materialien möglichst echtzeitnah nachvollziehen. Sieben der zuvor vorgestellten Anforderungen werden ausgehend von der Einstiegsebene über weitere Ebenen umgesetzt.

Das Dashboard in Abb. 1 bietet eine filterbare, nutzerfreundliche Übersicht, die je nach Account unterschiedliche Informationsbedarfe flexibel adressieren kann (z. B. Projektstatus für Bauherr:innen, Umweltkennzahlen für Auditor:innen) und somit die rollenadaptive Visualisierung (R7) bietet. Fortschrittsanzeigen und Rezyklat-

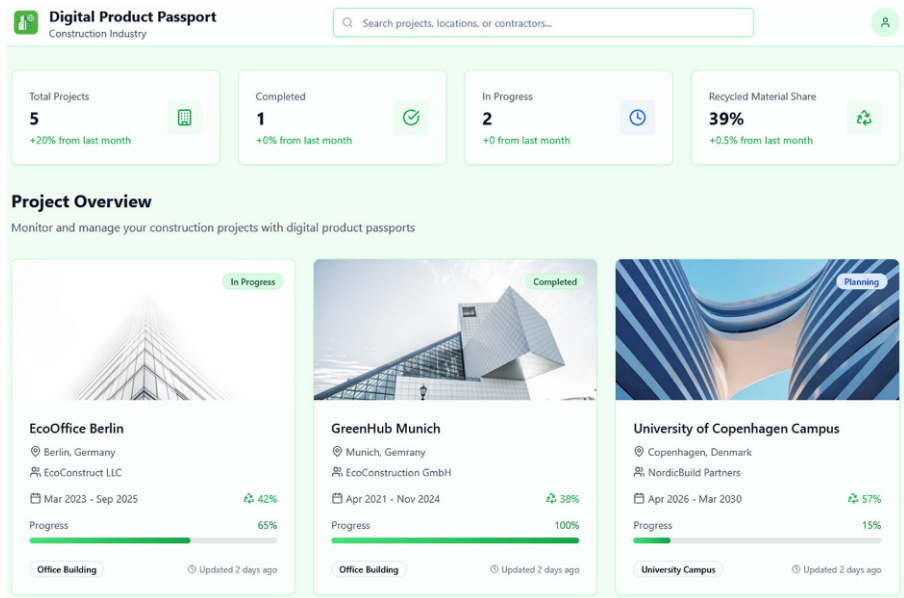


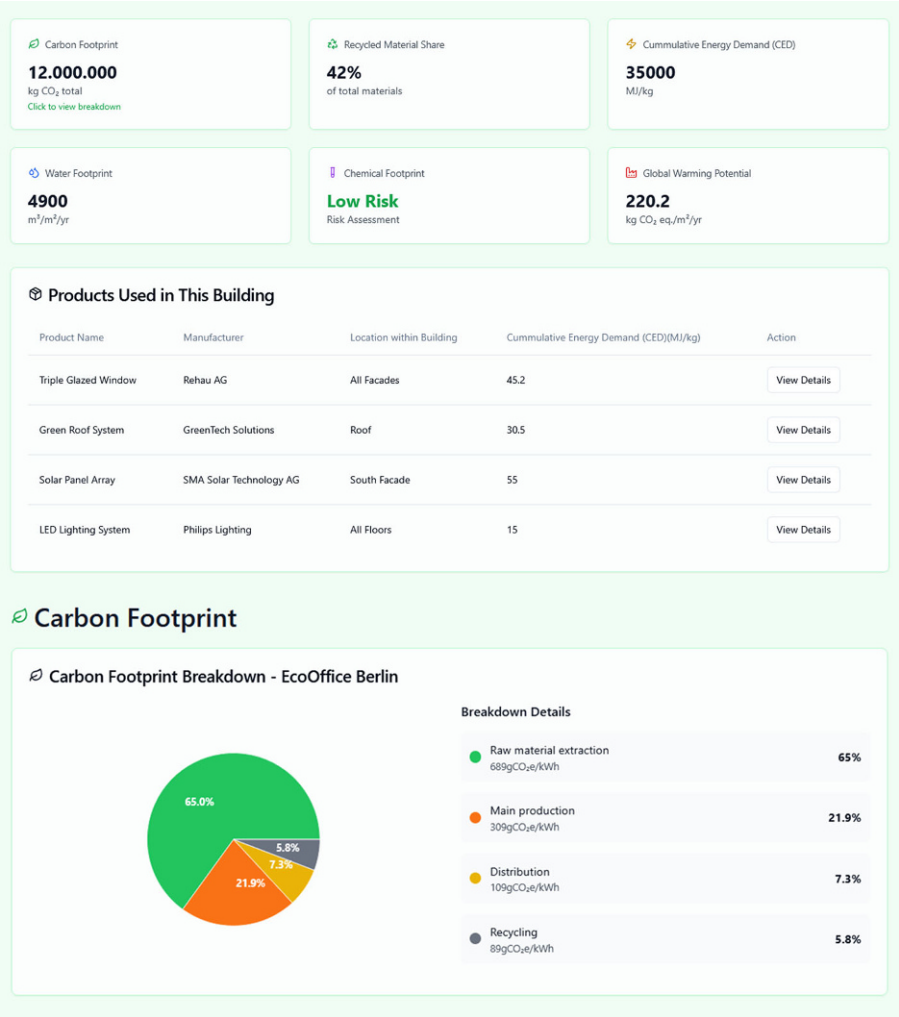
Abb. 1 Einstiegsbildschirm des prototypischen DPP-Systems

kennzahlen werden ereignisbasiert automatisch aktualisiert. Darauf deutet bspw. die Angabe „Updated 2 days ago“ hin (*R4*).

Projekte sind auf Gebäudeebene voneinander abgegrenzt und lassen sich bis auf die Materialebene herunterbrechen (impliziert durch Kennzahlen wie „Recycled Material Share“). Abb. 1, 2 und 3 verdeutlichen, dass sich ein Nutzer durch die verschiedenen Hierarchieebenen navigieren kann, um die für seine individuelle Entscheidung erforderlichen Informationen zu beschaffen. Auf diese Weise wird die hierarchische Organisation von Daten entlang der baulichen Struktur (*R1*) umgesetzt.

Die projektspezifischen Daten (Bauzeitraum, Fortschritt, Materialanteile) in Abb. 1 und die Quantitäten in Abb. 3 stammen nicht von den Herstellern der Bauprodukte. Sie legen nahe, dass Informationen aus BIM-Systemen übernommen werden (*R2*). Direkte Kennzahlen wie z. B. der Wasser-Fußabdruck zur Herstellung jedes Bauprodukts werden in Abb. 2 bereitgestellt. Die Kennzahl ist für alle in der Datenbank enthaltenen Bauprodukte nach gleichem Verfahren dargestellt, um die Vergleichbarkeit zwischen den Projekten hinsichtlich der einzelnen Bauprodukte sicherzustellen (*R3*). Die Kennzahl „Carbon Footprint“ in Abb. 2 und 3 für einzelne Bauprojekte und Bauprodukte ist eine Umweltkennzahl aus einer externen LCA-Software, die bei der Kreislauffähigkeitsbewertung der Gebäude für Transparenz sorgt (*R5*). Die Anbindung an die LCA-Software ermöglicht zusätzlich die in Abb. 2 dargestellte Aufschlüsselung des ökologischen Fußabdrucks nach Lebenszyklusphasen.

Die in Abb. 3 am Beispiel eines dreifach verglasten Fensters hinterlegten Labels sowie die Hinweise für Modernisierungen und Rückbau sind nicht gesetzlich



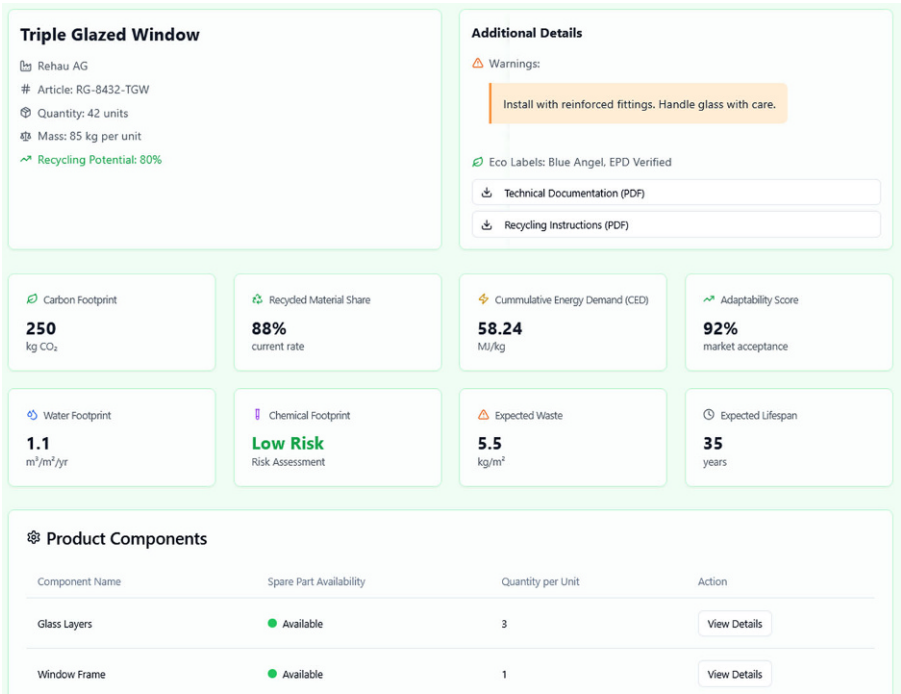


Abb. 3 Kalkulierte Umweltkennzahlen für Bauprodukte und Materialstücklisten

5 Diskussion

Aus den Ergebnissen dieser Studie lassen sich Erkenntnisse über die Gestaltung und Umsetzung unternehmensübergreifender Informationssysteme auf Basis des DPP-Konzepts ableiten. Die identifizierten und prototypisch umgesetzten Anforderungen zeigen auf über welche Fähigkeiten solche Systeme verfügen müssen, um die Nachhaltigkeit in der Bauwirtschaft und somit die Twin Transformation zu unterstützen. Der Prototyp verdeutlicht, dass ein DPP-System nicht nur als Datenspeicher, sondern auch als informatives Koordinationsinstrument von verschiedenen Akteuren entlang des Gebäudelebenszyklus genutzt werden kann.

5.1 Bedeutung für Wissenschaft und Praxis

Für die Forschung der Twin Transformation liefert die Identifikation der acht Anforderungen einen konkreten Beitrag zum besseren Verständnis der Twin Transformation in der Bauwirtschaft. Durch die technische Perspektive auf die Gestaltung unternehmensübergreifender DPP-Systeme wird deutlich, wie digitale Technologien gezielt dazu eingesetzt werden können, ökologische Nachhaltigkeitsziele zu erreichen. Damit wird die Twin Transformation nicht mehr nur als strategisches Ziel, sondern als technisch gestaltbarer Systemwandel auf Basis von DPPs und verwandten Konzepten wie MPs greifbar. Damit positioniert sich diese Studie komplementär

zur capability-orientierten Sicht auf die Twin Transformation (Christmann et al. 2024; Hammerschmidt et al. 2025) und hilft zu verstehen wie DPPs und verwandte Konzepte wie MPs, gebündelt durch ein System, eingesetzt werden können, um Nachhaltigkeitspraktiken in Organisationen der Baubranche zu fördern.

Die Verfügbarkeit von Daten sowie ihre Nutzung können Akteure entlang der Wertschöpfungskette der Bauwirtschaft in die Lage versetzen nachhaltigere Entscheidungen zu treffen (Krasikov und Legner 2023). Besonders bei Bestandsbauten fehlt häufig die Transparenz über verbaute Materialien und deren Einbaukontext. Ein System, das den vorgestellten Anforderungen entspricht, ermöglicht hier eine für die Akteure der Baubranche zugängliche digitale Rekonstruktion. Diese dient der Bewertung von Wiederverwendungspotenzialen und datengetriebener Kreislaufwertschöpfung (Honic et al. 2019a). Dabei verdeutlichen die Ergebnisse das mehrwertstiftende Zusammenspiel von digitalen Plattformen und DPPs sowie verwandten Pass-Initiativen. Sie zeigen zudem, dass die Vielzahl der Pässe und das Management ihrer Daten davon profitieren, dass Plattformen als infrastrukturelle Basis eine bedarfsgerechte Zugänglichkeit ermöglichen. Gleichzeitig verdeutlicht die Studie, dass DPP-Systeme notwendig sind, um standardisierte und maschinenlesbare Informationen für die in den Rückbau, die Audits oder das Facilitymanagement involvierten Akteure zugänglich zu machen.

Trotz der Existenz von ersten digitalen Plattformen zum Erstellen und Verwalten der MPs wie Madaster (Çetin et al. 2023; Markou et al. 2025), bringt der erarbeitete Anforderungskatalog konkrete Einblicke wie solche Plattformen im Kontext der Baubranche gestaltet sein müssen. Die Anforderungen bieten eine Orientierung für die kommerzielle Entwicklung zukünftiger DPP-Systeme, zu denen bislang erst wenige Erkenntnisse vorliegen (Wiesner et al. 2024; Petrik et al. 2024), sowie für Design-Entscheidungen in der Praxis. Unsere Studie verdeutlicht, dass DPP-Systeme notwendig sind, um standardisierte, maschinenlesbare Informationen für Rückbau, Audits und das Facility Management bereitzustellen. Existierende BIM-Systeme mit IFC-Schnittstellen sind dafür nicht ausgelegt. Insofern, verdeutlichen die Ergebnisse, dass neue Formen unternehmensübergreifender Informationssysteme erforderlich sind, die auf digitalen Passdaten basieren, um die Kreislaufwirtschaft und damit die Twin Transformation effektiv zu unterstützen und eine Datendurchgängigkeit zwischen den Akteuren der Baubranche zu erreichen.

Die Studie verdeutlicht zudem, dass DPP-Systeme nicht nur verpflichtende regulatorische Datenpunkte erfassen, sondern auch freiwillig teilbare Informationen – etwa aus Materialpässen oder projektbezogenen Zusatzdaten – integrieren können, etwa für Gebäudezertifizierungen. Diese Differenzierung zwischen Pflicht- und Mehrwertdaten erfordert weitere Forschung, um echten Wandel durch die steigende Transparenz und Verantwortung der Akteure der Bauwirtschaft zu erreichen. Plattformen wie Madaster zeigen dabei, wie solche Systeme in der Bauwirtschaft bereits über den reinen Compliance-Zweck hinaus eingesetzt werden und sind ein Vorbild für andere Domänen (Çetin et al. 2023; King et al. 2023).

Obwohl die Evaluation der Anforderungen ausschließlich im Kontext der Bauwirtschaft erfolgte, ist davon ausgehen, dass wesentliche Teile der Ergebnisse auch über diesen Kontext hinaus gültig sind. Zwar unterscheiden sich die relevanten Quellsysteme, Datenstandards und Stakeholdergruppen in anderen Branchen, doch

mehrere der identifizierten Anforderungen basieren auf Literaturquellen, die sich nicht ausschließlich auf die Bauindustrie beziehen (z. B. Ajdinović et al. 2024; Heeß et al. 2024), und wurden entsprechend domänenübergreifend adaptiert. Dadurch spiegeln die Anforderungen zentrale Prinzipien inter-organisationaler Informationssysteme zur Verwaltung von DPPs wider, wie sie in allen Branchen relevant werden, in denen DPPs im Rahmen der ESPR regulatorisch verpflichtend eingeführt werden.

5.2 Limitationen der Arbeit und zukünftige Forschungsrichtungen

Bei der Interpretation der Ergebnisse sind einige Limitationen zu berücksichtigen. Die identifizierten Anforderungen betreffen vor allem die technischen Fähigkeiten der zu gestaltenden DPP-Systeme. Sie bilden eine notwendige Grundlage für deren praktische Umsetzbarkeit. Gleichwohl sind DPP-Systeme als soziotechnische Informationssysteme zu verstehen, die in Netzwerken verschiedener Akteure wirken (Baxter und Sommerville 2011). So hängt der erfolgreiche Einsatz von DPP-Systemen von der Überwindung von Hürden im Datenmanagement ab. Die noch ausstehenden Standardisierungen sowie die Schließung von Wissenslücken (Honic et al. 2019b) wirken sich auf die etablierte Arbeitspraxis der beteiligten Akteure aus. Die Auswirkungen auf die existierenden Prozesse, die Fähigkeiten der Akteure, ihre Organisation sowie die Organisation der gesamten Baubranche müssen weiter untersucht werden. In diesem Kontext muss der Einsatz von Scan-Systemen auf Baustellen und in der Bauprojektkoordination untersucht werden, um zu verstehen, ob sich eine nachweislich positive Wirkung des Einsatzes der DPPs erreichen lässt. Die identifizierten technischen Anforderungen schaffen also die Basis für zukünftige Forschungsarbeiten, die einen soziotechnischen Problemblick einnehmen, um auf der organisatorischen und der menschlichen Ebene die Nutzung von DPP-Systemen in etablierten Bauprozessen und ihre Akzeptanz zu untersuchen.

Obwohl eine externe Evaluation des Prototyps und der Anforderungen stattfand und die Anforderungen als valide erklärt wurden, wurden keine quantitativen Metriken zur Messung des Nutzens eines solchen Systems eingesetzt. Der Beitrag liefert auch keine Erkenntnisse darüber welche sensiblen Daten aus Bauprojekten in DPP-Systeme übertragen werden können und wie die Akzeptanz in der Bauwirtschaft hinsichtlich der Datenteilung ist. Erste Forschungsarbeiten bemängeln bereits, dass die Aspekte der Daten-Governance im Kontext der DPPs noch keine ausreichende Berücksichtigung fanden. Trotz der durch die gesetzlich verpflichtende Offenlegung bestimmter Daten steigenden Risiken von Datenleaks wurden seitens der EU-Regulatorik noch keine Sanktionen definiert (Ducuing und Reich 2023). Die Konzeption von Daten-Governance-Frameworks unter Berücksichtigung domänen-spezifischer Informationsasymmetrien und Machtverhältnisse in der Bauwirtschaft ließ sich auf Basis der Literatur nicht ableiten und bedarf weiterer Forschung.

Künftige prototypische Arbeiten sollten Validierungs- und Plausibilisierungsfunktionen im Backend (Heeß et al. 2024) sowie Vergleichsmöglichkeiten von Bauprodukt- und Gebäudedaten im Frontend (Morellini et al. 2025) implementieren und deren Nutzen evaluieren.

6 Fazit & Ausblick

Diese Arbeit liefert Erkenntnisse zur Twin Transformation der Bauwirtschaft durch den Einsatz von DPPs. Zur Beantwortung der FF 1 wurde eine systematische Literaturanalyse durchgeführt, um die Anforderungen an DPP-Systeme für die Kreislaufwirtschaft zu ermitteln. Zur Beantwortung der FF 2 wurde ein prototypisches DPP-System als Webanwendung entwickelt, das diese Anforderungen umsetzt und eine strukturierte Erfassung sowie nutzerfreundliche Visualisierung relevanter Informationen entlang der Wertschöpfungskette im Bauwesen ermöglicht. Die Studie zeigt, dass eine Integration von DPPs mit Daten über verschiedene Hierarchieebenen sowie eine Integration mit BIM-Systemen zur Auswertung im Kontext anderer Bauprojekte wichtig ist. Diese Erkenntnisse sind auch für die bevorstehende Transformation in anderen Domänen relevant, in denen DPPs zur Pflicht werden (bspw. für Batterien in Autos oder fahrerlosen Transportsystemen), jedoch noch keine Debatte über die Quellsysteme zur Versorgung der DPPs mit Daten und die Erweiterung der Datenmodelle für ihre mehrwertstiftende Nutzung über die gesetzliche Compliance hinaus stattfindet.

Funding Open Access funding enabled and organized by Projekt DEAL.

Interessenkonflikt D. Petrik, K. Stuber, L. Faßbaender, J. Lehmann und L. Widmann geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Open Access Dieser Artikel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden. Die in diesem Artikel enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen. Weitere Details zur Lizenz entnehmen Sie bitte der Lizenzinformation auf <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>.

Literatur

- Ajdinović S, Strljic M, Lechler A, Riedel O (2024) Interoperable digital product passports: an event-based approach to aggregate production data to improve sustainability and transparency in the manufacturing industry. In: 2024 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII). IEEE, S 729–734 <https://doi.org/10.1109/SII58957.2024.10417487>
- Baxter G, Sommerville I (2011) Socio-technical systems: from design methods to systems engineering. *Interact Comput* 23(1):4–17. <https://doi.org/10.1016/j.intcom.2010.07.003>
- Belova A, Revenko A, Gallina V, Bachlechner D, Sowe SK (2025) Bringing the digital product passport to life: requirements analysis for a carbon footprint tracking system using knowledge graphs and data spaces. In: Proceedings of the 40th ACM/SIGAPP Symposium on Applied Computing, S 490–497 <https://doi.org/10.1145/3672608.3707971>
- Benachio GLF, Freitas MDC, Tavares SF (2020) Circular economy in the construction industry: a systematic literature review. *J Clean Prod* 260:121046. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121046>
- Brocke JV, Simons A, Niehaves B, Niehaves B, Riemer K, Plattfaut R, Cleven A (2009) Reconstructing the giant: on the importance of rigour in documenting the literature search process. In: Proceedings of the 17th European Conference on Information Systems. and decision support systems

- Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen Nachhaltiges Bauen. Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen. https://www.bmwsb.bund.de/DE/bauen/innovation-klimaschutz/nachhaltiges-bauen/nachhaltiges-bauen_node.html. Zugegriffen: 19. Sept. 2025
- Çetin S, Raghu D, Honic M, Straub A, Gruis V (2023) Data requirements and availabilities for material passports: a digitally enabled framework for improving the circularity of existing buildings. *Sustain Prod Consum* 40:422–437. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2023.07.011>
- Chaudhuri A, Wæhrens BV, Treiblmaier H, Jensen SF (2025) Impact pathways: digital product passport for embedding circularity in electronics supply chains. *Int J Oper Prod Manag* 45(6):1213–1226. <https://doi.org/10.1108/IJOPM-01-2024-0012>
- Christmann AS, Crome C, Graf-Drasch V, Oberländer AM, Schmidt L (2024) The twin transformation butterfly: Capabilities for an integrated digital and sustainability transformation. *Bus Inf Syst Eng* 66(4):489–505. <https://doi.org/10.1007/s12599-023-00847-2>
- Ducuing C, Reich RH (2023) Data governance: Digital product passports as a case study. *Compet Regul Netw Ind* 24(1):3–23. <https://doi.org/10.1177/17835917231152799>
- Europäische Kommission (2020) Definition of the digital building logbook—Report 1 of the study on the development of a European Union framework for buildings’ digital logbook. Publications Office of the European Union <https://doi.org/10.2826/480977>
- Europäische Kommission (2024) Giving a second LIFE: demolishing attitudes to recycling construction waste. https://cinea.ec.europa.eu/news-events/news/giving-second-life-demolishing-attitudes-recycling-construction-waste-2024-10-31_en
- Europäische Union (2024a) Regulation (EU) 2024/1781 of the European Parliament and of the Council of 13 June 2024 establishing a framework for the setting of ecodesign requirements for sustainable products, amending Directive (EU) 2020/1828 and Regulation (EU) 2023/1542 and repealing Directive 2009/125/EC. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TEXT/?uri=CELEX%3A32024R1781&qid=1719580391746>
- Europäische Union (2024b) Verordnung (EU) 2024/3110 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 27. November 2024 zur Festlegung harmonisierter Vorschriften für die Vermarktung von Bauprodukten und zur Aufhebung der Verordnung (EU) Nr. 305/2011 (Text von Bedeutung für den EWR). <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2024/3110/oj>
- Fauzi MA, Anuar KF, Mohd Zainudin N, Ahmad MH, Wider W (2025) Building information modeling (BIM) in green buildings: a state-of-the-art bibliometric review. *Int J Build Pathol Adapt* 43(5):1320–1337. <https://doi.org/10.1108/IJBPA-06-2023-0086>
- Gieß A, Möller F (2025) Exploring the value ecosystem of digital product passports. *J Industrial Ecology* 29(2):561–573. <https://doi.org/10.1111/jieec.13621>
- Glinz N (2007) On non-functional requirements. In: 15th IEEE International Requirements Engineering Conference (RE 2007). IEEE, S 21–26 <https://doi.org/10.1109/RE.2007.45>
- Hammerschmidt J, Burtscher J, Gast J, Kraus S, Puumalainen K (2025) Navigating the twin transformation: how digitalization and sustainability shape the future. *Strateg Chang*. <https://doi.org/10.1002/jsc.70010>
- Haupt J, Cerdas F, Herrmann C (2024) Derivation of requirements for life cycle assessment-related information to be integrated in digital battery passports. *Procedia CIRP* 122:300–305. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2024.01.044>
- Heef P, Rockstuhl J, Körner MF et al (2024) Enhancing trust in global supply chains: conceptualizing digital product passports for a low-carbon hydrogen market. *Electron Markets* 34:10. <https://doi.org/10.1007/s12525-024-00690-7>
- Heinrich M, Lang W (2020) Material passports—best practice. https://www.bamb2020.eu/wp-content/uploads/2019/02/BAMB_MaterialsPassports_BestPractice.pdf
- Hobbs G, Adams K (2017) Reuse of building products and materials-barriers and opportunities. In: International HISER Conference on Advances in Recycling and Management of Construction and Demolition Waste, Delft University of Technology, Delft, S 109–113
- Honic M, Kovacic I, Rechberger H (2019a) Concept for a BIM-based material passport for buildings. *IOP Conf Ser Earth Environ Sci* 225:12073. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/225/1/012073>
- Honic M, Kovacic I, Sibenik G, Rechberger H (2019b) Data-and stakeholder management framework for the implementation of BIM-based Material Passports. *J Build Eng* 23:341–350. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2019.01.017>
- Honic M, Kovacic I, Aschenbrenner P, Ragossnig A (2021) Material passports for the end-of-life stage of buildings: challenges and potentials. *J Clean Prod* 319:128702. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128702>

- Jablonski M, Marković P, Jablonski M, Hitka M (2025) Assessment of energy and resource efficiency through sustainable planning, construction, and operation using building information modeling (BIM). In: Developments in information and knowledge management systems for business applications, Bd 8. Springer, Cham, S 593–612 https://doi.org/10.1007/978-3-031-80935-4_27
- Jäger-Roschko M, Petersen M (2022) Advancing the circular economy through information sharing: a systematic literature review. *J Clean Prod* 369:133210. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133210>
- Jensen SF, Kristensen JH, Adamsen S, Christensen A, Waehrens BV (2023) Digital product passports for a circular economy: Data needs for product life cycle decision-making. *Sustain Prod Consum* 37:242–255. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2023.02.021>
- Jung J, Jeong E, Song B, Watson K (2024) Generate Digital Product Passports by Integrating Production Data into the Asset Administration Shell. In: 2024 IEEE 29th International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA). IEEE, S 1–4 <https://doi.org/10.1109/ETFA61755.2024.10711027>
- King MR, Timms PD, Mountney S (2023) A proposed universal definition of a Digital Product Passport Ecosystem (DPPE): Worldviews, discrete capabilities, stakeholder requirements and concerns. *J Clean Prod* 384:135538. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.135538>
- Krasikov P, Legner C (2023) Introducing a data perspective to sustainability: how companies develop data sourcing practices for sustainability initiatives. *Commun Assoc Inf Syst* 53(1):162–188. <https://doi.org/10.17705/1CAIS.05307>
- Langley DJ, Rosca E, Angelopoulos M, Kamminga O, Hooijer C (2023) Orchestrating a smart circular economy: guiding principles for digital product passports. *J Bus Res* 169:114259. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2023.114259>
- MacArthur Foundation E (2013) Towards the circular economy Vol. 1: an economic and business rationale for an accelerated transition. <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/towards-the-circular-economy-vol-1-an-economic-and-business-rationale-for-an>
- Malabi Eberhardt LC, van Stijn A, Nygaard Rasmussen F, Birkved M, Birgisdottir H (2020) Development of a life cycle assessment allocation approach for circular economy in the built environment. *Sustainability* 12(22):9579. <https://doi.org/10.3390/su12229579>
- Markou I, Sinnott D, Thomas K (2025) Current methodologies of creating material passports: a systematic literature review. *Case Stud Constr Mater*. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2025.e04267>
- Monteiro J, Barata J, Gentilini S (2024) A digital twin-based digital product passport. *Procedia Comput Sci* 246:4123–4132. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2024.09.251>
- Morellini L, Ferrando A, Cabri G, Garuti M (2025) Design and implementation of a software system for digital product passport. In: 2025 33rd International Conference on Enabling Technologies: Infrastructure for Collaborative Enterprises (WETICE). IEEE, S 1–6 <https://doi.org/10.1109/WETICE67341.2025.11092048>
- Mulhall D, Hansen K, Luscuere L, Zanatta R, Willems R (2017) Framework for materials passports. <https://www.bamb2020.eu/wp-content/uploads/2018/01/Framework-for-Materials-Passports-for-the-webb.pdf>
- Okolo C, Schmieder N, Hellwig M, Rigger E (2024) Towards a digital twin for sustainable asset management of IoT devices in smart buildings. In: 2024 IEEE International Conference on Engineering, Technology, and Innovation (ICE/ITMC). IEEE, S 1–9 <https://doi.org/10.1109/ICE/ITMC61926.2024.10794253>
- Petrik D, Härer F, Schöllkopf F (2024) Realization of a digital product passport for a cross-company carbon accounting. In: Herman Hollerith Conference. Springer, Wiesbaden, S 28–41 https://doi.org/10.1007/978-3-658-48215-2_5
- Plociennik C, Pourjafarian M, Saleh S, Hagedorn T, Carmo Precci Lopes AD, Vogelgesang M, Ciroth A (2022a) Requirements for a digital product passport to boost the circular economy. *Informatik* 2022:1485–1494. https://doi.org/10.18420/inf2022_127
- Plociennik C, Pourjafarian M, Nazeri A, Windholz W, Knetsch S, Rickert J, Weidenkaff A (2022b) Towards a digital lifecycle passport for the circular economy. *Procedia CIRP* 105:122–127. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2022.02.021>
- Plociennik C, Nazeri A, Rimaz MH, Knetsch S, Lopes ADCP, Hagedorn T, Weidenkaff A (2024) Connecting producers and recyclers: A digital product passport concept and implementation suitable for end-of-life management. *Procedia CIRP* 122:831–836. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2024.02.026>
- Pohlmann A, Popowicz M, Schögl JP, Bachler J, Keler J, Baumgartner RJ (2024) Conceptualization of a digital product passport to enable circular and sustainable automotive value chains—the combustion engine use case. *Procedia CIRP* 122:169–174. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2024.01.025>

- Sanchez B, Honic M, Leite F, Herthogs P, Stouffs R (2024) Augmenting materials passports to support disassembly planning based on building information modelling standards. *J Build Eng* 90:109083. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2024.109083>
- Wan PK, Jiang S (2025) Enabling a dynamic information flow in digital product passports during product use phase: a literature review and proposed framework. *Sustain Prod Consum*. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2025.01.014>
- Webster J, Watson RT (2002) Analyzing the past to prepare for the future: writing a literature review. *MISQ* 26(2):xiii–xxiii. <https://doi.org/10.2307/4132319>
- Wiesner M, Moreira J, Guizzardi R, Scholz P (2024) A reference architecture for digital product passports at batch level to support manufacturing supply chains. In: *International Conference on Research Challenges in Information Science*. Springer, Cham, S 307–323 https://doi.org/10.1007/978-3-031-59465-6_19
- Wörrle JS (2025) Digitaler Pass für Bauprodukte: So sieht der Zeitplan aus. <https://www.deutsche-handwerks-zeitung.de/digitaler-pass-fuer-bauprodukte-so-sieht-der-zeitplan-aus-358024/>
- Zhang, A., Seuring, S. (2024). Digital product passport for sustainable and circular supply chain management: a structured review of use cases. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 27(12), 2513–2540. <https://doi.org/10.1080/13675567.2024.2374256>

Hinweis des Verlags Der Verlag bleibt in Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutsadressen neutral.