

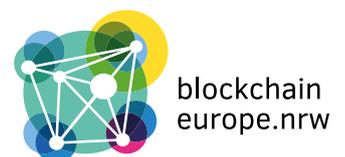
Umsetzung eines digitalen Produktpasses mit Hilfe der Blockchain-Technologie

Analyse der Potenziale und Herausforderungen

In Kooperation mit:



Gefördert durch das Ministerium für
Wirtschaft, Industrie, Klimaschutz und
Energie des Landes Nordrhein-Westfalen



www.blockchain-europe.nrw

Blockchain Navigator

Die Reihe Blockchain Navigator

Die Veröffentlichungs-Reihe Blockchain Navigator gewährt Einblicke in aktuelle Forschungsergebnisse von Blockchain Europe, dem Projekt zum Aufbau des Europäischen Blockchain-Instituts in Nordrhein-Westfalen. Es werden gleichsam wissenschaftlich fundierte »Insights«, wie auch praxisgerecht aufgearbeitete Leitfäden und Methoden als »Toolbox« präsentiert, um einen effektiven und zielgerichteten Einsatz der Blockchain-Technologie in den Geschäftsprozessen unterschiedlicher Industrien zu ermöglichen – von der initialen Überlegung bis zur tatsächlichen Einführung. Daneben ermitteln die »Studies« die Potenziale für den Einsatz der Blockchain-Technologie in unterschiedlichen logistischen Themenbereichen und liefern somit spannende Anknüpfungspunkte für zukünftige Forschungsaktivitäten im Blockchain-Kontext. Ganz im Sinne einer open community und des open knowledge-Ansatzes stellen wir unsere Ergebnisse über den Blockchain Navigator frei zugänglich zur Verfügung und laden zur Diskussion ein.



Blockchain Studies

Blockchain Studies

Die Studies-Reihe dient dem Zweck, das Thema Blockchain aus diversen und möglicherweise bislang noch nicht fokussierten logistischen Blickwinkeln zu beleuchten. Im Sinne einer Potenzialanalyse soll herausgestellt werden, welche Möglichkeiten für den Einsatz der Blockchain-Technologie in unterschiedlichen Themenbereichen bestehen. Dabei können auch einzelne Use Cases innerhalb eines Themenbereichs differenziert betrachtet werden.

Inhalt

Diese Studie untersucht, ob die Blockchain-Technologie eine mögliche Umsetzungsstrategie für den digitalen Produktpass ist. Zunächst werden die grundlegenden Informationen zur Blockchain-Technologie sowie zum digitalen Produktpass erläutert sowie die An- und Herausforderungen in der Umsetzung des digitalen Produktpasses beschrieben. Anhand einer Umfrage wird der aktuelle Wissensstand von Unternehmen zum Thema digitaler Produktpass sowie zur Blockchain-Technologie dargestellt und die aktuellen Potenziale und Herausforderungen der Blockchain-Technologie zur Umsetzung des digitalen Produktpasses in der Praxis identifiziert. Zuletzt werden Handlungsfelder und Potenziale zur Umsetzung des digitalen Produktpasses aufgezeigt.

Inhaltsverzeichnis

Impressum	2
Blockchain Navigator / Blockchain Studies	3
1. Einführung	6
1.1. Die Blockchain-Technologie	6
1.2. Das Projekt Blockchain Europe	10
1.3. Der digitale Produktpass	11
1.4. Ziel und Intention der Kurzstudie	12
2. Der digitale Produktpass in der Praxis	13
2.1. Akteure	13
2.2. Anwendungsfälle	14
2.3. Praxisbeispiel	17
3. Umsetzung des digitalen Produktpasses mit Hilfe der Blockchain-Technologie	19
3.1. Anforderungen und Herausforderungen	19
3.2. Die Blockchain-Technologie als Lösung für den digitalen Produktpass	22
4. Ergebnisse und Bedeutung für die praktische Umsetzung	24
4.1. Stufe 1: Wissensabfrage und Motivation der Unternehmen	25
4.2. Stufe 2: Status quo in Unternehmen	25
4.3. Stufe 3: Blockchain als mögliche Umsetzungsstrategie	26
4.4. Handlungsfelder und Potenziale	26
5. Zusammenfassung	28
6. Ausblick	29
7. Literatur	30



1. Einführung

1.1. Die Blockchain-Technologie

Die Studien-Reihe im Rahmen des Blockchain Navigators fokussiert die Anwendung von Blockchain-Technologien in der Praxis. Um die Potenziale dieser Technologien in den unterschiedlichen Anwendungsbereichen nachvollziehbar und transparent herausstellen zu können, wird nachfolgend auf die wesentlichen Kernelemente der Blockchain-Technologien auf funktionaler Ebene eingegangen.

1.1.1. Was ist Blockchain?

Bei den Blockchain-Technologien handelt es sich um eine spezielle Form der elektronischen Datenverarbeitung und insbesondere -speicherung. Im Gegensatz zu vielen konventionellen Datenspeichertechnologien, wie z. B. Cloud-Systemen oder Client-Server Strukturen, werden bei einer Blockchain die Daten nicht zentral, sondern dezentral verteilt abgespeichert [1].

Aus funktionaler Sicht lässt sich eine Blockchain mit den fünf wesentlichen Kernentitäten beschreiben [2]:

- Die Daten/Informationen werden in Form von sog. Blöcken gespeichert.
- Die Speicherreihenfolge der Blöcke (Zusammenhänge) steht fest und kann im Nachhinein nicht verändert werden.
- Jeder Block besitzt einen eindeutigen »Fingerabdruck« und verifiziert dadurch seinen eigenen Inhalt sowie seinen Bezug zum vorherigen Block.
- Die gesamte Blockchain oder Segmente dieser sind bei mehreren Netzwerkteilnehmern gespeichert.
- Ein demokratisches System (Mehrheitsprinzip) kontrolliert, ob ein Block oder eine Blockreihenfolge korrekt ist oder nachträglich verändert, d. h. manipuliert, wurde.

1.1.2. Eigenschaften der Blockchain

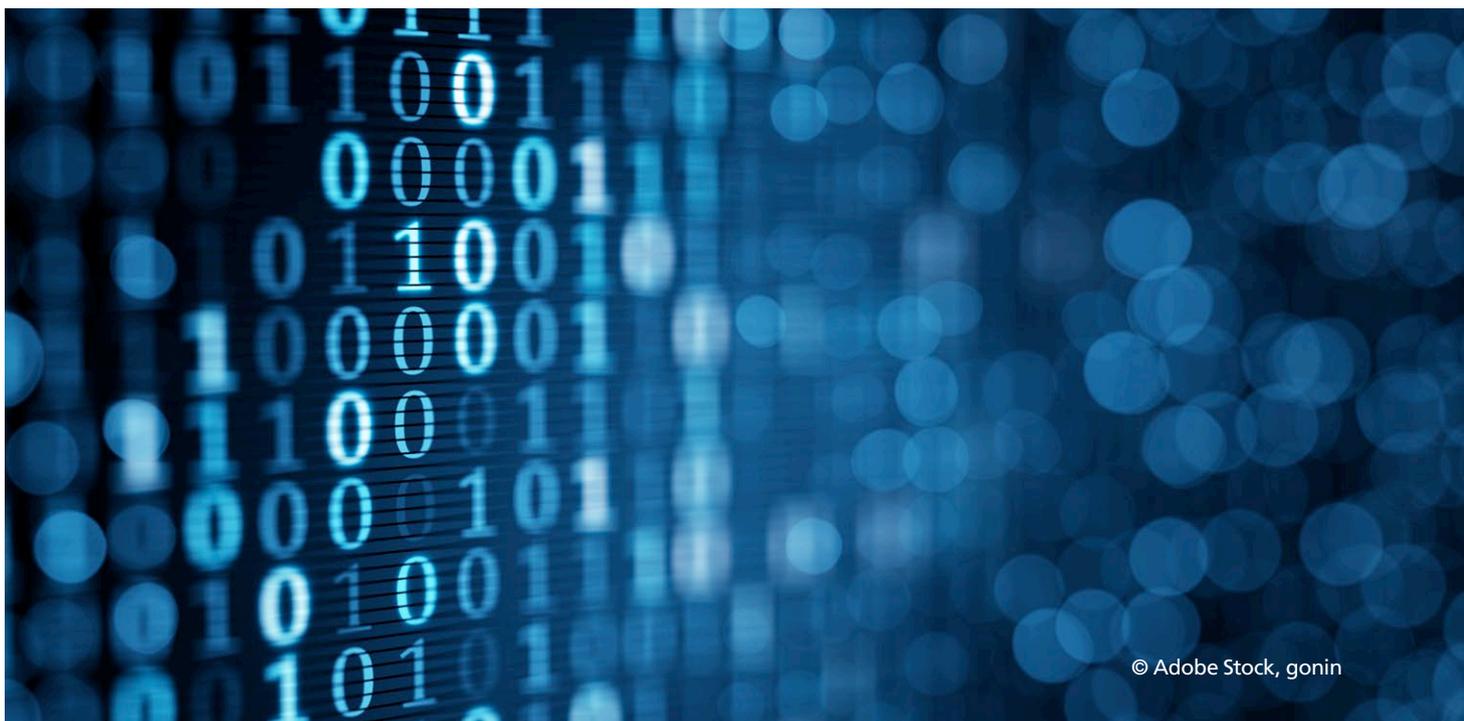
Die Daten innerhalb einer Blockchain werden dezentral verteilt, d. h. bei mehreren Teilnehmern eines Netzwerks gespeichert.

Dabei besitzen bestimmte Teilnehmer, die sog. Full Nodes, stets eine vollständige Kopie der gesamten Blockchain. Daher kommt ihnen eine große Bedeutung zu. Im Gegensatz zu den Full Nodes speichern sog. Light Nodes keine Kopie der gesamten Blockchain, sondern übernehmen »nur« bestimmte Aufgaben. Light Nodes können z. B. zum Auslesen bestimmter Informationen aus der Blockchain, dem Schreiben von Informationen in diese und/oder der Verarbeitung bestimmter Informationen eingesetzt werden. [3]

Der Zugang zu einer Blockchain kann entweder öffentlich, privat oder konsortial sein. Öffentliche Blockchains (public) sind frei zugänglich, sodass sich jederzeit neue Teilnehmer selbstständig eine Kopie der Blockchain herunterladen und mit dieser im Sinne eines weiteren Full Nodes interagieren können. Bei privaten Blockchains übernimmt hingegen ein Akteur wichtige Aufgaben, die auch den Zugang zur Blockchain betreffen. Möchte ein neuer Teilnehmer dem Netzwerk beitreten, muss der zentrale Akteur ihn hinzufügen. Bei konsortialen Blockchains können die Aufgaben des zentralen Akteurs auch von mehreren Teilnehmern übernommen werden. [4]

Die Speicherung von Informationen in einer Blockchain erfolgt – bildlich gesprochen – in einzelnen Blöcken. Das heißt, es werden inhaltlich kohärente Informationen zusammengepackt und als ein Block im Netzwerk abgespeichert. Zur Validierung, dass der Inhalt nicht verändert wurde, werden sog. Hash-Verfahren eingesetzt. Dabei handelt es sich um mathematische Verfahren, die den Inhalt eines Blocks als einen sog. Hashwert darstellen. Da diese Verfahren nur in eine Richtung funktionieren, kann der Hashwert eines Blockes auch als sein eindeutiger Fingerabdruck angesehen werden. Verändert sich nun der Inhalt eines Blocks, verändert sich auch sein Fingerabdruck (Hashwert). [5, 6]

Die Manipulationssicherheit der Daten in einer Blockchain wird zudem durch zwei weitere Eigenschaften sichergestellt. Zum einen kennt jeder Block auch den Hash-Wert seines Vorgängerblocks und zum anderen werden Konsensverfahren zur Sicherstellung, dass jeder Full Node auch die identische



© Adobe Stock, gonin

Blockreihenfolge und Inhalte besitzt, eingesetzt. Wie bereits in Absatz 1.1 beschrieben, handelt es sich bei einer Blockchain um verkettete Blöcke, die bei mehreren Netzwerkteilnehmern abgespeichert werden. Möchte nun ein Teilnehmer den Inhalt eines Blocks manipulieren, so muss er nicht nur den Inhalt des betroffenen Blocks verändern, sondern auch mindestens den Hashwert aller nachfolgenden Blöcke und das bei allen Full Nodes. Da zudem die Konsensmechanismen zeitaufwändig sind und stetig die Korrektheit der kompletten Blockchain sicherstellen, ist eine Manipulation einer Blockchain nahezu ausgeschlossen. [7]

1.1.3. Vorteile der Blockchain

Die größten Vorteile einer Blockchain sind die Manipulationssicherheit, Nachvollziehbarkeit und Transparenz sowie die Datensouveränität hinterlegter Informationen. Die speziellen technischen Charakteristika einer Blockchain ermöglichen sowohl die eindeutige Validierung der Datenkorrektheit und Nachvollziehbarkeit des Ursprungs als auch die Automatisierung und Autarkisierung von Prozessen. Zur Umsetzung dieser Datensouveränität werden häufig sogenannte Smart Contracts eingesetzt [8, 9]. Smart Contracts sind fest definierte und unveränderbare Programmabläufe, die meist auf der Blockchain selbst hinterlegt sind und auf dieser ausgeführt werden. Sie besitzen ein klar definiertes Starterereignis und eine fest vorgegebene Ablauflogik. Tritt ein Ereignis auf oder wird

der Smart Contract manuell gestartet, wird das klar definierte Ziel, über vorgegebene Wenn-Dann-Beziehungen, verfolgt und jeder Schritt protokolliert. Smart Contracts eignen sich daher zur Automatisierung von, meist vertrauens- und prüfintensiven, Abläufen. [10, 11]

Generell kann eine Blockchain vertrauensintensive, nachweispflichtige oder auch rechtlich sensible Prozesse unterstützen. Smart Contracts stellen selbst nicht zwangsläufig einen Vertrag dar, sie können jedoch die Einhaltung der rechtlichen Voraussetzungen und Rahmenbedingungen garantieren und dadurch zur Steuerung von rechtsgültigen Prozessen eingesetzt werden. [12]

Die Blockchain-Technologie stellt die Nachvollziehbarkeit und die Manipulationssicherheit, über Konsensmechanismen und dezentrale Strukturen sicher. Der dezentrale Ansatz zur Datenspeicherung, bei dem jeder Knotenpunkt (Full Node) eine Kopie der Blockchain speichert und das Mehrheitsprinzip gilt, sorgt ebenfalls für eine höhere Robustheit bei Cyberangriffen. Insbesondere im Vergleich zu einer konventionellen, zentralen Datenhaltung sinkt das Risiko für sog. Single Point of Failure-Angriffe enorm. Bei dieser Art von Cyberangriffen wird gezielt ein Bestandteil eines Systems zum Ausfall gebracht, um das Gesamtsystem zu stören und dadurch entweder weitere »Türen« zu öffnen oder die Funktionalität in Gänze außer Kraft zu setzen. Bei einer Blockchain-Technologie müsste ein solcher Angriff eine Vielzahl an Blöcken bei der Mehrheit der Full Nodes korrumpieren. Dieses Risiko kann mit zunehmender

Anzahl an Akteuren als immer unwahrscheinlicher eingestuft werden. Eine Blockchain gilt daher als weitestgehend manipulationssicher. [13, 14]

1.1.4. Herausforderungen der Blockchain

Es existieren zahlreiche Untersuchungen, die sich mit unterschiedlichen Nachhaltigkeitsaspekten der Blockchain-Technologie befassen und beispielsweise das damit verbundene Abfallaufkommen oder den Energieverbrauch thematisieren [15, 16, 17]. Derartige Untersuchungen fokussieren jedoch meist Kryptowährungen, da diese häufig in der öffentlichen Wahrnehmung den wichtigsten Blockchain-Anwendungsfall darstellen. Ursache für diese Schlussfolgerungen sind i. d. R. die Konsensmechanismen, welche die Korrektheit von Blockchain-Netzwerken sicherstellen. Je nach Art der verwendeten Konsensmechanismen sowie der Blockchain Architektur können jedoch unterschiedlich stark ausgeprägte Energieverbräuche festgestellt werden. Generell weisen private oder konsortiale Blockchain-Netzwerke deutlich geringere Energieverbräuche als öffentliche Blockchains, die für die meisten Kryptowährungen eingesetzt werden, auf. Im Vergleich zu konventionellen zentralisierten Datenbevorratungslösungen schneiden sie jedoch aus Sicht der Energieeffizienz schlechter ab. [18]

Unter Gesichtspunkten der Energieeffizienz sind daher Anwendungsfälle zu definieren, die auf den gesamten Geschäftsprozess gesehen, ökologische Vorteile erzielen. Aktuell liegt noch keine anwendungsbezogene, einheitliche und vergleichende Studie zur ökologischen Wirkung digitaler Technologien im Vergleich oder im Bezug zu einer Blockchain-Technologie vor. Auch, wenn aktuell noch kein sich aus der Technologie selbst ergebender Nachhaltigkeitsvorteil nachgewiesen werden kann, sind dennoch bereits Anwendungsfälle zu identifizieren, bei denen der Einsatz einer Blockchain-Technologie als Enabler für eine gesteigerte Nachhaltigkeit angesehen werden kann [19].

Eine weitere Herausforderung betrifft die Identifikation des geeigneten Blockchain-Frameworks. Je nach Reichweite des Netzwerks (öffentlich, privat, konsortial), der Art, Anzahl und Größe der auf der Blockchain zu hinterlegenden Daten und der gewünschten Aufgaben, die die Blockchain übernehmen bzw. unterstützen soll, werden Blockchain-Interessierte aktuell mit einer Vielzahl an unterschiedlichen Frameworks konfrontiert. Zudem kommen stetig neue Themen, wie z. B. die Teilbarkeit, Einzigartigkeit und Wertigkeit hinzu, die die Auswahl erschweren. Vorteilhaft erweist sich in diesem Bezug, wenn für bestimmte Anwendungsfälle auf bereits bestehende Blockchain-Netzwerke oder auf Bibliotheken, die konkrete Funktionalitäten ermöglichen, zurückgegriffen werden kann. Dabei ist gleichfalls darauf zu achten, dass Entwicklungen, falls vorhanden, Standards einhalten. Dadurch wird die Interoperabilität zwischen verschiedenen Netzwerken und/oder

Anwendungsfällen sichergestellt. Diese Anforderung gilt insbesondere für die Verwendung von Blockchain im Kontext des Finanzflusses. Als Beispiel kann hier der ERC-20 (Ethereum Request for Comments-20) Standard für Token auf einer Ethereum-Blockchain angeführt werden [4].

Sollen »Vermögenswerte« auf einer Blockchain beschrieben werden, werden seit ein paar Jahren sog. »Tokens« diskutiert [20]. Token lassen sich langläufig in Non-Fungible-Token (NFT) und Fungible-Token (FT) unterteilen. NFT sind einzigartig und einmalig und können somit auch zur Beschreibung eines definierten realen Objects verwendet werden. Im Gegensatz dazu repräsentieren Fungible-Token stets den gleichen Wert und können gegenseitig ausgetauscht oder ersetzt werden. [7]

Zur Verdeutlichung sollen ein bedeutendes Gemälde und die Währung »Euro« dienen. Ein Gemälde ist einzigartig und kann nicht gegen ein anderes ausgetauscht werden. Hier sind die Eigentumsangaben und der Verlauf (z. B. der Besitzer), den das Bild seit Erstellung genommen hat, von besonderem Interesse. Hingegen besitzen alle Ein-Eurostücke die gleiche Wertigkeit und können beliebig gegeneinander ausgetauscht werden. Die Herkunft und der Verlauf, den ein Eurostück seit Ausgabe genommen hat, ist hier jedoch irrelevant. Daher würde in diesem Fall ein Gemälde eher mittels NFT und die Euro-Währung als FT auf einer Blockchain beschrieben werden. Die Herausforderung besteht dabei, bereits im Vorfeld zu definieren, welche Anforderungen an die Einzigartigkeit, Wertigkeit und Teilbarkeit erfüllt sein müssen.

1.1.5. Ursprung und Entwicklung der Blockchain

Die Blockchain-Technologie erreichte im Jahr 2008 durch eine Veröffentlichung von »Satoshi Nakamoto« über den Bitcoin erstmals Bekanntheit. Die Idee, Informationen als unveränderliche, verkettete Blöcke mithilfe von Algorithmen zu speichern, wurde jedoch bereits 1979 in der Dissertation von Ralph Merkle publiziert. Die Publikation erklärt, wie sich Informationen in Form der heute bekannten »Merkle hash trees«, einer effizienten Form der Speicherung, zusammenführen lassen. Im Jahr 1990 wandten die beiden Wissenschaftler Scott Stornetta und Stuart Haber diese Technologie auf Dokumente mit Zeitstempel an. Sie erforschten die Anwendung des Konsensprinzips, für welches Daten zur Gewährleistung ihrer Integrität abgeglichen werden. Die Ergebnisse trugen zur Einführung des Bitcoins bei und waren der erste Beweis für die Funktionstüchtigkeit der Blockchain-Technologie, welche die Integrität von Daten garantiert. [21]

Über die Finanzindustrie hinaus wächst die Bedeutung von Blockchain-Lösungen auch in diversen weiteren Industrien, wie beispielsweise in der Logistik. Die Lösungen werden bereits in der Realwirtschaft eingesetzt und immer mehr Unternehmen bereiten sich darauf vor, die Technologie in ihre

Geschäftsprozesse zu integrieren. Eine aktuelle Befragung von Wirtschaftsexperten schätzt den zukünftigen, globalen Mehrwert von Blockchain-Lösungen bis zum Jahre 2030 auf eine Summe von 1,76 Billionen US-Dollar [22]. Im folgenden Absatz werden wichtige Einsatzmöglichkeiten der Blockchain-Technologie vorgestellt und exemplarisch anhand geeigneter Anwendungsbeispiele veranschaulicht.

1.1.6. Einsatzmöglichkeiten und Anwendungsbeispiele der Blockchain

Die nachfolgend exemplarisch ausgewählten und kurz vorgestellten Einsatzmöglichkeiten einer Blockchain im industriellen Umfeld lassen sich den folgenden drei Kategorien zuordnen:

- Bezahlprozesse und Finanzinstrumente,
- Rückverfolgbarkeit von Produkten sowie
- Verträge und Konflikt-Bewältigung.

Bezahlprozesse und Finanzinstrumente

Die wohl bekanntesten Anwendungsfälle der Blockchain-Technologie sind Bezahlprozesse und Finanzinstrumente [23]. Hierbei werden die inhärenten Eigenschaften der Blockchain-Technologie ausgenutzt, sodass zum einen die Notwendigkeit einer Kontrollinstanz und zum anderen die Kosten für sie entfallen. Folglich können eine starke Reduktion der Transaktionskosten und ein Geschwindigkeitszuwachs, durch den Wegfall von aufwändigen Prüfmechanismen, erreicht werden. [24]

Rückverfolgbarkeit von Produkten

Zum Nachweis einer geforderten Qualitätsstufe bei Geschäftsprozessen, Produkten, Dienstleistungen oder Geschäftsmodellen kann die Transparenz über den Lebenszyklus eingesetzt werden. Gleichfalls kann Transparenz den Nachweis von rechtlich geforderten Standards oder Nachhaltigkeitsaspekten unterstützen bzw. herstellen sowie auch eine verbesserte Vermarktung ermöglichen. Gängige Einsatzfelder umfassen zum Beispiel den Nachweis von Lieferketten, durchgeführte Wartungen insbesondere im sicherheitskritischen oder personenbefördernden Bereich, von Arbeitsbedingungen oder auch der richtigen Entsorgung [25]. Aktuell wird insbesondere der Dokumentation von Lieferketten und der damit verbundenen direkten Nachverfolgbarkeit von Transportwegen ein großes Potenzial unterstellt. Manipulationen der gesammelten Daten werden im Blockchain-Netzwerk unmittelbar ersichtlich, wodurch die Integrität der Daten gewährleistet wird [22].

Verträge und Konflikt-Bewältigung

Die meisten Lieferanten-Kunden-Beziehungen oder überbetrieblichen Zusammenarbeiten sind über Verträge bzw.

ähnliche Vereinbarungen geregelt. Smart Contracts sind innerhalb eines Blockchain-Netzwerks autark und selbstständig ablaufende Programme, die unaufhörlich einem zuvor definierten Programmablauf folgen (vgl. Abs. 1.3). Sie können daher zur Sicherstellung der Einhaltung von Verträgen und Regeln eingesetzt werden [26]. Smart Contracts sind im rechtlichen Sinne zwar kein rechtsgültiger Vertrag, können aber über ihre Wenn-Dann-Beziehungen die Einhaltung vertraglicher Inhalte erfassen und nachweisen, um darauf aufbauend weitere Abläufe anzustoßen.

Die vertragstypischen Pflichten bei einem Kaufvertrag werden in § 433 BGB geregelt. Im Sinne dieses Paragraphen ist der Verkäufer verpflichtet, dem Käufer die vereinbarte Sache frei von Sach- und Rechtsmängeln zu übergeben und ihm das Eigentum an der Sache zu verschaffen (Abs. 1). Im Gegenzug verpflichtet sich der Käufer, dem Verkäufer den vereinbarten Kaufpreis zu zahlen und die gekaufte Sache abzunehmen (Abs. 2). [27]

Übertragen auf den Einsatz eines Smart Contracts, kann er feststellen, wann eine Leistung im Sinne des Kaufvertrags erbracht wurde und daraufhin eine Bezahlung einleiten bzw. alle Schritte des Geldtransfers bis hin zum Geldeingang beim Verkäufer erfassen und kontrollieren. Über einen Abgleich mit hinterlegten Fristen kann somit auch die zeitliche Komponente des Vertragsschlusses nachhaltig und transparent erfasst, kontrolliert und gespeichert sowie bei identifizierten Abweichungen festgelegte Deeskalationsstufen eingeleitet werden.

Im aktuellen Projekt »dangerous« wird am Fraunhofer IML mit Hilfe von Smart Contracts z. B. erprobt, wie Gefahrgut-Transporte effizient gestaltet und manipulationssicher dokumentiert werden können [28].

Zusammenfassung

Zusammenfassend kann dem Einsatzzweck bisheriger Blockchain-Anwendungsfelder konstatiert werden, dass folgende Thematiken im Mittelpunkt stehen [1]:

- Nachweis von Herkunft
- Digitalisierung von Werten (Tokenisierung)
- Erkennung von Fälschungen und Betrügen
- Tracking von Compliance-Vereinbarungen
- Rückverfolgung von Warenströmen
- Überwachung von Status
- Steuerung von Prozessen und/oder Vertragsgegenständen mittels Smart Contracts

1.2. Das Projekt Blockchain Europe

1.2.1. Was ist Blockchain Europe?

Das Forschungsprojekt »Blockchain Europe« forciert den Aufbau eines Europäischen Blockchain-Instituts in Nordrhein-Westfalen. Das Konsortium besteht aus den Dortmunder Fraunhofer-Instituten Institut für Materialfluss und Logistik IML und Institut für Software- und Systemtechnik ISST sowie dem Lehrstuhl für Unternehmenslogistik LFO und dem Lehrstuhl für Förder- und Lagerwesen FLW der Technischen Universität Dortmund.

Die Projektpartner haben es sich zur Aufgabe gemacht, in enger Zusammenarbeit mit einer vielfältigen Community das Wissenschafts-, Anwendungs- und Arbeitsfeld Blockchain aus unterschiedlichen Perspektiven zu beleuchten und die Entwicklungen im Bereich der Blockchain-Technologie entscheidend voranzutreiben. Ein Expertenbeirat mit führenden Vertretern aus Wirtschaft und Wissenschaft steht dem Projekt beratend zur Seite.

Langfristiges Ziel ist es, ein europaweit einzigartiges Institut zu schaffen, das die Digitalisierung in Wissenschaft und Praxis antreibt und als nachhaltige und dauerhafte Einrichtung etabliert ist.

Die erste Phase des Projekts wird vom Ministerium für Wirtschaft, Industrie, Klimaschutz und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen über eine Laufzeit von 3 Jahren mit 7,7 Millionen Euro gefördert.

1.2.2. Blockchain Europe Basiskomponenten

Zur möglichst aufwandsarmen Realisierung einer Blockchain-Infrastruktur werden innerhalb von Blockchain Europe generische Blockchain-Funktionalitäten als sogenannte Basiskomponenten entwickelt und als Open Source bereitgestellt. Diese universellen Software-Bausteine können nach dem Baukastenprinzip einzeln oder auch als sinnvolle Kombination integriert werden [29]. Die Basiskomponenten sollen wichtige Kernfunktionalitäten zum Aufbau einer Blockchain-basierenden Plattformökonomie umfassen und werden kontinuierlich weiterentwickelt.

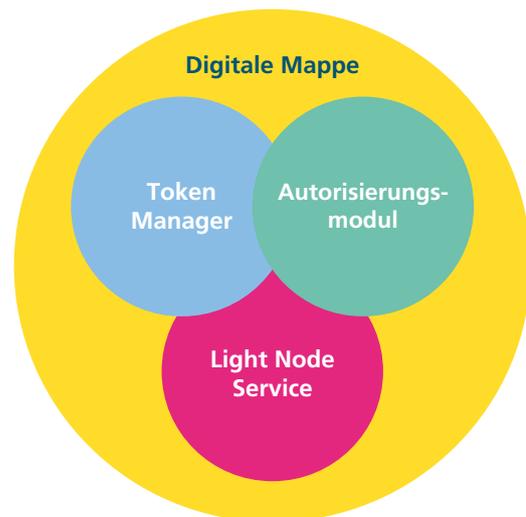


Abbildung 1: Digitale Mappe

Der Token Manager dient der Speicherung und Verwaltung von Dokumenten und Unternehmenswerten. Er ermöglicht Daten als Token in strukturierter Form auf der Blockchain zu speichern. Ein Token steht hierbei für eine Information, ein Dokument oder einen speziellen Unternehmenswert. Jedes Unternehmen (Full Node) erhält ein Wallet, in dem die Daten zu unterschiedlichen (logistischen) Vorgängen gespeichert werden können. Da zu jedem Dokument zudem eine Änderungshistorie existiert, können die erforderlichen Prozesse schlank und einfach gestaltbar gehalten werden. Über entsprechende CLI¹ - und REST² -Schnittstellen lassen sich die spezifischen Funktionalitäten des Token Managers durch vordefinierte Smart Contracts aufrufen, wodurch die Grundlagen für teil- oder durchgehend automatisierte Prozesse geschaffen sind. Je nach Anwendungsfall können ganze Datensätze oder auch einzelne Dokumente (wie bspw. PDF, Bilddateien, XML) auf der Blockchain gespeichert werden. Die Speicherung mittels Token Manager erfolgt somit persistent, rechts- und fälschungssicher sowie transparent nachvollziehbar und nutzerfreundlich auf der Blockchain. [29, 32]

Die Verwaltung und Steuerung von Zugriffsrechten wird über das Autorisierungsmodul, einer weiteren Basiskomponente, sichergestellt. Innerhalb eines Blockchain-Netzwerks interagieren unterschiedlichste Akteure mit verschiedensten Aufgaben und Kompetenzen. Um klar zu spezifizieren, welcher Nutzer bzw. Blockchain-Account über welche spezifischen Zugriffsrechte auf die Blockchain verfügt, wird ihm eine spezielle Rolle zugewiesen. Über ein »klassisches« Rollen-Rechte-System lassen sich jeder Rolle Zugriffs-, Schreib- und Leserechte individuell zuweisen oder entziehen. Bei jedem Zugriff auf die Blockchain wird überprüft, ob der User über seine zugewiesene Rolle

¹ CLI: command-line interface – Bedienung eines Programms über Kommandozeileneingabe [30].

² REST: representational state transfer – Softwareparadigma für die Kommunikation innerhalb von Client-Server-Netzwerken [31].

autorisiert ist, die gewünschte Interaktion durchzuführen. Nicht autorisierte (Trans-) Aktionen werden vom Netzwerk abgelehnt. So ermöglicht das Autorisierungsmodul mit Hilfe des Rollen-Rechte-Systems eine anwendungsspezifische und bedarfsgerechte Zugriffssteuerung und das bedarfsgerechte und/oder anwendungsspezifische Ausführen von Smart Contracts. [29, 32]

Der Light Node Service ermöglicht die Integration und Identifikation von Datenquellen in einem Blockchain-Netzwerk, bei denen keine vollständige Speicherung der gesamten Blockchain erfolgt, den sog. Light Nodes. Physische Geräte, wie z. B. Hardware, (mobile) Devices, Scanner, Sensoren oder auch ERP-Systeme, erhalten hierzu mittels Blockchain-Zertifikaten eine individuelle Identität. Die Blockchain-Zertifikate, welche mit einem Personalausweis vergleichbar sind, werden direkt auf dem mobilen Endgerät, IoT-Device oder im IT-System hinterlegt. Durch die Signatur ist jegliche Transaktion mit der Blockchain und der Urheber zu jeder Zeit nachvollziehbar. Andere Teilnehmer können anschließend den Urheber prüfen und die Transaktion verifizieren. Geräte oder auch Gastteilnehmer, die nur einen reinen lesenden oder schreibenden Zugang zur Blockchain besitzen, werden dadurch zu eigenständigen Akteuren im Blockchain-Netzwerk ohne die Nachvollziehbarkeit, Transparenz oder das Vertrauen zu gefährden. [29, 32]

In der »digitalen Mappe« sind die drei obigen Basiskomponenten »Token Manager«, »Autorisierungsmodul« und »Light Node Service« zusammengefasst. In einer zentralen Wallet lassen sich mehrere »digitale Mappen« anlegen, welche spezifische Dokumente und Unternehmenswerte gleicher Art verwalten und in strukturierter Form als einzelne Token abgelegt werden können. Der Light Node Service integriert hierbei mobile Endgeräte, IoT-Devices oder IT-Systeme. Jegliche Änderungen werden in Form einer Historie durch den Token Manager ersichtlich. Das Autorisierungsmodul überprüft zu jeder Zeit anhand der Rolle des Full oder Light Nodes und seiner zugewiesenen Berechtigungen die Autorisation der gewünschten Transaktion. So können digitale Mappen auch im Umgang mit Behörden, bei der Rückverfolgung wichtiger Waren, Güter und logistischer Prozesse oder zur Überprüfung der Korrektheit von Dokumenten eingesetzt werden. [32]

Die Basiskomponenten sind aktuell für das Blockchain-Framework Tendermint/Cosmos umgesetzt und werden unter der »Open Logistics License« als Open Source zur Verfügung gestellt [33]. Die Überführung der digitalen Mappe ins Blockchain-Framework Quorum, die Entwicklung weiterer Basiskomponenten sowie der Aufbau eines Quorum-Netzwerks werden zurzeit am Fraunhofer IML realisiert.

1.3. Der digitale Produktpass

Angesichts der fortschreitenden globalen Umwelt- und Ressourcenprobleme werden bereits seit einigen Jahrzehnten nachhaltigere Formen des Wirtschaftens diskutiert. Im Zentrum dieser Diskussionen steht das Konzept der Circular Economy. Durch die Kreislaufführung von Produkten und Materialien, die beispielsweise durch Wiederverwendung, Wiederaufbereitung und Recycling erfolgen kann, sollen natürliche Ressourcen geschont und negative Umweltauswirkungen z. B. durch Abfälle reduziert werden.

Die Transformation zu einer zirkulären Wirtschaft ist in Europa und Deutschland auch in politischen Strategie- und Positionspapieren der letzten 5 Jahre, wie z. B. dem European Green Deal [34, 35], dem Circular Economy Action Plan oder der Digitalagenda des BMUV [36] ein zentrales Thema. Als ein vielversprechender Wegbereiter für diese Transformation wird in diesen Veröffentlichungen unter anderem das Konzept des digitalen Produktpasses beschrieben.

Der digitale Produktpass ist eine digitale Informationssammlung, in der alle produktspezifischen Informationen von der Rohstoffgewinnung bis zum Recycling zentral gespeichert und relevanten Nutzergruppen für den Zugriff bereitgestellt werden. Die bereitgestellten Informationen können beispielsweise Aufschluss über die Herkunft und Zusammensetzung des Produktes sowie über Möglichkeiten der Reparatur und Handhabung während oder am Ende der Produktnutzungsphase geben. [36]

Beispielprojekte, in denen digitale Produktpässe von Forschungseinrichtungen, Industrieverbänden oder Unternehmen entwickelt und umgesetzt werden, gibt es bereits in unterschiedlichen Branchen- und Produktkontexten, z. B. für Gebäude, Produktionsanlagen oder Behältersysteme [37, 38, 39]. In den meisten Fällen haben diese jedoch noch einen niedrigen Reifegrad oder sind auf die Optimierung einer einzelnen, spezifischen Phase (z. B. vorausschauende Wartung von Anlagen in der Produktion), hochwertige bzw. werthaltige Produkte und nur einzelne Akteure im Produktlebenszyklus ausgerichtet (siehe Kapitel 2).

Die Veröffentlichung der Entwürfe für eine neue Ökodesign-Richtlinie (in 2022) und eine neue Batterie-Verordnung (in 2020) haben in den vergangenen drei Jahren neues Leben in die Diskussion digitaler Produktpässe gebracht. Beide Dokumente sehen die Einführung von digitalen Produktpässen zur Erhöhung der Transparenz produktbezogener Information entlang eines Produktlebenszyklus vor. Diese

Informationstransparenz soll unter anderem zur besseren Kontrollierbarkeit der Einhaltung gesetzlicher Regulationen, zur besseren Planung und Umsetzung der Kreislaufführung (z. B. durch Vorbereitung zur Wiederverwendung oder Recycling) von Produkten und Materialien und zur informierten Verbraucherentscheidung für den Kauf oder die Nutzung ökologisch nachhaltiger Produkte beitragen. Industrie- und Transaktionsbatterien, die eine Kapazität von mehr als 2 kWh haben, sollen ab dem 1. Januar 2026 die ersten Produkte sein, für die ein digitaler Produktpass (»Batteriepass«) gesetzlich vorgeschrieben ist. [40, 41]

Die Umsetzung eines digitalen Produktpasses, in dem alle über den Lebenszyklus eines Produktes hinweg anfallenden, relevanten Informationen zentral zusammengeführt und für die am Lebenszyklus beteiligten Akteure bereitgestellt werden, ist mit einer Vielzahl von Fragen verbunden, z. B.:

- Inwieweit müssen die unterschiedlichen Akteure für die Realisierung des digitalen Produktpasses zusammenarbeiten und wie wird diese Zusammenarbeit organisiert? Sind die Akteure dazu bereit?
- Wie kann die Umsetzung des digitalen Produktpasses technisch gestaltet werden und wie können Anforderungen der Akteure an Schutz und Sicherheit ihrer Daten erfüllt werden?
- Wie ist der aktuelle Stand der Akteure bezogen auf den digitalen Produktpass? Haben sich einzelne Akteure bereits mit der Gestaltung des digitalen Produktpasses befasst?
- Welche Voraussetzungen müssen die Akteure für die Einführung und Nutzung des digitalen Produktpasses erfüllen?
- Wo liegen technische, organisatorische und sonstige Herausforderungen in der Umsetzung des digitalen Produktpasses?

1.4. Ziel und Intention der Kurzstudie

Das Ziel dieser Kurzstudie ist es den oben aufgeführten Fragen auf Basis einer Literaturrecherche nachzugehen und gewonnene Erkenntnisse mit Blick auf ihre Relevanz für die unternehmerische Praxis durch eine Befragung von Unternehmen zu validieren. Im Fokus der Befragungen steht dabei, inwiefern derzeit in unterschiedlichen Unternehmen eine Motivation zur Umsetzung eines digitalen Produktpasses vorhanden ist und ggf. sogar bereits an der Umsetzung gearbeitet wird. In Hinblick auf die technische Umsetzung und Berücksichtigung von Anforderungen des Datenschutzes und der Datensicherheit soll insbesondere die Umsetzung des digitalen Produktpasses mit Hilfe der Blockchain-Technologie untersucht werden.



© Adobe Stock, Sashkin

2. Der digitale Produktpass in der Praxis

2.1. Akteure

Im Gegensatz zur Linearwirtschaft sind in einer den Produktpass verwendenden Circular Economy mehr Abstimmungsprozesse zwischen den unterschiedlichen Akteuren entlang des Produktlebenszyklus erforderlich. Die Akteure erfüllen jeweils unterschiedliche Funktionen und haben darauf basierende Informationsbedürfnisse. Als relevant für die Umsetzung des digitalen Produktpasses wurden folgende Akteure identifiziert: Material-/Teile-/Produkthersteller, Inverkehrbringer (z. B. Einzelhändler oder Anbieter von Sharing-Systemen), Nutzer/Zweitnutzer, Wartungs-/Reparaturdienstleister, Refurbisher/Remanufacturer, Recycler, Logistikdienstleister und marktüberwachende Behörden. Hinzu kommt, dass die Funktionalität von Produkten Einfluss auf die Akteure hat. Denn sie entscheidet, ob es sich um Ver- oder Gebrauchsgüter handelt. Die Anzahl der Akteure des digitalen Produktpasses ist in den meisten Fällen bei Gebrauchsgütern höher, was sich in der Anzahl der Akteure, aber auch in der Datenquantität bemerkbar macht.

Aufgabe des Herstellers ist es, ein neues Produkt zu entwickeln und herzustellen. Er spielt in der Circular Economy eine zentrale Rolle, da seine Entscheidungen in der Entwicklung und Herstellung beispielsweise die Langlebigkeit und Reparierbarkeit des jeweiligen Produkts und damit dessen Kreislaufführungspotenzial beeinflussen. [42] Sein Ziel ist es, ein erfolgreiches Produkt herzustellen und zu verkaufen. Der Einzelhändler/Anbieter/Vertreiber verkauft seine Produkte an Nutzer. [43]

In den Produktkreisläufen der Kreislaufwirtschaft spielen Nutzer eine Schlüsselrolle. Nutzer können sowohl dauerhaft über ein Produkt verfügen oder dieses im Rahmen eines Produkt-Service-Systems verwenden. Durch Entscheidungen und Handlungen, wie die Reparatur eines defekten Produkts oder die richtige Auswahl und Nutzung eines möglichen Rücknahmesystems, tragen sie maßgeblich zum Erfolg der Kreislaufwirtschaft bei. Neben der Verfügbarkeit geeigneter Rücknahmesysteme setzt dies auch voraus, dass der Nutzer die notwendigen Informationen darüber hat, welche Rücknahmestellen existieren und welche für das Produkt am geeignetsten sind. [42] Nutzer treten auch als Wiederverwender auf, wenn

sie Produkte bspw. über den Gebrauchtmärkte erwerben und anschließend nutzen. In diesem Fall unterscheiden sich sowohl die vom Wiederverwender gewünschten als auch die ihm zur Verfügung gestellten Informationen von denen des Nutzers (z. B. aufgrund fehlender Bedienungsanleitungen oder wegen Beschädigungen unbekannter Herkunft).

Der Anbieter des Sharing-Systems ermöglicht die gemeinsame Nutzung eines Produkts durch verschiedene Nutzer. Ebenso wie der Anbieter/Inverkehrbringer, welcher Produkte an Nutzer verkauft, müssen sie den Nutzern Informationen zur Verfügung stellen, die für eine sichere und sachgemäße Verwendung des Produkts erforderlich sind, z. B. Installations- und Montageanleitungen, Betriebs- und Sicherheitsrichtlinien.

Reparatur- und Wartungsprozesse finden häufig während einer Produktnutzungsphase durch den Nutzer oder einen beauftragten Dienstleister statt und sollen die Nutzungsphase des jeweiligen Produkts verlängern. Die Prozesse sind nicht notwendigerweise mit einem Eigentums- oder Benutzerwechsel verbunden. [44]

Der Refurbisher/Remanufacturer kann der Originalhersteller, ein vom Hersteller beauftragtes Unternehmen oder auch ein herstellerunabhängiges Unternehmen sein. Dieses bereitet gebrauchte oder defekte Produkte nach Ende einer Nutzungsphase auf. Dazu werden die Produkte so aufbereitet, dass sie ein bestimmtes Qualitätsniveau erreichen (z. B. funktionsfähig oder neuwertig). [44, 45] Die Aufbereitung eines Produkts umfasst verschiedene Schritte und die abschließende Prüfung des aufbereiteten Produkts. Der Zustand der aufzubereitenden Produkte wird beim Ein- und Ausgang in die Aufarbeitung/Wiederaufarbeitung erfasst und dokumentiert. Die Prüfung erfolgt hinsichtlich Funktion und Sicherheit. [46, 47]

Der Recycler gewinnt aus Produkten, die nicht mehr verwendet und stattdessen entsorgt werden, Sekundärstoffe für die Herstellung neuer Produkte. Dazu werden die Produkte häufig zunächst durch Demontage in ihre Bestandteile zerlegt. Anschließend werden die einzelnen Komponenten

nach Materialart sortiert. Verbundwerkstoffe werden durch mechanisch-physikalische Verfahren getrennt und zerkleinert. Die getrennten Materialien werden dann erneut sortiert, um homogene Mengen von möglichst hoher Qualität zu erzeugen. Diese werden gereinigt und durch formgebende Prozesse zu Sekundärmaterial verarbeitet, z. B. in Form von Blöcken oder Granulaten. [43, 48, 49, 50]

Logistikdienstleister spielen eine zentrale Rolle innerhalb des Produktkreislaufs, innerhalb der oben beschriebenen Stakeholder-spezifischen Prozesse, insbesondere aber als Bindeglied zwischen den Prozessen der unterschiedlichen Stakeholder. Die Logistik begleitet das Produkt entlang des gesamten Kreislaufs, etwa in Form von Transporten zwischen den einzelnen Stakeholdern, der Beschaffung von Ersatzteilen oder der Distribution von Produkten bei einem Sharing-Anbieter. Allerdings sind an dieser Stelle die Prozesse der Produktrücknahme und des Ersatzteilmanagements gründlich zu betrachten. Rückflüsse in der Kreislaufwirtschaft können sich durch ein hohes Maß an Heterogenität, Kleinteiligkeit und Unberechenbarkeit auszeichnen und stellen damit hohe Anforderungen an die Flexibilität und Anpassungsfähigkeit der Logistikdienstleistungen. [51]

Staatliche Akteure können Gesetze, Investitionen, Forschungsprogramme und andere Anreize nutzen, um eine nachhaltige Wirtschaft zu fördern und schädliches Verhalten der einzelnen Kreislaufakteure zu bestrafen. [42]

2.2. Anwendungsfälle

2.2.1. Akteursbezogene Anwendungsfälle und Informationsbedarfe

Produktpässe unterstützen akteursbezogen unterschiedliche Anwendungsfälle und stellen entsprechende Informationen zur Verfügung. Eine auf den beschriebenen Akteuren basierende Auflistung der akteursbezogenen Anwendungsfälle und spezifischen Informationsbedarfe ist Tabelle 1 zu entnehmen. Die Informationsbedarfe sind spaltenweise aufgeführt, die Akteure zeilenweise. An den jeweiligen Schnittpunkten sind die jeweiligen Anwendungsfälle zu finden.



© Adobe Stock, your123

Tabelle 1: Überblick zu aktorsbezogenen Anwendungsfällen und Informationsbedarfen

	(kritische) Inhaltsstoffe	Konstruktionszeichnung und Stückliste	Bedienungsanleitung	Nutzungshistorie	Reparaturanleitung
Produkthersteller		Herstellung und Ersatzteilmanagement	Bereitstellung von Informationen zur richtigen Anwendung des Produktes		
Nutzer und Wiederverwender ³			Anwendung des Produktes	Information zu Zustand und möglichen Defekten	Durchführung von Reparaturen
Systemanbieter		Durchführung von Reparaturen		Abrechnung	Durchführung von Reparaturen
Wartungs- und Reparaturdienstleister		Durchführung von Reparaturen		Information zu möglichen Defekten	Durchführung von Reparaturen
Refurbisher / Remanufacturer		De- und Remontage		Information zu möglichen Defekten	Durchführung von Reparaturen
Recycler	Sichere Demontage, Auswahl der passenden Recyclingtechnologie	Demontage			
Logistikdienstleister	Sicherer Transport und Lagerung			Sicherer Transport und Lagerung	
Administrative und regulatorische Stellen	Marktüberwachung		Überprüfung der Erfüllung rechtlicher Vorgaben z. B. zu Sicherheits Hinweisen		

³ Nutzer und Wiederverwender (i.S.v. Zweit-, Drittnutzer usw.) haben grundsätzlich identische Informationsbedarfe jeweils ergänzt um relevante durch die vorherige Nutzungsperiode verursachte Informationen

2.2.2. Weitere Anwendungsfälle des digitalen Produktpasses

Der digitale Produktpass soll im Sinne der Kreislaufwirtschaft für eine Strukturierung sowie höhere Transparenz der umweltrelevanten Daten sorgen. Politisch wurden bereits Fristen zur finalen Umsetzung eines digitalen Produktpasses gesetzt. Laut dem »European Green Deal« soll das Vorhaben bis 2030 umgesetzt sein. [41] Die Frist für Batterien wurde im Rahmen der »EU-Verordnung für Batterien« auf das Jahr 2026 festgesetzt. [52]

Auch wenn politisch bereits eine Frist zur Umsetzung festgelegt wurde, bestehen noch keine generellen Rahmenbedingungen und Vorschriften für eine einheitliche Anwendung des digitalen Produktpasses. Dennoch haben Vorbereitungen zur Umsetzung bereits in einigen Branchen begonnen und zahlreiche Initiativen und Forschungsgruppen sind entstanden, um den digitalen Produktpass in die Praxis zu überführen.

Im Zuge des Innovationsworkshops »Sprint4Green« hat das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz gemeinsam mit Experten einen ersten konzeptionellen Prototyp für einen digitalen Produktpass für Batterien in der Elektromobilität entworfen [53]. Im Bereich der Verpackungen wurde mit »R-Cycle« ein Standard zur Realisierung des digitalen Produktpasses für Kunststoffe umgesetzt [54].

Auch in der Textilbranche gibt es erste Ansätze, die einem geplanten digitalen Produktpass nahekommen. Der Versandhandel OTTO stellte im Frühjahr 2022 seine erste Modedesignkollektion »Circular Collection« vor. Die Textilien sind laut Hersteller »so designt und produziert, dass die verwendeten Rohstoffe später wiederverwertet werden können.« Die Recyclingfähigkeit der Textilien wird dabei mit Hilfe eines NFC-Tags sichergestellt. [55]

Ziel dieser Pilotprojekte ist es, generelle Umsetzungsstrategien sowie Rahmenbedingungen für den digitalen Produktpass zu generieren. Für einen maximalen Nutzen ist die Anwendbarkeit des Produktpasses für möglichst viele Branchen und Produktgruppen erstrebenswert. Auch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV) zieht eine Anwendung für alle Produkte in Betracht. Der Fokus soll jedoch zunächst auf den besonders ressourcen- und energiereichen Produkten liegen [56]. In diesem Zusammenhang wird die Bau-, Textil und Verpackungsbranche für eine erste Eignung hervorgehoben. Auch Produkte aus den Bereichen Elektronik, Kunststoffe, Chemikalien und Möbel sind für den ersten Einsatz für den digitalen Produktpass denkbar. [57, 58]

Produkte bringen individuelle Eigenschaften und Beschaffenheiten mit, welche sich unmittelbar auf die Gestaltung des

digitalen Produktpasses auswirken. Neben dem Energie- und Ressourcenreichtum einiger Produktgruppen lassen sich weitere Faktoren identifizieren, die spezifische Branchen sowie spezifische Produkte für eine schnelle Umsetzung des digitalen Produktpasses prädestinieren. Im Folgenden werden bestehende Effekte und Produkteigenschaften, die durch den digitalen Produktpass zu berücksichtigen sind, näher erläutert (siehe Abbildung 2).



Abbildung 2: Effekte auf den digitalen Produktpass

Bereits bestehende Informationspflichten erleichtern den Zugang zum digitalen Produktpass

Bereits bestehende Informationspflichten in ausgewählten Branchen erleichtern die Umsetzung eines digitalen Produktpasses. Es gibt eine Vielzahl themenspezifischer Berichts- und Informationsvorschriften [58]. Demnach verfügen Unternehmen dieser Branchen bereits über Produktdaten, die auch für einen digitalen Produktpass von Relevanz sind. Aktuell kommen die Unternehmen ihrer Informationspflicht durch entsprechenden Vermerk der geforderten Daten auf dem Produkt selbst, der Verpackung oder der Unternehmenswebsite nach. In einzelnen Fällen existieren bereits Datenbanken, in denen die Produktinformationen unternehmensübergreifend gebündelt und geteilt werden. Der digitale Produktpass soll diese existierenden Informationen im Sinne einer ganzheitlichen Betrachtungsweise der Kreislaufwirtschaft durch geeignete und noch festzulegende Produktdaten ergänzen. Erschwert wird dies jedoch durch ein wachsendes Produktspektrum und die Individualisierung von Produkten. Besonders bei Individualprodukten oder bei der Herstellung von Produkten in Handarbeit gilt es die Fragen der Umsetzungsstrategie, die hinsichtlich einer Aufwands- und Nutzenbetrachtung geeignet ist, zu beantworten.

Die Beschaffenheit von Produkten kann die Kennzeichnung des Objektes mit einer eindeutigen Identifizierung erschweren

Die offensichtlichsten Unterschiede von Produkten liegen in der Beschaffenheit dieser. Neben Form, Maßen und Gewicht entscheidet auch die Materialbeschaffenheit darüber,

inwieweit sich Produkte für einen digitalen Produktpass kennzeichnen lassen. Für einen barrierefreien Zugriff auf die Daten des digitalen Produktpasses muss das entsprechende Produkt mit einer eindeutigen und maschinenlesbaren Identifizierung, beispielsweise in Form eines Strich- oder QR-Codes, versehen werden. Diese Möglichkeiten der Kennzeichnung variieren jedoch je nach Produktbeschaffenheit. Eine generelle Regelung hinsichtlich einer Verortung der Kennzeichnung ist noch festzulegen. Neben einer Kennzeichnung auf dem Produkt selbst könnte auch eine Kennzeichnung auf der Umverpackung möglich sein.

KMU muss der Zugang zum digitalen Produktpass gewährt werden

Es existieren unternehmensspezifische Unterschiede, die eine Umsetzung des digitalen Produktpasses erleichtern beziehungsweise erschweren können. In Deutschland trägt das produzierende Gewerbe mit knapp unter 24 % zu der Bruttowertschöpfung bei [59]. Im verarbeitenden Gewerbe wurden im Jahr 2020 97,7 % der Unternehmen als kleines oder mittleres Unternehmen (KMU) ausgemacht [60].

Viele Studien zeigen, dass die Realität bei den Themen »Digitalisierung« und »Datenmanagement« in vielen KMU noch weit von einer gelebten Industrie 4.0 entfernt sind. Laut der Studie »Potenziale in der Zusammenarbeit mit Lieferanten und Dienstleistern« des Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IML sehen 46 % der befragten Unternehmen eine Diskrepanz zwischen dem verfügbaren sowie den wirklich genutzten Datenpotenzial [61]. Die Enterprise Strategy Group kommt zu ähnlichen Erkenntnissen. 49 % der befragten Unternehmen weltweit erheben Daten, nutzen diese aber nicht darüber hinaus [62]. Demnach stellt der noch niedrige Digitalisierungsgrad vieler Unternehmen die Umsetzung des digitalen Produktpasses vor große Herausforderungen. Gerade für die Datenerhebung und -teilung ist ein hoher Digitalisierungsgrad von Vorteil.

Um eine Umsetzung des digitalen Produktpasses in allen Produktgruppen zu ermöglichen, sind zunächst weitere Pilotprojekte durchzuführen. Mit Hilfe dieser Pilotprojekte können die Erhebung, Bereitstellung und Teilung von im Sinne der Kreislaufwirtschaft geeigneten Produktdaten weiter erforscht werden. Für eine erfolgreiche Umsetzung des digitalen Produktpasses in sämtlichen Branchen müssen außerdem alle Erkenntnisse gebündelt in die Gestaltungsaspekte für einen standardisierten digitalen Produktpass einfließen.

In der vorliegenden Studie wird ein Praxisbeispiel gewählt, anhand dessen die weiteren Anforderungen des digitalen Produktpasses unter Umsetzung der Blockchain-Technologie sowie die Zugänglichkeit für Unternehmen näher untersucht werden können.

2.3. Praxisbeispiel

Es bieten sich aufgrund der gesetzgeberischen Verfahren sowie durch die Arbeiten von Forschenden identifizierten Felder wie bspw. Verpackungen und Traktionsbatterien bereits einige Handlungsfelder für die Umsetzung von Produktpässen mit Blockchain-Unterstützung in der Praxis an. Gleichzeitig handelt es sich bei diesen um Bereiche, in denen bereits fortgeschrittene konzeptuelle Arbeiten oder gar rechtliche Frameworks existieren (vgl. Kapitel 1.3), die in der Regel nicht notwendigerweise die Blockchain-Technologie für die Umsetzung vorsehen. Insofern sind andere Bereiche ohne derartige Beschränkungen für eine Umsetzung des Produktpasses mit Hilfe der Blockchain-Technologie grundsätzlich affiner. Auf Basis der in den Kapiteln 2.1 und 2.2 vorgenommenen Analysen und der beschriebenen Eingrenzungen ergeben sich hieraus grundlegende Anforderungen an durch einen Blockchain-basierten Produktpass zu unterstützende Produkte:

- Mittlere Produktlebensdauer, d. h. von wenigen Monaten bis wenige Jahre
- Mittlere bis hohe technische oder materielle Produktkomplexität
- Mittlere bis hohe Produkt- und Produktionskosten, z. B. aufgrund von Rohstoffkosten oder aufwendiger Fertigungsverfahren sowie aufgrund der Produktgröße
- Mittlere bis hohe Werthaltigkeit aufgrund der im Produkt enthaltenen Rohstoffe und Wertschöpfung

Eine Einordnung der Anforderungen sowie der Verortung unterschiedlicher Produktpass-Varianten findet sich in Abbildung 3.

Produkte mit hoher Produktlebensdauer sind ebenfalls grundsätzlich affin für Produktpässe, allerdings existieren hier für den primären Anwendungsfall Gebäude mit Building Information Modeling (BIM) und Gebäudepässen bereits Ansätze, die ohne Blockchain-Technologie auskommen und als de-facto-Standards verwendet und softwareseitig umgesetzt werden. Ein Übergang zu Blockchain-gestützten Lösungen ist hier allein aufgrund der bereits existierenden Pässe sowie der wünschenswerten Rückwärtskompatibilität unwahrscheinlich. Hinsichtlich der Aspekte Produktkomplexität, Kosten und Werthaltigkeit sind grundsätzlich untere Schranken anzunehmen, die eine Umsetzung von Blockchain-basierten Produktpässen entweder aus wirtschaftlichen oder organisatorischen Gründen unwahrscheinlich machen. Grundsätzlich ist denkbar, dass es Umsetzungen für Produktpässe gibt, die nicht auf die Verknüpfung mit einem eindeutig identifizierbaren realen Produkt hin gestaltet sind. Das kann bei solchen Produkten sinnvoll sein, die über nur kurze zu erwartende Lebensdauern verfügen

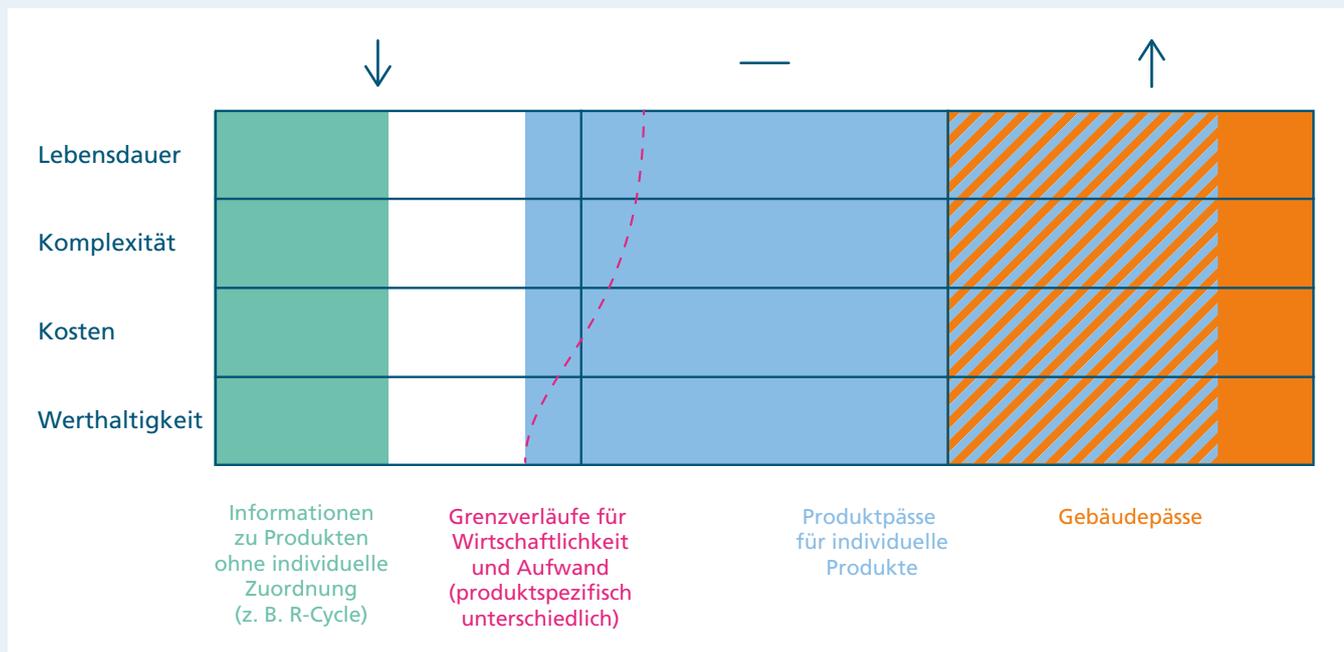


Abbildung 3: Einordnung von Produktpass-Konzepten

oder die in einer Art benutzt werden, von der anzunehmen ist, dass sich aus ihr keine lebenszyklusrelevanten Auswirkungen auf das Produkt selbst ergeben. Ein Beispiel hierfür sind Verpackungen. Das u. a. von der Firma Reifenhäuser im Projekt R-Cycle entwickelte Konzept fasst eine derartige Lösung ins Auge (siehe Kapitel 2.2.2).

Es kann also davon ausgegangen werden, dass Hersteller bei komplexeren, werthaltigeren Produkten eher aus eigener Motivation heraus den Aufwand eines Produktpasses auf sich nehmen als dies bei einfacheren Massenprodukten der Fall ist. Hierbei ist auch der beschriebene Gestaltungsaspekt der eindeutigen Zuordnung eines Produktes zum Produktpass relevant. Bei komplexeren Produkten, insbesondere solchen, die ggf. auch innerhalb von Sharing- oder anders gearteten Service-Systemen genutzt werden können, ist eine eindeutige Identifikation von Produkten schon aus Abrechnungsgründen erforderlich. Hier ließe sich ein Produktpass zumindest organisatorisch gut in existierende Systeme integrieren, Informationen aus diesen nutzen oder eigene Informationen für sie bereitstellen. Grundsätzlich geeignet erscheinen Produkte, die z. B. aus dem Bereich der Konsum- und Investitionsgüter stammen. In diesem Sinne sind beispielsweise Elektrogeräte, Autos, Fahrräder, Haushaltsgeräte denkbare Anwendungsfälle. Insofern wird für die Diskussion im Rahmen der durchgeführten Interviews von einem langlebigen Konsumgut, beispielsweise eine Kaffeemaschine oder ein Werkzeug, ausgegangen.

3. Umsetzung des digitalen Produktpasses mit Hilfe der Blockchain-Technologie

Im folgenden Kapitel werden technische, organisatorische und rechtliche An- und Herausforderungen, die mit der Entwicklung und Umsetzung eines digitalen Produktpasses verbunden sind, beschrieben. Möglichkeiten der Integration des digitalen Produktpasses in eine Blockchain werden erörtert und die Eignung der Blockchain-Technologie für die zentrale Speicherung und Nutzung des digitalen Produktpasses durch unterschiedliche Akteure und unter Berücksichtigungen von Aspekten des Datenschutzes, der Datensicherheit ebenso wie des Energieverbrauchs diskutiert.

3.1. Anforderungen und Herausforderungen

In einem digitalen Produktpass sollen alle über den Lebenszyklus eines Produktes hinweg anfallenden, relevanten Informationen von unterschiedlichen beteiligten Akteuren zusammengeführt, gespeichert und zur Nutzung bereitgestellt werden. Als relevant werden dabei unter anderem Informationen über die Herkunft, Zusammensetzung oder Reparatur- und Recyclingmöglichkeiten erachtet [63]. Standards bezüglich des Inhalts und der technischen Gestaltung eines digitalen Produktpasses werden derzeit vor dem Hintergrund der neuen Batterie-Verordnung insbesondere für Batterien diskutiert und unter Beteiligung von Industrie und Forschung entwickelt [43, 64].

Die für den digitalen Produktpass relevanten Informationen müssen in den unterschiedlichen Phasen des Produktlebenszyklus von der Herstellung bis z. B. zum Recycling oder zur sachgerechten Entsorgung von den verantwortlichen Akteuren erfasst und in einer Datenbank gespeichert werden. Damit andere Akteure die mit dem Produktpass angestrebten Vorteile nutzen können, müssen die Informationen in geeigneter Form und unternehmensübergreifend abrufbar sein. Technische,

organisatorische und rechtliche Anforderungen und Herausforderungen hinsichtlich der Umsetzung eines digitalen Produktpasses können dementsprechend in die drei Bereiche Datenerhebung, Datenspeicherung/-bereitstellung und Datenabruf unterteilt werden (siehe Abbildung 4).

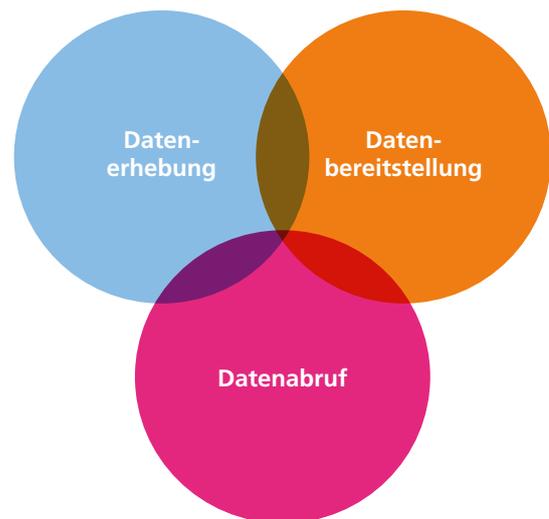


Abbildung 4: Die drei relevanten Bereiche in der Umsetzung des digitalen Produktpasses

3.1.1. An- und Herausforderungen in der Datenerhebung

Da anhand der Informationen im digitalen Produktpass der gesamte Produktlebenszyklus transparent und nachvollziehbar dargestellt werden soll, müssen (je nach Art und Anwendungsfall des Produktes, vgl. Kapitel 2.3) diese systematisch in allen Lebenszyklusphasen erhoben werden. Die Datenerhebung muss durch die jeweils verantwortlichen Akteure, z. B. den Produkthersteller oder Inverkehrbringer, in den einzelnen Lebenszyklusphasen umgesetzt werden. Es ist anzunehmen, dass aktuell noch nicht alle für den digitalen Produktpass relevanten Informationen systematisch von den jeweiligen Akteuren

erfasst und dokumentiert werden. Unternehmen verwenden unterschiedliche Software, um Daten zu erfassen und insbesondere in KMU erfolgt das Datenmanagement zum Teil noch nicht oder noch nicht vollständig digital (siehe Kapitel 2.2.2). Die Systematisierung der Datenerfassung ist daher insbesondere bei Unternehmen mit einem geringen Digitalisierungsgrad voraussichtlich mit einem erheblichen Aufwand verbunden.

Der Umfang der zu erhebenden Daten unterscheidet sich je nach Produkt und Anwendungsfall. Es ist davon auszugehen, dass für einfache, kurzlebige Produkte, wie z. B. eine Einwegverpackung, nach der Produktherstellung deutlich weniger Informationen erfasst werden müssen als bei langlebigen, komplexen Produkten, wie z. B. einer Kaffeemaschine. Komplexe Produkte, die durch Sensorik, Software und weitere Technologien ggf. bereits systemisch vernetzt sind, besitzen bereits einen Vorteil bei der Datenerhebung für den digitalen Produktpass. Demnach spielt neben der Digitalisierung des Unternehmens (siehe Kapitel 2.2.2) ebenfalls die Digitalisierung von Produkten eine entscheidende Rolle für die Datenerhebung und somit für die Umsetzung des digitalen Produktpasses. [65]

3.1.2. An- und Herausforderungen in der Datenbereitstellung

Die erhobenen Produktdaten müssen in geeigneter Form gespeichert und bereitgestellt werden, damit die unterschiedlichen Produktlebenszyklusakteure ebenso wie marktüberwachende Institutionen darauf zugreifen und den digitalen Produktpass für die vorgesehenen Informations- und Analysezwecke nutzen können. Die Datenbereitstellung ist damit neben der Datenerhebung der zweite Funktionsbereich, aus dem sich technische, organisatorische und rechtliche Fragen und Anforderungen hinsichtlich der Gestaltung und Umsetzung des digitalen Produktpasses ableiten lassen.

Eine zentrale technische Herausforderung ist die Zusammenführung der von den unterschiedlichen Akteuren erhobenen Daten in einem System. Es ist anzunehmen, dass sich die genutzten Systeme zur Erhebung, Speicherung und Übertragung der Daten unternehmensübergreifend, aber zum Teil auch innerhalb eines einzelnen Unternehmens unterscheiden und nicht ohne weiteres in eine konsistente Datenstruktur überführt werden können. [66] Es müssen geeignete Standards und Softwarestrukturen für die Formatierung, Übertragung und Speicherung der Daten geschaffen werden, um Kompatibilität zwischen den unterschiedlichen Akteuren und Systemen zu schaffen [67]. Für die zentrale, konsistente Zusammenführung und Speicherung der Daten sind außerdem ausreichende Rechen- und Serverkapazitäten erforderlich. Des Weiteren müssen organisatorische und rechtliche Fragestellungen hinsichtlich der logischen Struktur, der Pflege sowie Administrations- und Nutzungsrechten zwischen allen beteiligten Akteuren

geklärt werden. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass unterschiedliche Akteure die Daten für den digitalen Produktpass erheben und bereitstellen sollen. Das Teilen von Produktdaten geht mit einem großen Vertrauensvorschuss zwischen den Akteuren einher. Viele Unternehmen sind nicht bereit, Daten ohne Einschränkungen und weitere Absicherung zu teilen.

Damit die unterschiedlichen Akteure den digitalen Produktpass nutzen können, müssen entsprechende Schnittstellen zu den Endgeräten oder Systemen, mit denen auf den Produktpass zugegriffen werden soll, geschaffen werden. Der digitale Produktpass muss in einer für die relevanten Akteure gut verständlichen Form strukturiert sein, damit diese die darin enthaltenen Daten, schnell und richtig verstehen und nutzen können. Es müssen Nutzerrechte für den lesenden und schreibenden Zugriff auf die Daten vergeben werden, um beispielsweise die allgemeine Veröffentlichung von nicht allgemein relevanten, vertraulichen Daten zu vermeiden.

Eine Möglichkeit der Sicherung und Bereitstellung der Daten für den digitalen Produktpass, die in den vergangenen Jahren viel Aufmerksamkeit erfahren hat und im Rahmen dieser Kurzstudie gezielt betrachtet wird, ist die Blockchain-Technologie. Eine Blockchain gilt insbesondere für Anwendungsfälle, bei denen viele Akteure Daten übertragen müssen, ohne in einer direkten, vertrauensvollen Beziehung zueinander zu stehen, als geeignet. Als konkrete, geeignete Anwendungsfälle für die Blockchain-Technologie werden unter anderem Nachweise über die Herkunft und Echtheit von Produkten, manipulations-sichere Updates von digitalen Zwillingen und die Koordination firmenübergreifender Wertschöpfungsnetzwerke genannt. Diese Beispiele weisen Parallelen zu den mit dem digitalen Produktpass verfolgten Zielen und Herausforderungen auf. [32]

Eines der zentralen Merkmale der Blockchain-Technologie ist, dass die in der Blockchain gespeicherten Daten auf eine Vielzahl von Rechnern oder Servern verteilt gespeichert werden. Wenn ein Unternehmen oder eine Person Daten, beispielsweise für einen digitalen Produktpass, in eine Blockchain eingibt, werden diese in einem sogenannten Datenblock gespeichert. Eine Kopie dieses Datenblocks wird an alle Rechner und Server, die an der Blockchain beteiligt sind, übermittelt. Dies führt zu einem erhöhten Schutz der Daten vor Verlust und Manipulation.

Personenbezogene Daten, die in den Geltungsbereich der Datenschutz-Grundverordnung (DSGVO) fallen, dürfen unter keinen Umständen in der Blockchain gespeichert werden, da keine Löschung der Daten möglich ist. Da die Daten redundant auf mehreren Rechnern und Servern gespeichert werden, sollte ihr Umfang möglichst klein (wenige Kilobyte) sein. Andernfalls nehmen Transaktionen von neuen Datenblöcken zwischen den unterschiedlichen Rechnern und Servern viel Zeit und Rechenkapazität in Anspruch und es werden große Speicher-/Serverkapazitäten verbraucht (bei x Servern wird

x-mal die gespeicherte Datenmenge in der Blockchain gespeichert). [Sparer, Dominik; persönliches Interview; Dortmund, 06.01.2023]

Um die für den digitalen Produktpass erhobenen Daten in eine Blockchain integrieren zu können, muss zunächst eine Struktur für den Produktpass entwickelt und aufgebaut werden. Hierdurch werden beispielsweise logische Zusammenhänge zwischen den einzelnen Dateneinträgen und Formatvorgaben für die zu speichernden Daten sowie Schnittstellen für den Eintrag und den Abruf von Daten in der Blockchain definiert. Bei der Umsetzung einer Blockchain kann auf bestehende Programme und Standards (z. B. für Schnittstellen) zurückgegriffen werden. Aktuell gibt es für viele Anwendungsfälle noch keine entsprechenden Grundlagen, weshalb oftmals (ergänzend) auf eigene Programmierungen und die Etablierung von ersten Standards zurückgegriffen wird. Dateneingaben können ebenfalls manuell über entsprechende Interfaces ermöglicht werden. Die Übertragung der Daten erfolgt verschlüsselt und signiert. Die Signatur der Datentransaktionen basiert auf einem Private-Key-Verfahren, bei dem ein Full Node aus dem Blockchain-System einen geheimen Schlüssel generiert und an den jeweiligen Akteur vergibt. Über diesen Schlüssel wird der neue Datenblock signiert und es ist rückverfolgbar, welcher an der Blockchain beteiligte Akteur welche Daten erhoben und bereitgestellt hat.

Die Integration erhobener Daten für den digitalen Produktpass erfordert keine besondere technische Ausstattung der beteiligten Personen bzw. Unternehmen, sondern kann über gängige Endgeräte, wie z. B. Smartphones und Computer, erfolgen. Je nach Rolle, die ein Unternehmen oder eine Person innerhalb der Blockchain ausübt, variiert jedoch die für die entsprechend auszuführenden Funktionen (z. B. Bereitstellung oder Abruf erhobener Daten) benötigte Rechnerleistung. Dies ist darauf zurückzuführen, dass unterschiedliche Interaktionen mit der Blockchain mit der Ausführung unterschiedlicher Algorithmen und Rechenprozesse verbunden sind. Betreibt ein beteiligtes Unternehmen einen Full Node-Computer/-Server, auf dem eine Kopie der gesamten Blockchain und eine Historie aller daran ausgeführten Änderungen gespeichert und fortlaufend mittels Konsensalgorithmus geprüft und synchronisiert wird, werden größere Speicher- und Rechenkapazitäten benötigt, als für die einfache Eingabe oder den Abruf von neuen Datenblöcken. [Sparer, Dominik; persönliches Interview; Dortmund, 06.01.2023]

Daten, die einmal in der Blockchain gespeichert wurden, können nachträglich nicht mehr geändert werden. Lediglich neu hinzugefügte Daten können alte Daten um neue aktuellere Informationen ergänzen. Ein Zugriff auf die vorherigen Dateneinträge ist weiterhin möglich. Es ist daher sinnvoll, an den Schnittstellen für die Integration von Daten in die Blockchain entsprechende Vorkehrungen (z. B. durch Eingrenzung von Eingabeformaten) zu treffen, die fehlerhafte Eingaben verhindern.

Aufgrund der Unveränderbarkeit von in der Blockchain gespeicherten Informationen sind diese in Abhängigkeit von ihrer konkreten Ausgestaltung insbesondere als öffentliche Blockchains vor dem Hintergrund der Datenschutzgrundverordnung kritisch zu sehen. Konsortiale oder private Blockchains können jedoch DSGVO-konform betrieben werden, selbst für den kritischen Bereich der Gesundheitsdaten existieren hier Ansätze, die im Kern darin bestehen vorab Informationen zu definieren, die außerhalb der Blockchain zu speichern sind. [68, 69]

Einige große Unternehmen wie z. B. SAP arbeiten bereits an der Entwicklung von Schnittstellen, mit denen Daten systematisch aus z. B. ERP- oder anderen Drittsystemen einzelner Produktlebenszyklusakteure in eine Blockchain übertragen werden können. Diese decken allerdings meist spezifische Anwendungsfälle ab und sind nicht ohne Weiteres auf alle Blockchain-Lösungen übertragbar. Es ist zu erwarten, dass die Konzeptionierung und der Aufbau einer Blockchain zur Speicherung und Bereitstellung von Daten vieler unterschiedlicher Akteure für den digitalen Produktpass mit großem Aufwand verbunden ist, da noch keine etablierten Standards bestehen.

3.1.3. An- und Herausforderungen im Datenabruf

Bei einem Abruf der Daten aus der Blockchain muss sichergestellt werden, dass Akteure einerseits auf die für sie relevanten Daten zugreifen können und andererseits keine geheimhaltungsbedürftigen Daten gegenüber Wettbewerbern veröffentlicht werden. Geheimhaltungsbedürftige Daten können z. B. Daten über die genaue Zusammensetzung eines Produktes sein, die z. B. ein Betriebsgeheimnis oder wesentlichen Wettbewerbsvorteil darstellen. Es muss gewährleistet sein, dass nur berechnigte Akteure Zugang zu kritischen und sensiblen Informationen erhalten. [67]

Blockchain-Lösungen können entsprechend der Ausgestaltung ihrer Zugriffsberechtigungen nach öffentlichen, privaten und konsortialen Blockchains unterschieden werden. Öffentliche Blockchains sind für jede Person und jedes Unternehmen vollständig zugänglich. Private und konsortiale Blockchains sind dagegen nur für zugelassene Teilnehmer mit spezifischen Zugriffsrechten einsehbar. In privaten Blockchains wird eine grundsätzliche Vertrauenswürdigkeit der teilnehmenden Akteure angenommen und es werden daher weniger komplexe Konsensalgorithmen für die Validierung von neuen Dateneinträgen verwendet. Dies führt zu einem tendenziell niedrigeren Energieverbrauch für Speicher- und Rechenleistungen. Vor dem Hintergrund der verfolgten Nachhaltigkeitsziele mit der Einführung eines digitalen Produktpasses ist dies ein zu beachtender Vorteil. Die Festlegung von Teilnehmern und Regeln (z. B. hinsichtlich der Zugriffsrechte) erfolgt in der privaten Blockchain durch eine zentrale Instanz, was eine höhere Flexibilität gegenüber öffentlichen und konsortialen

Blockchains ermöglicht. In öffentlichen und konsortialen Blockchains werden Entscheidungen von einer Teilnehmermehrheit (öffentliche Blockchain) oder einem Konsortium (konsortiale Blockchain) getroffen. [70] Der Zugriff auf die Blockchain kann zum einen abschnittsweise eingeschränkt werden, zum anderen kann festgelegt werden, ob Teilnehmer gespeicherte Informationen in Klartext oder nur den jeweils zugeordneten Hashwert sehen können. Auf diese Weise lassen sich vor allem bei sogenannten Client Nodes die Zugriffsrechte einfach regeln [Sparer, Dominik; persönliches Interview; Dortmund, 06.01.2023].

In diesem Zusammenhang ist die Frage zu klären, welche Akteure die Organisation einer Blockchain inklusive der Abstimmung von unterschiedlichen Anforderungen mit allen beteiligten Akteuren übernehmen. Die darauf aufbauende technische Umsetzung und Pflege der Blockchain muss jedoch nicht durch die Akteure selbst durchgeführt werden, wenn das entsprechende Know-how oder die erforderlichen (Server-) Ressourcen fehlen. Durch eine Auslagerung an externe Dienstleister, welche Blockchain as a Service (BaaS) anbieten, können diese Aufgaben reduziert werden. Bekannte Dienstleister sind z. B. die Hard- und Softwareentwicklungsunternehmen Microsoft und Oracle [71, 72] [Sparer, Dominik; persönliches Interview; Dortmund, 06.01.2023].

Alle Anforderungen und Herausforderungen für den digitalen Produktpass sind in Abbildung 5 zusammengefasst.

3.2. Die Blockchain-Technologie als Lösung für den digitalen Produktpass

Es wird bereits viel über das Potenzial der Blockchain-Technologie diskutiert. Als Umsetzungsstrategie für den digitalen Produktpass wird die Blockchain als vielversprechende Technologie auch von offizieller Stelle her betrachtet. [63]

Blockchain-Experten erachten den Einsatz einer Blockchain für den Anwendungsfall des digitalen Produktpasses als sinnvoll. Der Anwendungsfall kann dabei in eine Gruppe von ähnlichen Use-Cases eingegliedert werden in der die Zertifizierung und Informationsbereitstellung eine zentrale Rolle spielt. Demnach ist die Umsetzung des digitalen Produktpasses ähnlich wie die Umsetzung einer digitalen Lebenslaufakte im Bereich Maintenance oder auch die Zertifizierung von Nahrungsmitteln mit der Blockchain-Technologie. Da die Funktionsweise der Blockchain sich in den Use-Cases ähnelt ist es eine interessante Aufgabe für diese Anwendungsfälle neue Standardlösungen auszuarbeiten. [Sparer, Dominik; persönliches Interview; Dortmund, 06.01.2023]

In Abbildung 6 ist konzeptionell dargestellt, wie die Interaktion der Akteure mit der Blockchain funktionieren kann.



Abbildung 5: An- und Herausforderung zur Umsetzung des digitalen Produktpasses

3.2.1. Potenziale bei der Umsetzung des digitalen Produktpasses

Die Umsetzung eines Blockchain-basierten digitalen Produktpasses bietet gegenüber anderen Lösungsansätzen folgende Potenziale:

- **Transparenz:** Die Bündelung der Daten auf der Blockchain schafft eine neue Transparenz. Jeder autorisierte Teilnehmer der Blockchain kann im Rahmen seiner Zugriffsrechte die für ihn relevanten Informationen einsehen. Die Blockchain-Technologie stellt die Inhalte einheitlich dar, so dass Missverständnisse ausgeschlossen werden können.
- **Demokratische Zusammenarbeit:** Die Blockchain-Technologie ermöglicht eine vertrauenswürdige Zusammenarbeit vieler unabhängiger Parteien. Durch die Dezentralität können die Blockchain-Teilnehmer miteinander interagieren, ohne dass es einer zentralen Autorität bedarf.
- **Ausfallsicherheit:** Durch die Dezentralität der Blockchain-Lösung unterliegt die Sicherstellung der Verfügbarkeit der Produktdaten und -Informationen nicht nur einem Teilnehmer der Wertschöpfungskette, wie bei einer zentralen Datenbank, sondern ist vollständig auf alle Blockchain-Knoten im Netzwerk verteilt. Auch im Falle eines Serverausfalls kommt es zu keinen Ausfallzeiten für die Datenverfügbarkeit, da in einem Blockchain-Netzwerk noch ausreichend Server zur Verfügung stehen.
- **Unveränderbarkeit:** Die Inhalte der Blockchain sind jederzeit zum Urheber rückverfolgbar. Die Tatsache, dass die Inhalte aus der Blockchain nicht wieder gelöscht werden können, schafft eine neue Sicherheit für alle Teilnehmer.

- **Vereinfachte Datenkommunikation:** Die unternehmensübergreifende Datenteilung wird durch den Einsatz einer Blockchain deutlich erleichtert, da nicht alle Systeme und Teilnehmer isoliert miteinander kommunizieren, sondern die Blockchain das zentrale Bindeglied darstellt.
- **Nachhaltigkeit:** Die zugriffsgesicherte Bereitstellung von passgenauen und verifizierbaren Produktinformationen für jeweils relevante Akteure ist eine Voraussetzung für die Umsetzung zielgerichteter Kreislaufführungsmaßnahmen. Die Blockchain-Technologie kann durch die Unveränderbarkeit gespeicherter Informationen einen Beitrag dazu leisten.

3.2.2. Herausforderungen bei der Umsetzung des digitalen Produktpasses

Neben den in Kapitel 3.2.1 beschriebenen Potenzialen ist die Umsetzung eines Blockchain-basierten digitalen Produktpasses jedoch auch mit Herausforderungen verbunden. Folgende aktuelle und zukünftige Herausforderungen sind bei der Entwicklung und Umsetzung von Lösungen zu berücksichtigen:

- **Inhalte für die Blockchain:** In vielen Unternehmen sind die relevanten Produktinformationen noch nicht oder nur teilweise verfügbar.
- **Einheitliche Gestaltung einer Blockchain-Lösung:** Um Produkte durch die Produktinformationen vergleichbar zu machen ist der einheitliche Aufbau sowie Vorgaben hinsichtlich der Datenformate und -Darstellungen unumgänglich.
- **Technische Umsetzung:** Für eine sinnvolle und sichere Umsetzung des digitalen Produktpasses mit der Blockchain-Technologie ist die maschinelle Dateneingabe anzuraten. Hierfür existieren noch keine standardisierten Schnittstellen, um beispielsweise Produktdaten aus bestehenden ERP-Systemen in die Blockchain zu überführen.

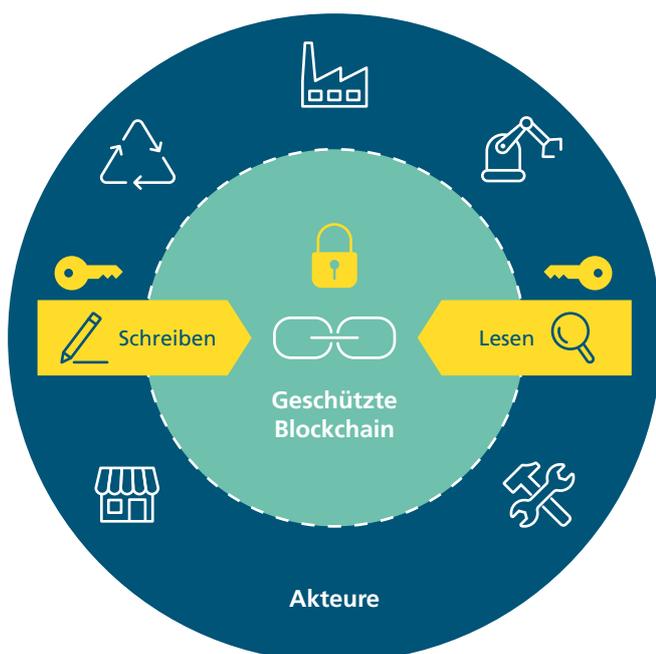


Abbildung 6: Interaktion der Akteure mit der Blockchain

4. Ergebnisse und Bedeutung für die praktische Umsetzung

Zur Identifikation des Status-Quo in den Unternehmen wurde eine Umfrage in Kombination mit Experten-Interviews durchgeführt. Zielsetzung der Studie ist es, den aktuellen Wissensstand von Unternehmen zum Thema digitaler Produktpass sowie zur Blockchain-Technologie abzufragen sowie die aktuellen Potenziale und Herausforderungen der Blockchain-Technologie zur Umsetzung des digitalen Produktpass zu identifizieren.

Die Datenerhebung der Studie fand in Form einer Online-Befragung mit anschließenden Experten-Interviews statt. Insgesamt wurden 29 Fragen aus 5 verschiedenen Themenbereichen gewählt. Für eine bessere Auswertungsmöglichkeit wurden Antwortmöglichkeiten vorgegeben, die Teilnehmenden hatten jedoch die Möglichkeit diese um eigene Antwortmöglichkeiten zu ergänzen. Falls die Frage nicht verstanden

wurde oder keine Relevanz für das Unternehmen vorhanden war, konnten die Teilnehmenden »keine Angabe« als Antwortmöglichkeit auswählen.

Die Umfrage fand im Februar 2023 statt. Insgesamt konnten durch die Streuung der Umfrage über den Newsletter des MWIKE NRW sowie über Blockchain Europe über 500 potenzielle Teilnehmende erreicht werden. Insgesamt haben sich drei Unternehmen zurückgemeldet von denen zwei im Anschluss an die Umfrage für ein Experten-Interview zu Verfügung standen. Die Experten vertreten die Bereiche Industrie, Logistik sowie digitaler Produktpass in Kombination mit der Blockchain-Technologie.

Die Inhalte der Studie werten den aktuellen Wissensstand von Unternehmen in Bezug auf den digitalen Produktpass und der

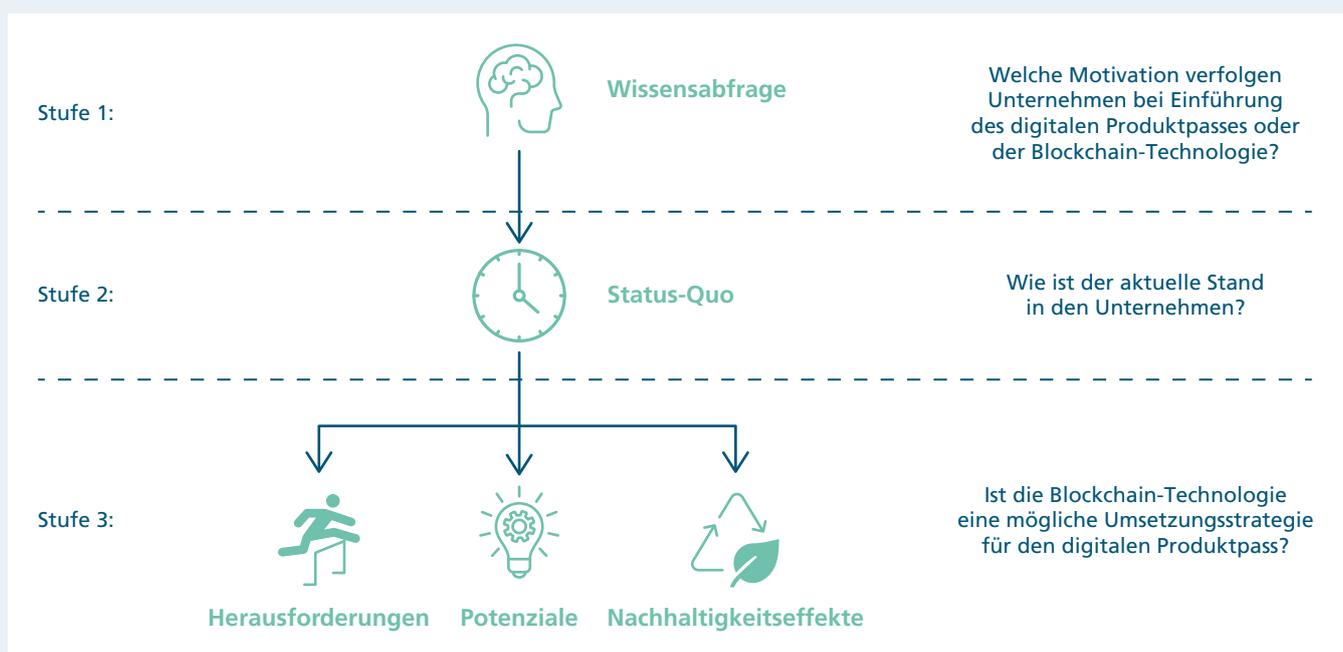


Abbildung 7: Leitbild »Digitaler Produktpass mit Hilfe der Blockchain-Technologie«

Blockchain-Technologie aus und stellen die aktuelle Situation der Unternehmen in der Zielsetzung des digitalen Produktpasses sowie den daraus resultierenden Potenziale, Herausforderungen und Nachhaltigkeitseffekten für die Zukunft dar. Die Studie fokussiert sich daher auf die folgenden Themenbereiche:

- Wissensabfrage zum digitalen Produktpass und der Blockchain-Technologie
- Aktueller Stand in den Unternehmen
- Herausforderungen
- Potenziale
- Nachhaltigkeitseffekte

Die Vorstellung der Studienergebnisse orientiert sich an dem Leitbild »Digitaler Produktpass mit Hilfe der Blockchain-Technologie« (siehe Abbildung 7). Das Leitbild setzt sich dabei aus drei aufeinander aufbauenden Stufen zusammen. Die erste Stufe befasst sich mit der Beantwortung der Frage »Welche Motivation verfolgen Unternehmen bei Einführung des digitalen Produktpasses oder der Blockchain-Technologie?«. Die zweite Stufe fokussiert sich auf die Darstellung des aktuellen Standes der Unternehmen. Es wird untersucht, inwieweit die Motivation der Unternehmen bereits zu Handlungen innerhalb der Lieferkette geführt haben. Stufe drei bündelt die Themenbereiche »Herausforderungen«, »Potenziale« und »Nachhaltigkeitseffekte«. Es soll die Frage beantwortet werden, inwieweit die Blockchain-Technologie eine Umsetzungsstrategie für den digitalen Produktpass ermöglicht.

4.1. Stufe 1: Wissensabfrage und Motivation der Unternehmen

Ein Wissensstand bei den befragten Unternehmen zum digitalen Produktpass ist teilweise vorhanden. Zwei der drei befragten Unternehmen ist der digitale Produktpass bekannt. Jedoch war dieser bei keinem der Unternehmen bereits ein Thema innerhalb der eigenen Lieferkette. Bei dem Industrie- oder Logistik-Unternehmen konnte keine Motivation zur Einführung des digitalen Produktpasses identifiziert werden. Auf die Frage, ob eine Motivation intrinsisch, zur Erlangung eines Wettbewerbsvorteils, aus rechtlichen Anforderungen oder sonstigem vorliegt antworteten die befragten Experten mit nein. Es fällt auf, dass die Verantwortung zur Umsetzung des digitalen Produktpasses bei der Industrie gesehen wird.

Es müssen sich alle Teilnehmer innerhalb der Lieferkette an der Umsetzung des digitalen Produktpasses beteiligen. Sofern lediglich ein Akteur die Einführung des digitalen Produktpasses initiiert, müssen Partner, wie z. B. Logistikdienstleister, verschiedene Lösungen mit unterschiedlichen Technologien bedienen können.

Trotz dieser Aussage befasst sich ein Experte mit einer möglichen Konzeptionierung des digitalen Produktpasses. Eine ausgereifte Lösung ist diesem jedoch nicht bekannt.

Allen befragten Unternehmen ist die Blockchain-Technologie bekannt. Zwei der drei Unternehmen konzeptionieren eine Lösung mit Hilfe der Blockchain-Technologie bzw. befinden sich bereits in dessen Umsetzung. Allerdings hat keines der befragten Unternehmen eine ausgereifte Lösung im Einsatz und konnte auf diesem Weg erste Erfahrungen mit der Blockchain-Technologie sammeln. Die Motivation bei der Einführung der Blockchain-Technologie sieht das Industrieunternehmen besonders in der Schaffung von Transparenz.

Aus der geringen Teilnehmerquote lässt sich dennoch ableiten, dass der digitale Produktpass und/oder die Blockchain-Technologie von vielen Unternehmen als nicht relevant eingeschätzt werden. Acht Unternehmen haben die Umfrage begonnen, diese jedoch bei dem Themengebiet Wissensabfrage abgebrochen.

4.2. Stufe 2: Status quo in Unternehmen

Der digitale Produktpass verfolgt das Ziel, alle Informationen über das Produkt zusammenzufassen und diese in angemessener Weise abrufbar zu machen. Die Umfrage hat ergeben, dass aktuell kaum Produktinformationen geteilt werden. Die Bereitstellung von Daten bezieht sich lediglich auf die Materialzusammensetzung, wenn nachverfolgbarkeitswürdige Materialien, wie z. B. Rezyklat, eingesetzt werden. Darüber hinaus werden keine Produktdaten mit der Lieferkette geteilt. Sofern Kunden oder Lieferanten spezielle Produktdaten benötigen, werden diese auf Anfrage per E-Mail bereitgestellt. Bei den befragten Unternehmen ist keine durchgängige systemische Datenübertragung vorhanden. Als ein Grund für die mangelnde Datenteilung wird die unzureichende Datenerhebung genannt.

Ein Ansatz zur Erhebung von Nachhaltigkeitsdaten bietet das Corporate Sustainability Reporting Directive (CSRD) für Großunternehmen und kapitalmarktorientierte Unternehmen mit

Ausnahme von Kleinstunternehmen ab 2025. Aus diesem Grund beschäftigt sich das Industrieunternehmen mit einer Lösung zur Erhebung entsprechender Nachhaltigkeitsdaten, welche ebenfalls für den digitalen Produktpass genutzt werden können.

Die befragten Unternehmen weisen große Differenzen in der Datenerfassung und -bereitstellung auf. Diese Bereiche sind jedoch Voraussetzungen für die erfolgreiche Nutzung des digitalen Produktpasses.

4.3. Stufe 3: Blockchain als mögliche Umsetzungsstrategie

Aktuell fühlt sich keines der befragten Unternehmen in der Lage den digitalen Produktpass umzusetzen. Die Unternehmen nennen folgende Punkte als größte Herausforderungen zur Umsetzung: mangelnde Datenverfügbarkeit, unzureichender Datenaustausch, fehlende Standards, fehlende gesetzliche Rahmenbedingungen sowie ein fehlendes Anreizsystem für die Unternehmen. Auf die Frage, welche Herausforderungen bei der Datenteilung vorliegen, werden Schwierigkeiten in der Datenerfassung sowie der mangelnden Digitalisierung der Unternehmen gesehen. Als weitere Gründe werden bestehendes Misstrauen in die Datensicherheit, fehlende Schnittstellen und die Koordination der Lieferkettenpartner als Herausforderungen von den Unternehmen angeführt.

Die Nennung von Herausforderungen, welche hauptsächlich den Bereichen Datenerfassung und -bereitstellung zuzuordnen sind, bestätigen die Ergebnisse aus Stufe 2. Die befragten Unternehmen sind sich durchaus über die Problemstellung der mangelnden Digitalisierung bewusst, jedoch erscheint diese nicht auf einfachem Weg lösbar zu sein.

Die Blockchain-Technologie begegnet folgenden Herausforderungen: Datensicherheit, fehlende Schnittstellen und die Koordination der Lieferkettenpartner. Die Problematiken hinsichtlich mangelnder Datenerhebung sowie fehlender Digitalisierung können nicht im Rahmen einer technologischen Lösung für den digitalen Produktpass behoben werden. Diese Bereiche sind Voraussetzungen und müssen von den Unternehmen selbstständig angegangen werden.

Alle Unternehmen sehen Potenziale in der Nutzung des digitalen Produktpasses und der Umsetzung mittels der Blockchain-Technologie. In der Befragung konnten die Unternehmen die Top-Drei der Potenziale ranken. Die folgenden Punkte werden von allen Unternehmen als größte Potenziale wahrgenommen:

1. **Transparenz**
2. **Vereinfachte Datenkommunikation**
3. **Datenunterveränderbarkeit**

Außerdem erhoffen sich die Unternehmen einen positiven Einfluss auf die Nachhaltigkeit. Als Hauptpotenziale werden dabei die Wiederverwendung und Verwertung von Komponenten und Materialien gesehen sowie eine bessere Rückführung von Produkten und ein potenziell nachhaltiges Geschäftsmodell.

Die von den Unternehmen hervorgehobenen Herausforderungen und Potenziale des mittels der Blockchain-Technologie umgesetzten digitalen Produktpass sind in Abbildung 8 dargestellt.

4.4. Handlungsfelder und Potenziale

Das wichtigste Handlungsfeld für die Umsetzung des digitalen Produktpasses mit Unterstützung der Blockchain-Technologie ist eine Analyse und kritische Prüfung des Kosten-Nutzen-Verhältnisses. Die in Kapitel 1.1.4 beschriebenen mit der Nachhaltigkeit in der Anwendung verbundenen Herausforderungen sind insbesondere im Kontext einer nachhaltigkeitsmotivierten Umsetzung wie beim Produktpass kritisch zu prüfen. Dazu sind im Idealfall vorab ökologische Abschätzungen durchzuführen, um eine Vorteilhaftigkeit der Blockchain nachzuweisen. Alternativ wären derartige, vergleichende Untersuchungen mit dem Ziel der Übertragung im Rahmen von Forschungsprojekten durchzuführen.

Ein weiteres wichtiges Handlungsfeld ist die Entscheidung zugunsten eines Blockchain-Konzepts (auch hier bestehen wesentliche Anknüpfungspunkte zum Thema Energieeffizienz), das insbesondere auch die Integration verschiedener Akteure ermöglicht. Während private Blockchains aus Effizienzgründen die attraktivste Variante darstellen, sind sie mit Blick auf die gewünschte, möglichst einfache Zugänglichkeit kritisch zu hinterfragen. Öffentliche Blockchains hingegen sind aufgrund der Ein- und Zugriffsmöglichkeiten attraktiver für Produktpässe, aber aus Gründen der mit ihnen verbundenen, im Regelfall hohen Energieverbräuchen vor dem jeweiligen Anwendungsfall zu prüfen.

Für ein zielgerichtetes Recycling kann beispielsweise die Offenlegung bestimmter schützenswerter Informationen zur Produktzusammensetzung erforderlich sein, weshalb autorisierter Zugriff auf derartige Informationen geregelt werden muss. Komplette öffentliche Blockchains erscheinen aus diesem Grund eher ungeeignet. Gleichzeitig ist es eine Herausforderung Endnutzer einzubinden, da diese in der Regel nicht über die Zugehörigkeit zu einem Unternehmen o. ä. identifiziert werden können. Eine generelle Schreibberechtigung ohne Verifizierung birgt jedoch ebenfalls Missbrauchspotenzial und damit einhergehend die Gefahr, dass relevante Aspekte der Produktnutzung nicht oder fehlerhaft dokumentiert werden.

Aufgrund der dauerhaften Speicherung von Informationen auf der Blockchain ist eine sorgfältige Vorauswahl festzuhaltender Informationen erforderlich. Dies betrifft nicht nur datenschutzrechtliche Bedenken (Details in Kapitel 3.1) sondern auch den mit der Speicherung verbundenen Aufwand sowie den Speicher- und Energieverbrauch. Es kann sinnvoller sein, größere Informationsmengen in separaten Systemen abzulegen. Ferner sind Informationen, auf die nur berechtigter Zugriff möglich sein soll, außerhalb der Blockchain abzulegen. Lediglich die Authentizität der Dokumente wird dann über die Blockchain verifiziert.

Das mit Blick auf die Anwendung im Kontext digitaler Produktpässe größte Potenzial bietet die Unveränderbarkeit von auf der Blockchain gespeicherten Informationen, die eine dauerhafte Verifikation »echter« Informationen zu Produkten erlaubt. Gerade zum Produktlebensende sind (z. B. für eine Reparatur oder das Recycling) relevante Informationen, die bspw. aus der Produktherstellung stammen oder durch die Nutzung verursacht wurden, nur selten noch am Produkt erhalten. Sofern diese nachträglich beschafft werden können, ist eine Verifikation, wie sie über die Blockchain gelöst werden kann, hilfreich, um ideale End-of-Life-Lösungen auszuwählen und durchzuführen.

In diesem Zusammenhang bietet auch die veränderungssichere Dokumentation von Zustands-, Nutzungs- und Instandhaltungshistorie Potenziale zur Verbesserung des Status quo. Sofern die in den obigen Handlungsfeldern identifizierten Herausforderungen bzgl. der Berechtigungen zu Speicherung und Abruf von Informationen gelöst werden können, sind aus einer verifizierten und idealerweise eventbasierten Nutzungshistorie wertvolle Informationen zum Umgang mit einem Produkt nach dem jeweils endenden Nutzungszyklus zu entnehmen. Auf diese Weise können beispielsweise erforderliche Reparaturen frühzeitig, also bevor es zu einem Ausfall des Produktes kommt, initiiert und die Produktlebensdauer verlängert werden.



Abbildung 8: Potenziale und Herausforderungen aus Unternehmenssicht

5. Zusammenfassung

Der digitale Produktpass ist ein Lösungsansatz für die Unterstützung einer effizienten Kreislaufführung von Produkten und Materialien. Auch wenn die gesetzlichen Rahmenbedingungen noch nicht vollständig geklärt sind, ist davon auszugehen, dass der digitale Produktpass bis 2030 in vielen Unternehmen eingesetzt wird. Die Blockchain-Technologie bietet eine ganzheitliche technologische Umsetzungsstrategie für den digitalen Produktpass, welche den identifizierten Herausforderungen gerecht werden kann. Im Folgenden sind die Hauptaussagen der vorliegenden Studie thesenartig zusammengefasst.

Die Akteure besitzen wenig bis kein Wissen über den digitalen Produktpass und haben aktuell keine intrinsische Motivation diesen umzusetzen.

Das geringe Wissen über den digitalen Produktpass der Unternehmen kann darauf zurückgeführt werden, dass die Unternehmen die Relevanz aktuell als gering einschätzen.

Die Grundvoraussetzungen zur Einführung des digitalen Produktpasses sind seitens der Unternehmen nicht ausreichend vorhanden.

Als Voraussetzung zur Umsetzung des digitalen Produktpasses benötigen Unternehmen eine ausreichende Digitalisierung. Es bestehen Handlungsbedarfe in den Bereichen Datenerfassung und -bereitstellung.

Unternehmensseitig werden die Herausforderungen zur Umsetzung des digitalen Produktpasses vor allem in der mangelnden Digitalisierung, fehlenden gesetzlichen Rahmenbedingungen und einem fehlenden Anreizsystem gesehen.

Fehlende Standards führen zu einer geringen Motivation der Unternehmen. Es ist notwendig, dass ein genereller Standard zur Umsetzung des digitalen Produktpasses entwickelt wird. Ein zusätzliches Anreizsystem neben den gesetzlichen Vorgaben würde die intrinsische Motivation der Unternehmen stärken.

Die Potenziale des digitalen Produktpasses werden von den Unternehmen erkannt.

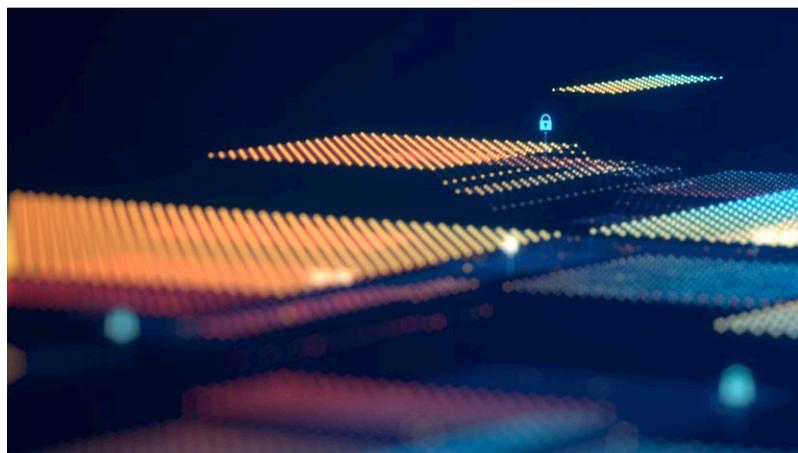
Vor allem die Transparenz, eine vereinfachte Kommunikation, die Datenunveränderbarkeit und Nachhaltigkeitseffekte, welche die Kreislaufwirtschaft stärken werden von den Unternehmen als Potenziale wahrgenommen.

Für die Umsetzung des digitalen Produktpasses ist die Blockchain-Technologie eine geeignete Lösung.

Die Blockchain-Technologie zahlt auf die bestehenden Anforderungen des digitalen Produktpasses ein. Unter anderem gehören dazu eine erhöhte Datensicherheit, konfigurierbare Zugangsrechte, eine einfache Dateneinspeisung sowie die Möglichkeit heterogene Informationssysteme einzubeziehen.

Die Blockchain-Technologie ist kein Hemmnis zur Umsetzung des digitalen Produktpasses.

Die Blockchain-Technologie wird bereits bei den Unternehmen eingeführt und es bestehen keine Berührungspunkte.



6. Ausblick

Die Studienergebnisse verdeutlichen, wie weit die Gedanken der Unternehmen bezogen auf den digitalen Produktpass vorangeschritten sind. Die Absicht der Unternehmen besteht zunächst darin, sich auf die Schaffung geeigneter Standards zu verlassen. Es bleibt jedoch abzuwarten, welcher Ansatz des digitalen Produktpasses sich als Standard durchsetzen wird. Ob die Blockchain-Technologie zukünftig als technologische Umsetzungsstrategie für den digitalen Produktpass eingesetzt wird, hängt unter anderem von den Early Adoptern ab.

Eine schnelle Umsetzung und Stärkung des digitalen Produktpasses ist gerade im Hinblick auf die Stärkung der Kreislaufwirtschaft erforderlich. Die Kreislaufwirtschaft geht nicht nur mit der Schonung natürlicher Ressourcen und der Vermeidung negativer Umweltauswirkungen einher, sondern durch die zunehmende Möglichkeit Materialien zu recyceln oder Produktbestandteile erneut zu nutzen, können signifikante Effizienzsteigerungen erzielt werden. Dies setzt allerdings die Nutzung der jeweils effizientesten Möglichkeit zur Kreislaufführung, z. B. eine gezielte Aufbereitung oder ein an den Eingangstrom zugeschnittenes Recycling voraus. In beiden Fällen sind detaillierte Produktinformationen erforderlich, um hochwertige Kreislaufführung zu ermöglichen. Wenn sie

Prinzipien der Circular Economy stringent umsetzen, können Unternehmen beispielsweise ihre Beschaffungsbasis verbreitern und auf diese Weise eine gesteigerte Resilienz bezogen auf die vorherrschende Ressourcen- und Energieknappheit erreichen.

Die Nutzung des digitalen Produktpasses bietet den Unternehmen außerdem die Möglichkeit, neue Geschäftsmodelle zu entwickeln und sich auf diesem Weg einen Wettbewerbsvorteil gegenüber Wettbewerbern zu verschaffen. Beispielsweise vereinfacht der Einsatz der Blockchain-Technologie den manipulationsicheren Nachweis von Nutzungsdaten. Bestehende Ansätze im Bereich Pay-per-Use können weiter entwickelt werden, indem diese unveränderbaren Daten für eine wahrheitsgemäße und sichere Abrechnung der Nutzungsphase verwendet werden. Des Weiteren bestehen neue Möglichkeiten im Bereich des zertifizierten Ersatzteileaustauschs oder von Second Use Produkten.

Grundsätzlich sollten Unternehmen schnellstmöglich Bestrebungen initiieren, um die Voraussetzungen für die Einführung eines digitalen Produktpasses zu schaffen. Werden diese Vorbereitungen nicht getroffen, kann es zu Schwierigkeiten bei der Umsetzung des digitalen Produktpasses kommen, sobald die gesetzlich festgelegte Deadline erreicht ist.



7. Literatur

- [1] **Holschbach, E., Buss, E. (2022):** Blockchain in Einkauf und Supply Chain. Technologie, Anwendungen und Potentiale in der Praxis. Wiesbaden, [Heidelberg]: Springer Gabler.
- [2] **Fill, H.-G., Härer, F., Meier, A. (2020):** Wie funktioniert die Blockchain? In: Fill, H.-G., Meier, A. (Hrsg.): Blockchain. Grundlagen, Anwendungsszenarien und Nutzungspotenziale. Wiesbaden: Springer Vieweg, S. 3–19.
- [3] **Sparer, D., Günther, M.D., Heyer, C. (2020):** A Multi-Light-Node Blockchain Architecture. Whitepaper. Future Challenges in Logistics and Supply Chain Management. Dortmund: Fraunhofer-Gesellschaft.
- [4] **Hellwig, D., Karlic, G., Huchzermeier, A. (2021):** Entwickeln Sie Ihre eigene Blockchain. Ein praktischer Leitfaden zur Distributed-Ledger-Technologie. Berlin: Springer Gabler.
- [5] **Gronwald, K.-D. (2023):** Globale Kommunikation und Kollaboration. Globale Supply Chain Netzwerk-Integration, interkulturelle Kompetenzen, Arbeit und Kommunikation in virtuellen Teams. Wiesbaden: Springer Vieweg.
- [6] **Tanwar, S. (2022):** Blockchain Technology. From Theory to Practice. Studies in Autonomic, Data-driven and Industrial Computing. Singapore: Springer.
- [7] **Adam, K. (2022):** Blockchain-Technologie für Unternehmensprozesse. Sinnvolle Anwendung der neuen Technologie in Unternehmen. 2. Auflage. Berlin: Springer Gabler.
- [8] **Deutscher Ethikrat (2017):** Big Data und Gesundheit. Datensouveränität als informationelle Freiheitsgestaltung. Stellungnahme. Berlin: Deutscher Ethikrat.
- [9] **Koller, R., Kamphues, J. (2021):** Blockchain und Smart Contracts. In: Ten Hompel, M., Henke, M., Otto, B. (Hrsg.): Silicon Economy. Wie digitale Plattformen industrielle Wertschöpfungsnetzwerke global verändern. Berlin: Springer Vieweg, S. 122–139.
- [10] **Groß, D. (2022):** Vertragsdurchführung mit Smart Contracts – rechtliche Rahmenbedingungen und Herausforderungen. In: Rohde, M., Bürger, M., Peneva, K., Mock, J. (Hrsg.): Datenwirtschaft und Datentechnologie. Wie aus Daten Wert entsteht. Berlin: Springer Vieweg, S. 145–159.
- [11] **Jakob, S., Schulte, A.T., Sparer, D., Koller, R., Henke, M. (2018):** Social Networked Industry ganzheitlich gestalten. »Future Challenges in Logistics and Supply Chain Management. Dortmund: Fraunhofer IML.
- [12] **Hoffmann, T., Skwarek, V. (2019):** Blockchain, Smart Contracts und Recht. Smart Contracts als Risiko für Informatiker. Informatik Spektrum 42(3), S. 197–204, doi:10.1007/s00287-019-01180-3.
- [13] **Chowdhury, M.J.M., Colman, A., Kabir, M.A., Han, J., Sarda, P. (2018): Blockchain Versus Database: A Critical Analysis.** : 2018 17th IEEE International Conference On Trust, Security And Privacy In Computing And Communications/ 12th IEEE International Conference On Big Data Science And Engineering (TrustCom/BigDataSE) IEEE, S. 1348–1353.
- [14] **Ali, O., Jaradat, A., Kulakli, A., Abuhalimeh, A. (2021):** A Comparative Study: Blockchain Technology Utilization Benefits, Challenges and Functionalities. IEEE Access 9, S. 12730–12749, doi:10.1109/ACCESS.2021.3050241.
- [15] **Digiconomist (2021):** Bitcoin Electronic Waste Monitor - Digiconomist. <https://digiconomist.net/bitcoin-electronic-waste-monitor/>. Zugegriffen: 05. Dezember 2022.

- [16] **Digiconomist (2022)**: Bitcoin Energy Consumption Index - Digiconomist. <https://digiconomist.net/bitcoin-energy-consumption>. Zugegriffen: 05. Dezember 2022.
- [17] **Digiconomist (2022)**: Ethereum Energy Consumption Index - Digiconomist. <https://digiconomist.net/ethereum-energy-consumption>. Zugegriffen: 05. Dezember 2022.
- [18] **Sedlmeir, J., Buhl, H.U., Fridgen, G., Keller, R. (2020)**: The Energy Consumption of Blockchain Technology: Beyond Myth. *Bus Inf Syst Eng* 62(6), S. 599–608, doi:10.1007/s12599-020-00656-x.
- [19] **Rusch, M., Schöggel, J.-P., Baumgartner, R.J. (2022)**: Application of digital technologies for sustainable product management in a circular economy: A review. *Bus Strat Env*, S. 1–16, doi:10.1002/bse.3099.
- [20] **Rohde, M., Bürger, M., Peneva, K., Mock, J. (Hrsg.) (2022)**: Datenwirtschaft und Datentechnologie. Wie aus Daten Wert entsteht. Berlin: Springer Vieweg.
- [21] **Sherman, A.T., Javani, F., Zhang, H., Golaszewski, E. (2018)**: On the Origins and Variations of Blockchain Technologies
- [22] **PwC (2020)**: Time for Trust. The trillion-dollar reasons to rethink blockchain
- [23] **Henke, M. (2017)**: Blockchain - Von Supply Chain Finance über Smart Payment bis zu Smart Contracting. <https://www.de-hub.de/blog/post/blockchain-von-supply-chain-finance-ueber-smart-payment-bis-zu-smart-contracting/>. Zugegriffen: 01. März 2023.
- [24] **Sixt, E. (2017)**: Bitcoins und andere dezentrale Transaktionssysteme. Blockchains als Basis einer Kryptoökonomie. Business book summary. Wiesbaden: Springer Gabler.
- [25] **Schulze, A., Bender, J., Weber, F. (2019)**: Blockchain in der Bundesverwaltung. *Verwaltung und Management* (2), S. 83–89.
- [26] **Meitinger, T.H. (2017)**: Smart Contracts. *Informatik Spektrum* (4), 371-175.
- [27] **Güllemann, D. (2004)**: Wichtige Gesetze des Wirtschaftsprivatrechts. 6. Auflage. NWB-Textausgaben. Herne: Verlag Neue Wirtschafts-Briefe.
- [28] **Klink, P., Brüning, S. (2022)**: BLOCKCHAIN. Booster für ein optimiertes, durchgängig digitales Gefahrgutmanagement. *Logistik entdecken* 22, S. 40–41.
- [29] **blockchain europe.nrw (2022)**: Open Source Baukasten. Universelle Bausteine für Ihre Infrastruktur. <https://blockchain-europe.nrw/open-source/open-source-baukasten/>. Zugegriffen: 22. Dezember 2022.
- [30] **Singer, A.B. (2018)**: Practical C++ Design. From Programming to Architecture. New York: Apress.
- [31] **Patni, S. (2017)**: Pro RESTful APIs. Design, Build and Integrate with REST, JSON, XML and JAX-RS. New York: Apress.
- [32] **Kiebler, L., Jornitz, T., Musa, A., Grötz, F. (2022)**: Blockchain: Einsatzmöglichkeiten in Zoll- und Exportkontrollumfeld. *Außenwirtschaftliche Praxis : AW-Prax* 28(6)
- [33] **Open Logistics Foundation (2022)**: Licenses. <https://openlogisticsfoundation.org/licenses/>. Zugegriffen: 22. Dezember 2022.
- [34] **Europäische Kommission (2019)**: Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Europäischen Rat, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen Der europäische Grüne Deal. COM (2019) 640 final
- [35] **Europäische Kommission (2023)**: Europäischer Grüner Deal Europäische Kommission. https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_de. Zugegriffen: 16. März 2023.
- [36] **Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz**: Umweltpolitische Digitalagenda. Auf einen Klick: Produktpass - Lückenloser Lebenslauf
- [37] **Zirkuläre Produkte und Dienstleistungen. Hand in Hand die Circular Economy gestalten**. <https://www.gs1-germany.de/gs1-solutions/nachhaltigkeit/zirkulaere-produkte-und-dienstleistungen/>. Zugegriffen: 16. März 2023.
- [38] **Mehrwert für Materialien. Zirkuläres Bauen beginnt bei Madaster**. <https://madaster.de/>. Zugegriffen: 16. März 2023.
- [39] **Product passport as an enabler for circular flows of furniture**. <https://www.vinnova.se/en/p/product-passport-as-an-enabler-for-circular-flows-of-furniture/>. Zugegriffen: 16. März 2023.
- [40] **European Commission (2020)**: Communication from the commission to the european parliament, the council, the european economic and social committee and the committee of the regions. Brussels

- [41] **Europäische Kommission (2022):** Proposal for a Regulation on Ecodesign for Sustainable Products. COM(2022) 142 final
- [42] **Fennemann, V., Hohaus, C., Kopka, J.-P. (2018):** Moving In Circles: Logistics As Key Enabler For A Circular Economy: Fraunhofer IML.
- [43] **Adisorn, T., Tholen, L., Götz, T. (2021):** Towards a Digital Product Passport Fit for Contributing to a Circular Economy. *Energies* 14(8), S. 2289, doi:10.3390/en14082289.
- [44] **Walther, G. (2010):** Nachhaltige Wertschöpfungsnetzwerke. Überbetriebliche Planung und Steuerung von Stoffströmen entlang des Produktlebenszyklus. Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Habil.-Schr., 2009. 1. Auflage. Produktion und Logistik. Wiesbaden: Gabler.
- [45] **British Standards Institution (2009):** Design for manufacture, assembly, disassembly and end-of-life processing (MADE) - Terms and definitions (BS 8887-2:2009-04-30): Beuth.
- [46] **Verein Deutscher Ingenieure VDI (2014):** Recycling of electrical and electronical equipment - Re-use (Guideline 2343)
- [47] **Ulrike Lange (2017):** Kurzanalyse Nr. 18: Ressourceneffizienz durch Remanufacturing - Industrielle Aufarbeitung von Altteilen
- [48] **Hagelüken, C. (2017):** Bedeutung des EU Kreislaufwirtschaftspakets für das Metallrecycling. *Chemie Ingenieur Technik* 89(1-2), S. 17–28, doi:10.1002/cite.201600120.
- [49] **Förstner, U., Köster, S. (2018):** Umweltschutztechnik. 9. Auflage. Berlin: Springer Vieweg.
- [50] **Martens, H. (2014):** Recyclingtechnik. In: Moeller, E. (Hrsg.): *Handbuch Konstruktionswerkstoffe. Auswahl, Eigenschaften, Anwendung*, 2. Auflage. München: Hanser, S. 881–910.
- [51] **The Circular Economy 100 (CE100) programme (2016):** Waste Not, Want Not. Capturing the value of the circular economy through reverse logistics
- [52] **Europäische Kommission (2020):** Vorschlag für eine Verordnung des Europäischen Parlaments und des Rates über Batterien und Altbatterien. COM(2020) 798 final
- [53] **Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz:** Umweltpolitische Digitalagenda. Sprint-for-Green - Der BMU Design-Sprint zum Digitalen Produktpass für die Elektromobilität. <https://www.bmuv.de/digitalagenda/produktpass/pkw-batterie>. Zugriffen: 28. Februar 2023.
- [54] **R-Cycle (2023):** Wie Daten die Recyclingfähigkeit von Lebensmittelverpackungen steigern. Digitaler Produktpass als Treiber für die Kreislaufwirtschaft. <https://www.r-cycle.org/wie-daten-die-recyclingfaehigkeit-von-lebensmittelverpackungen-steigern.html>. Zugriffen: 28. Februar 2023.
- [55] **Otto Group (2023):** Weniger Textilmüll: OTTO stellt kreislauffähige Modekollektion vor. <https://www.ottogroup.com/de/medien/newsroom/meldungen/Weniger-Textilmuell-OTTO-stellt-kreislauffaehige-Modekollektion-vor.php>. Zugriffen: 28. Februar 2023.
- [56] **Europäische Kommission (2020):** Vorschlag für eine Verordnung des Europäischen Parlaments und des Rates über Batterien und Altbatterien, zur Aufhebung der Richtlinie 2006/66/EG und zur Änderung der Verordnung (EU) 2019/1020. COM(2020) 798 final
- [57] **Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz:** Umweltpolitische Digitalagenda. Auf einen Klick: Produktpass - Lückenloser Lebenslauf. <https://www.bmuv.de/digitalagenda/auf-einen-klick>. Zugriffen: 28. Februar 2023.
- [58] **Thomas Götz, Thomas Adisorn, Lena Tholen (2021):** Der Digitale Produktpass als Politik-Konzept. Kurzstudie im Rahmen der Umweltpolitischen Digitalagenda des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU). Wuppertal Reports. Wuppertal
- [59] **Statistisches Bundesamt (2023):** Anteil der Wirtschaftszweige an der Bruttowertschöpfung in Deutschland im Jahr 2022. Statistisches Bundesamt. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/36846/umfrage/anteil-der-wirtschaftsbereiche-am-bruttoinlandsprodukt/#:~:text=Im%20Jahr%202021%20betrug%20der,des%20Baugewerbes%205%2C5%20Prozent>. Zugriffen: 28. Februar 2023.
- [60] **Statista (2020):** Anteil der KMU in Deutschland an allen Unternehmen nach Wirtschaftszweigen im Jahr 2020
- [61] **Nikelowski, L., Schumacher, C., Vliegen, L., Pias-towski, H. (2021):** Potenziale in der Zusammenarbeit mit Lieferanten und Dienstleistern. 1. Auflage. Dortmund: Fraunhofer-Gesellschaft.

- [62] **The Enterprise Strategy Group (2020):** Was sind Ihre Daten wirklich wert? Wie ausgereifte Datenstrategien Geschäftsergebnisse dramatisch verbessern. ESG Research Insight Paper
- [63] **Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU), www.bmu.de (2020):** Die Umweltpolitische Digitalagenda. Wie ein Problem zur Lösung wird. Berlin
- [64] **acatech (2022):** Battery Pass. Umsetzung einer neuen Generation digitaler Produkthandhabung. <https://www.acatech.de/projekt/batteriepass-made-with-germany-umsetzung-einer-neuen-generation-digitaler-produkthandhabung/>. Zugegriffen: 07. März 2023.
- [65] **Scherf, C.-S., Brunn, C., Gensch, C.-O., Köhler, A.R., Hofe, A. von, Hilger, A., Magnus-Melgar, M., Schultheis, L. (2021):** Anreizsysteme für eine ökologisch nachhaltige Digitalisierung in kleinen und mittleren Unternehmen (KMU). Freiburg: Öko-Institut e.V.
- [66] **Bleiholder, J., Schmid, J. (2018):** Datenintegration und Deduplizierung. In: Hildebrand, K., Gebauer, M., Hinrichs, H., Mielke, M. (Hrsg.): Daten- und Informationsqualität. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, S. 121–140.
- [67] **Götz, T., Adisorn, T., Tholen, L. (2021):** Der Digitale Produktpass als Politik-Konzept. Kurzstudie im Rahmen der Umweltpolitischen Digitalagenda des Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU). Wuppertal: Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie gGmbH.
- [68] **acatech (2018):** acatech HORIZONTE: Blockchain
- [69] **Bai, P., Kumar, S., Kumar, K., Kaiwartya, O., Mahmud, M., Lloret, J. (2022):** GDPR Compliant Data Storage and Sharing in Smart Healthcare System: A Blockchain-Based Solution. *Electronics* 11(20), S. 3311, doi:10.3390/electronics11203311.
- [70] **Bundesnetzagentur (2021):** Die Blockchain-Technologie. Grundlagen, Potenziale und Herausforderungen. Bonn
- [71] **Microsoft Corporation (2023):** Die Kette zum Erfolg: Blockchain! Was Sie immer schon über Blockchain wissen wollten und wie Microsoft das Thema angeht – ein Überblick. <https://partner.microsoft.com/de-de/marketing/microsoft-partnernews/tech-trends-innovationen-blockchain>. Zugegriffen: 13. März 2023.
- [72] **Oracle (2023):** Blockchain Platform Service. <https://www.oracle.com/de/blockchain/cloud-platform/>. Zugegriffen: 13. März 2023.



Kontakt

Luisa Marie Strehl, Fraunhofer IML
Jan-Philip Kopka, Fraunhofer IML
Marius Alfred Bohlen, Fraunhofer IML
Anna Preut, Fraunhofer IML
Christina Schumacher, Fraunhofer IML

Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IML
Joseph-von-Fraunhofer-Straße 2-4
44227 Dortmund
www.ims.fraunhofer.de