

Prospektiven

Neues zur zirkulären Wertschöpfung

Circular Economy News

2026 | 02



Vertrauen durch Transparenz

Wie Blockchain Lieferketten und Produktlebenszyklen sicher macht.

Vanessa Carls, Sophia Fedder und Marc Jansen

AutorInnen

Vanessa Carls, Hochschule Ruhr West
Sophia Fedder, Hochschule Ruhr West
Marc Jansen, Hochschule Ruhr West

Reihe

Prospektiven – Neues zur zirkulären Wertschöpfung / Circular Economy News
Uwe Handmann, Wolfgang Irrek, (Hrsg.)
ISSN (Print) 2750-4840
ISSN (Online) 2750-4859
1. Auflage, 27.05.2026

Bildquellen

Titelbild: Pixabay, Fotograf: Thomas Didgeman

Bitte zitieren als:

Carls, V., Fedder, S., Jansen, M. (2026): Vertrauen durch Transparenz: Wie Blockchain Lieferketten und Produktlebenszyklen sicher macht. Prospektiven – Neues zur zirkulären Wertschöpfung 2026/02. Bottrop: Prosperkolleg e.V.



Dieses Werk ist lizenziert unter einer [Creative Commons Namensnennung - Weitergabe unter gleichen Bedingungen 4.0 International Lizenz](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).

Impressum / Kontakt

Prosperkolleg e.V.
Am Vietshof 2-4
46236 Bottrop
Germany
info@prosperkolleg.ruhr

Redaktion finanziert durch:



Forschung finanziert durch:



Alle Projekte werden gefördert durch:



**Kofinanziert von der
Europäischen Union**

**Ministerium für Wirtschaft,
Industrie, Klimaschutz und Energie
des Landes Nordrhein-Westfalen**



Abstract

Kreislaufwirtschaft funktioniert nur, wenn Vertrauen sichergestellt ist. Doch entlang globaler Lieferketten sind Zertifikate fälschbar, Produkthistorien lückenhaft und Verantwortlichkeiten schwer nachvollziehbar. Blockchain-Technologie setzt genau hier an: als digitale Vertrauensinfrastruktur, die Daten manipulationsicher, transparent und für alle Beteiligten nachvollziehbar macht, ohne dass eine zentrale Kontrollinstanz benötigt wird.

Dieser Artikel erklärt, wie Blockchain funktioniert und warum sie für die Circular Economy relevant ist. Anhand von zwei konkreten Anwendungsfällen, der blockchain-basierten Nachverfolgung von Holz entlang der Lieferkette zum Nachweis von Zertifizierungen sowie dem Einsatz von Blockchain und RFID zur Überprüfung persönlicher Schutzausrüstung in Sicherheitsbereichen und deren Potenzial für zirkuläre Produktlebenszyklen, wird gezeigt, wie die Technologie in der Praxis eingesetzt werden kann. Dabei werden sowohl die Chancen als auch die aktuellen Grenzen realistisch eingeordnet. Beide Anwendungsfälle werden im *Transferhub Digitalisierung und Circular Economy* der Hochschule Ruhr West und des Prosperkolleg e.V. in Bottrop als Demonstratoren umgesetzt.

Inhalt

Einleitung: Die Reise eines Produkts – und was wir heute nicht sehen.....	3
Was ist eine Blockchain?.....	3
Wie ein Block aufgebaut ist.....	4
Verkettung und Struktur.....	4
Konsens: Wer entscheidet, was gültig ist?.....	5
Warum klassische IT-Systeme an ihre Grenzen stoßen.....	5
Blockchain in der Praxis: Anwendungsfelder in der Circular Economy.....	6
Vom Wald bis zum Möbelstück.....	6
Persönliche Schutzausrüstung: Wenn Sicherheit nachweisbar wird.....	8
Blockchain als Enabler des digitalen Produktpasses.....	9
Transferhub Digitalisierung und Circular Economy: Praxis im nördlichen Ruhrgebiet.....	10
Grenzen und offene Fragen.....	10
Fazit: Vertrauen als Schlüssel der Circular Economy.....	11
Abbildungsverzeichnis.....	12
Literaturverzeichnis.....	12
Über die AutorInnen.....	14

Hinweis zur Nutzung gendersensibler Sprache

In dieser Publikation wird gendersensible Sprache verwendet. Wir beschränken uns darauf, natürliche Personen zu gendern, während juristische Personen, wie Unternehmen, ohne Genderung genannt werden.

Einleitung: Die Reise eines Produkts – und was wir heute nicht sehen

Ein Holztisch mit Nachhaltigkeitszertifikat klingt nach einer guten Entscheidung. Doch ob das Holz tatsächlich aus einem zertifizierten Forst stammt, alle Stationen der Lieferkette den angegebenen Standards entsprechen und das Produkt am Ende seines Lebens sinnvoll in den Kreislauf zurückgeführt werden kann, lässt sich heute kaum nachvollziehen. Zertifikate existieren auf Papier, Daten liegen in isolierten Systemen, und Informationen können an Übergabepunkten verloren gehen, etwa wenn das Holz vom Forstbetrieb an das Sägewerk weitergegeben wird, von dort an den Hersteller und schließlich an den Händler.

In anderen Branchen zeigt sich dasselbe strukturelle Problem: In Industriebetrieben muss persönliche Schutzausrüstung wie Helme oder Schutzanzüge regelmäßig geprüft, dokumentiert und bei Ablauf der Zulassung ersetzt werden. Ob eine Aufarbeitung oder ein Recycling am Ende des Nutzungszyklus möglich wäre, scheidet häufig nicht an der Technik, sondern schlicht am Fehlen verlässlicher Informationen über den Zustand und die Gebrauchshistorie der Ausrüstung.

Beide Beispiele verdeutlichen ein grundlegendes Problem moderner Lieferketten und Produktlebenszyklen: Informationen sind fragmentiert, schwer überprüfbar und oft nicht vertrauenswürdig. Für die Circular Economy ist das besonders problematisch, denn Kreislaufwirtschaft setzt voraus, dass Materialien und Produkte zuverlässig identifiziert, bewertet und zurückgeführt werden können. Ohne eine belastbare Datenbasis funktioniert das nicht.

Genau hier setzt die Blockchain-Technologie an: als digitales, manipulationssicheres Register, das Informationen nicht zentral bei einer einzelnen Instanz speichert, sondern transparent und nachvollziehbar für alle Beteiligten entlang einer Wertschöpfungskette zugänglich macht.

Was ist eine Blockchain?

Der Begriff Blockchain taucht seit einigen Jahren vor allem im Zusammenhang mit Kryptowährungen wie Bitcoin auf. Doch die zugrunde liegende Technologie ist vielseitiger, als ihr Ruf vermuten lässt. Im Kern ist eine Blockchain ein digitales Register, in dem Informationen in einer Kette von Blöcken (siehe Abbildung 1) gespeichert werden. Jeder Block enthält Daten, einen Zeitstempel und einen kryptografischen Verweis auf den vorherigen Block, der den gesamten Inhalt dieses Blocks eindeutig repräsentiert. Werden die Daten eines bereits gespeicherten Blocks nachträglich verändert, stimmt dieser Verweis nicht mehr mit dem nächsten Block überein und die Manipulation wird sofort sichtbar.

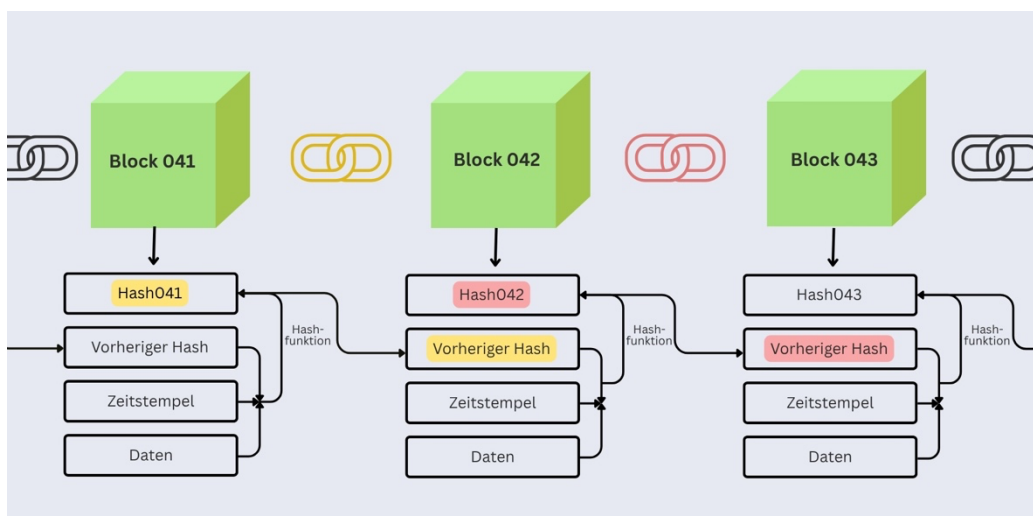


Abbildung 1 Aufbau einer Blockchain

Was eine Blockchain von klassischen IT-Systemen unterscheidet, ist die Art der Speicherung: Die Daten liegen nicht auf einem zentralen Server, sondern gleichzeitig auf vielen Computern, die gemeinsam das Netzwerk bilden. Neue Einträge müssen von den Teilnehmenden des Netzwerks

bestätigt werden, bevor sie dauerhaft gespeichert werden. Dadurch entsteht Vertrauen ohne zentrale Kontrollinstanz.

Kurz erklärt

Eine Blockchain ist ein digitales Register, das auf vielen Computern gleichzeitig gespeichert wird. Einträge sind durch mathematische Verfahren miteinander verknüpft und können nicht unbemerkt verändert werden. So bietet die Blockchain Vertrauen ohne zentrale Kontrollinstanz.

Wie ein Block aufgebaut ist

Jeder Block in einer Blockchain besteht im Wesentlichen aus drei Dingen: den eigentlichen Daten (z.B. Zertifikate, Herkunftsnachweise oder Übergabeprotokolle zwischen Lieferanten), einem Zeitstempel und einem kryptografischen Verweis auf den vorherigen Block. Dieser Verweis ist der entscheidende Baustein: Er repräsentiert den gesamten Inhalt des vorherigen Blocks und verknüpft jeden Block so untrennbar mit seinem Vorgänger wie ein Glied in einer Kette. Bei diesem Verweis handelt es sich um einen sogenannten Hash. Wird ein bereits gespeicherter Block nachträglich verändert, ändert sich zwangsläufig auch sein Verweis, da dieser den gesamten Inhalt des Blocks repräsentiert. Dadurch stimmt er nicht mehr mit dem gespeicherten Verweis im nächsten Block überein und die Manipulation wird sofort sichtbar.

Kurz erklärt

Ein Hash ist ein kryptografischer Fingerabdruck. Eine mathematische Funktion wandelt beliebige Daten in eine eindeutige, gleichlange Zeichenkette um. Schon die kleinste Änderung an den Ausgangsdaten ergibt einen völlig anderen Hash:

Eingabe	Hash-Wert
Hallo	753692ec36adb4c794c973945eb2a99c1649703ea6f76bf259abb4fb838e013e
hallo	d3751d33f9cd5049c4af2b462735457e4d3baf130bcbb87f389e349fbaeb20b9

Manipulationen an gespeicherten Daten werden dadurch sofort sichtbar.

Verkettung und Struktur

Die Blöcke sind nicht einfach aneinandergereiht wie Perlen auf einer Schnur, sondern sind auch logisch miteinander verwoben. Stellt man sich eine Blockchain wie eine verkettete Liste vor, dann enthält jedes Element nicht nur seine eigenen Daten, sondern auch einen Zeiger auf das vorherige Element. Das macht es unmöglich, einen einzelnen Eintrag zu ändern, ohne alle nachfolgenden Blöcke ebenfalls anzupassen, und das auf allen Kopien des Netzwerks gleichzeitig.

Noch robuster wird diese Struktur durch den Einsatz eines sogenannten Merkle Trees, der in Abbildung 2 dargestellt ist. Dabei werden alle Einträge eines Blocks paarweise gehasht und diese Hashes wiederum zusammengefasst, bis ein einziger Root-Hash übrigbleibt, der den gesamten Inhalt des Blocks kompakt repräsentiert. Er ist damit einer von mehreren Bestandteilen, die zusammen den Hash des gesamten Blocks ergeben. Ändert sich irgendwo ein Detail in den Einträgen, ändert sich zwangsläufig auch der Root-Hash und damit der Verweis im nächsten Block.

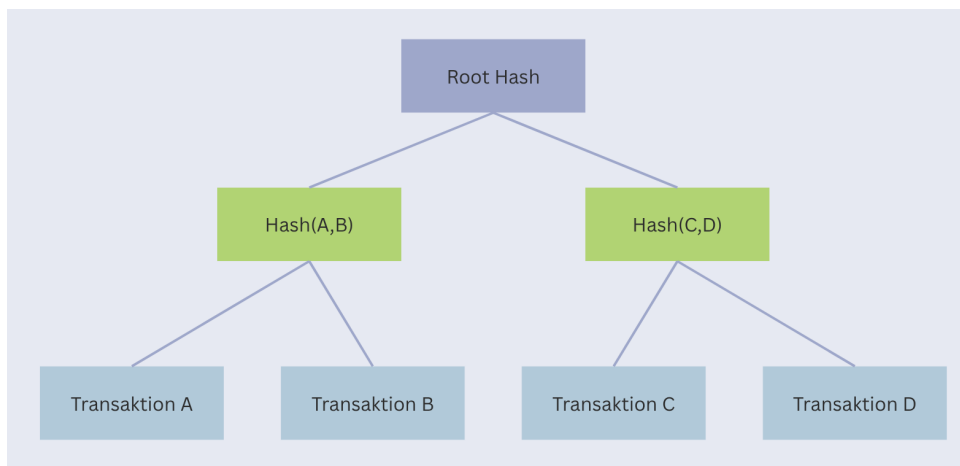


Abbildung 2 Darstellung eines Merkle Trees

Konsens: Wer entscheidet, was gültig ist?

Da es in einer Blockchain keine zentrale Instanz gibt, die Einträge freigibt, braucht es einen anderen Mechanismus: den Konsens. Jeder Knoten des Netzwerks prüft dabei, ob ein neuer Eintrag gültig ist. Die Frage, wer dann den nächsten Block an die Kette anhängen darf, regeln sogenannte Konsensmechanismen, die je nach Blockchain unterschiedlich gestaltet sein können. Beim Proof-of-Work müssen Teilnehmer bspw. rechenintensive Aufgaben lösen, beim Proof-of-Stake hinterlegen sie stattdessen einen Anteil am Netzwerk (bspw. in Form von Token, Rechenleistung o.Ä.) als Sicherheit. Je nach Anwendungsfall können auch andere Mechanismen sinnvoll sein, etwa Proof-of-Authority, bei dem vorab festgelegte, vertrauenswürdige Teilnehmer abstimmen. Das Ergebnis ist dasselbe: Kein einzelner Akteur kann einseitig Daten in die Blockchain schreiben oder verändern, dazu braucht es immer die Zustimmung des Netzwerks.

Warum klassische IT-Systeme an ihre Grenzen stoßen

Lieferketten sind heute selten in der Hand eines einzigen Unternehmens. Rohstoffe werden in einem Land gewonnen, in einem anderen verarbeitet, von Zwischenhändlern weitergegeben und schließlich zu Endprodukten zusammengesetzt. Jeder dieser Akteure nutzt eigene IT-Systeme, eigene Datenformate und eigene Prozesse. Was dabei entsteht, ist keine durchgängige Informationskette, sondern ein Flickenteppich aus isolierten Datenpunkten.

Klassische zentrale Datenbanken lösen dieses Problem nur bedingt. Sie setzen voraus, dass alle Beteiligten einer gemeinsamen Instanz vertrauen, die die Daten verwaltet und pflegt. In der Praxis ist das oft unrealistisch, da Wettbewerber keine Systeme teilen, kleine Unternehmen keine Ressourcen für aufwendige Integrationen haben und nachträgliche Änderungen in zentralen Datenbanken technisch möglich sind, ohne dass sie zwingend auffallen. Das eröffnet die Möglichkeit, Daten gezielt zu manipulieren, ohne dass dies für andere Beteiligte nachvollziehbar wäre. Besonders deutlich wird das bei Zertifikaten und Nachweisen: Existieren sie nur auf Papier oder in isolierten Systemen, lassen sie sich kaum überprüfen und im Zweifelsfall leicht fälschen.

Blockchain begegnet diesen Schwächen mit einem anderen Ansatz. Anstatt Daten zentral zu speichern, werden sie auf alle Teilnehmer des Netzwerks verteilt (siehe Abbildung 3). Informationen werden in Blöcken gebündelt, die durch ihren kryptografischen Hash untrennbar miteinander verkettet sind, und müssen vom Netzwerk über den Konsens bestätigt werden. Dadurch ist jede Veränderung sofort ohne zentrale Kontrollinstanz nachweisbar.

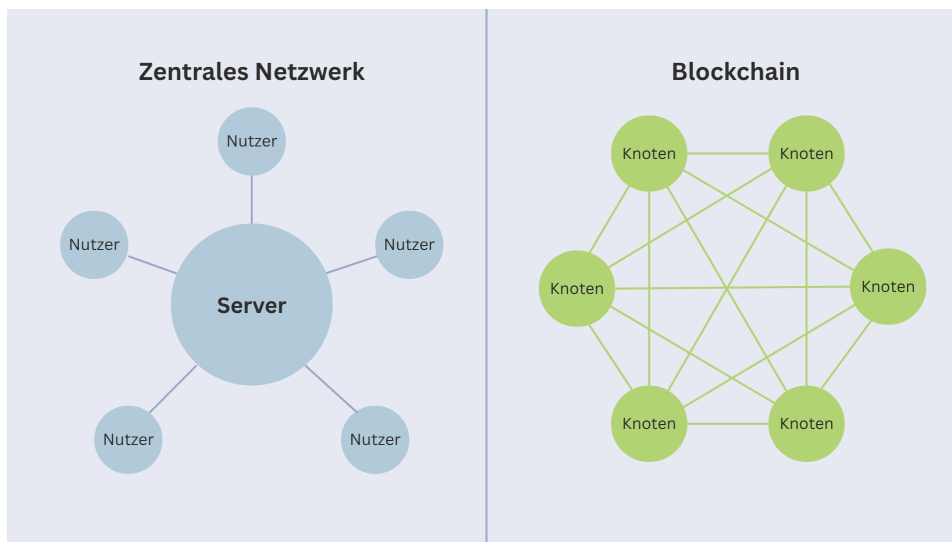


Abbildung 3 Zentralität vs. Dezentralität

Blockchain in der Praxis: Anwendungsfelder in der Circular Economy

Was Blockchain wirklich kann, zeigt sich vor allem in der praktischen Anwendung. Die folgenden Kapitel zeigen anhand von zwei konkreten Anwendungsfällen, wie Blockchain-Technologie in der Praxis eingesetzt werden kann. Das erste Beispiel widmet sich der Nachverfolgung von Rohstoffen entlang globaler Lieferketten, das zweite der lückenlosen Dokumentation von Produkten in Sicherheitsbereichen. Beide Anwendungsfälle münden in einem gemeinsamen Ziel: dem digitalen Produktpass als umfassendem Gedächtnis eines Produkts über seinen gesamten Lebenszyklus. Wie diese Konzepte nicht nur theoretisch gedacht, sondern praktisch erprobt werden, zeigt abschließend der Transferhub Digitalisierung und Circular Economy.

Vom Wald bis zum Möbelstück

Illegaler Holzeinschlag ist ein globales Problem. Schätzungen zufolge stammt ein erheblicher Anteil des weltweit gehandelten Holzes aus nicht zertifizierten oder illegal bewirtschafteten Wäldern (WWF Deutschland, 2026), auch wenn die Produkte am Ende mit Nachhaltigkeitssiegeln wie FSC oder PEFC beworben werden (ICIJ, 2023). Das Problem liegt nicht immer bei böser Absicht, denn Lieferketten in der Holzbranche sind lang, involvieren viele Akteure und wechseln mehrfach das Land. An jedem Übergabepunkt können Informationen verloren gehen oder schlimmstenfalls gezielt verändert werden.

Die EU hat auf dieses Problem mit der Entwaldungsverordnung (EUDR) reagiert, die nach mehrfacher Verschiebung seit 2025 schrittweise in Kraft tritt und für bestimmte Rohstoffe und Produkte eine lückenlose Herkunftsdocumentation vorschreibt (Rat der Europäischen Union, 2025). Unternehmen, die Holz oder Holzprodukte in den europäischen Markt bringen, müssen nachweisen können, dass diese nicht zu Entwaldung beigetragen haben. Der regulatorische Druck ist also da, jedoch ist die technische Frage weitgehend offen, wie ein solcher Nachweis zuverlässig und fälschungssicher geführt werden kann.

Eine Blockchain-basierte Lösung setzt genau an diesem Punkt an. Jede Station der Lieferkette, Forstbetrieb, Frachtführer, Sägewerk, Weiterverarbeiter, Handel, erfasst ihren Schritt als Eintrag auf der Blockchain (siehe Abbildung 4). Dabei wird nicht das Zertifikatsdokument selbst gespeichert, sondern eine kryptografische Repräsentation: ein Hash des Dokuments, ein Zeitstempel und eine Referenz auf die externe Datei. Das Ergebnis ist eine lückenlose, manipulationssichere Historie, die das Holzstück vom Einschlag bis zum Endprodukt begleitet.

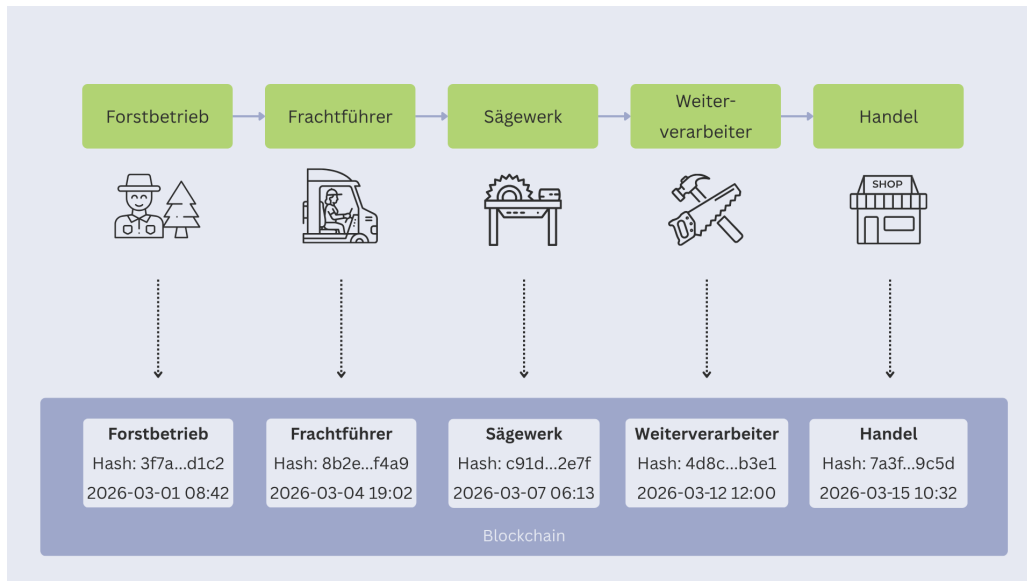


Abbildung 4 Nachverfolgbarkeit in der Holzlieferkette

Wichtig ist dabei: Die Blockchain ersetzt nicht die Zertifizierungsstellen wie FSC oder PEFC, sondern ergänzt sie. Die Prüfung und Vergabe von Zertifikaten bleibt Aufgabe akkreditierter Stellen. Die Blockchain sorgt dafür, dass diese Zertifikate entlang der gesamten Kette nachvollziehbar und unveränderlich dokumentiert bleiben und nicht einfach an einem Übergabepunkt verschwinden oder geändert werden.

Im Transferhub Digitalisierung und Circular Economy wird dieser Anwendungsfall in Form eines physischen Demonstrators umgesetzt (siehe Abbildung 5). Der Demonstrator macht die Blockchain-basierte Nachverfolgung von Holz entlang der Lieferkette greifbar und zeigt, wie Zertifizierungsnachweise manipulations sicher gespeichert werden können. Ergebnisse aus einem Pilotprojekt (Blockchain für die Supply Chain) belegen die Praxistauglichkeit: Im Schritt der Holzbereitstellungsmeldung konnte eine Prozesszeitersparnis von rund 10 % erzielt werden (Schmidt et al., 2023).

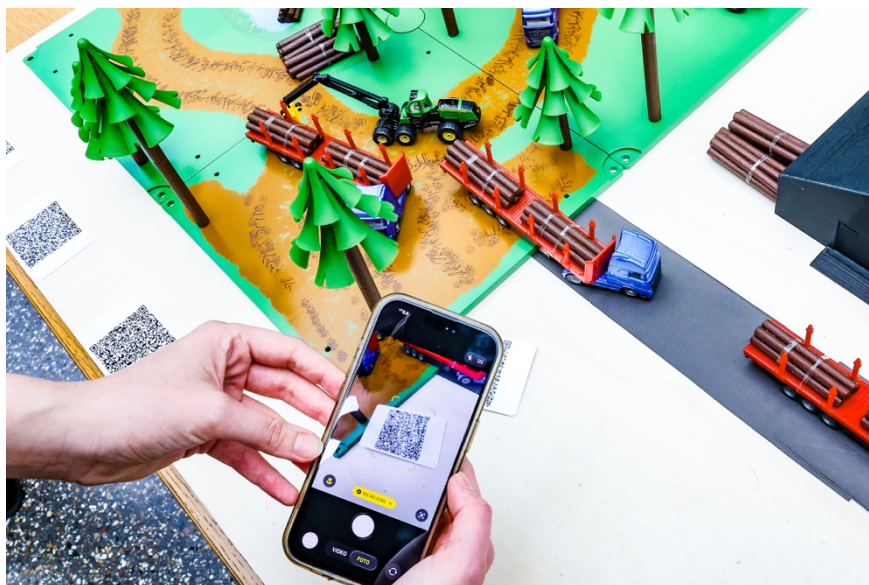


Abbildung 5 Demonstrator zur Nachverfolgbarkeit von Holz in der Lieferkette

Dabei beschränkt sich das Prinzip keineswegs auf Holz. Im Rahmen des Transferhubs Digitalisierung und Circular Economy werden bewusst branchenagnostische Lösungen entwickelt, die sich auf alle

Rohstoffe und Produkte übertragen lassen, für die eine lückenlose Herkunfts- und Zertifizierungsdokumentation gefordert ist (bspw. von Textilien über Metalle bis hin zu Lebensmitteln).

Persönliche Schutzausrüstung: Wenn Sicherheit nachweisbar wird

Persönliche Schutzausrüstung (kurz: PSA) kann Leben retten. Aber auch nur dann, wenn sie zum richtigen Zeitpunkt in einwandfreiem Zustand vorhanden ist. In Industriebetrieben, auf Baustellen oder in Sicherheitsbereichen ist PSA wie Helme, Schutzwesten oder Atemschutzmasken gesetzlich vorgeschrieben, regelmäßig zu prüfen und bei Ablauf der Zulassung zu ersetzen (Bundesrepublik Deutschland, 1996). In der Praxis läuft diese Dokumentation heute oft noch über Papierlisten, Excel-Tabellen oder proprietäre Softwarelösungen, die nicht miteinander kommunizieren, obwohl die Betriebsicherheitsverordnung eine nachvollziehbare Dokumentation der Prüfungen ausdrücklich vorschreibt (Bundesrepublik Deutschland, 2015). Wer welche Ausrüstung wann getragen, geprüft oder ausgetauscht hat, lässt sich im Nachhinein kaum lückenlos und fälschungssicher nachvollziehen.

Ein Blockchain-basierter Ansatz kombiniert hier zwei Technologien: RFID und Blockchain. Jedes PSA-Teil wird mit einem RFID-Chip ausgestattet, der eine eindeutige digitale Identität trägt. An Zugangspunkten zu Sicherheitsbereichen erfassen RFID-Gates (siehe Abbildung 6) automatisch, welche Ausrüstung sich im Umlauf befindet, wer sie trägt, wann sie eingesetzt wird und wie oft. Jeder dieser Vorgänge wird als Eintrag auf der Blockchain gespeichert. Das Ergebnis ist eine vollständige, manipulationssichere, auditfähige Nutzungshistorie für jedes einzelne PSA-Teil.

Kurz erklärt

RFID steht für Radio Frequency Identification. Kleine Chips übertragen per Funk Informationen an ein Lesegerät. RFID-Gates erfassen alle Objekte mit entsprechenden Chips automatisch beim Durchgang, ähnlich wie Warensicherungssysteme im Einzelhandel, aber mit präziser Identifikation einzelner Objekte.

Darüber hinaus lässt sich der Zugang zu Sicherheitsbereichen, wie in Abbildung 6 zu sehen ist, durch Smart Contracts aktiv steuern. Betritt ein Mitarbeiter ein RFID-Gate, prüft der Smart Contract automatisch, ob alle vorgeschriebenen Ausrüstungsteile vorhanden, zugelassen und nicht abgelaufen sind. Fehlt ein Teil oder ist die Zulassung eines Helms überschritten, wird der Zugang verweigert (bspw. durch ein Lichtsignal, eine Schranke oder eine gesicherte Tür).

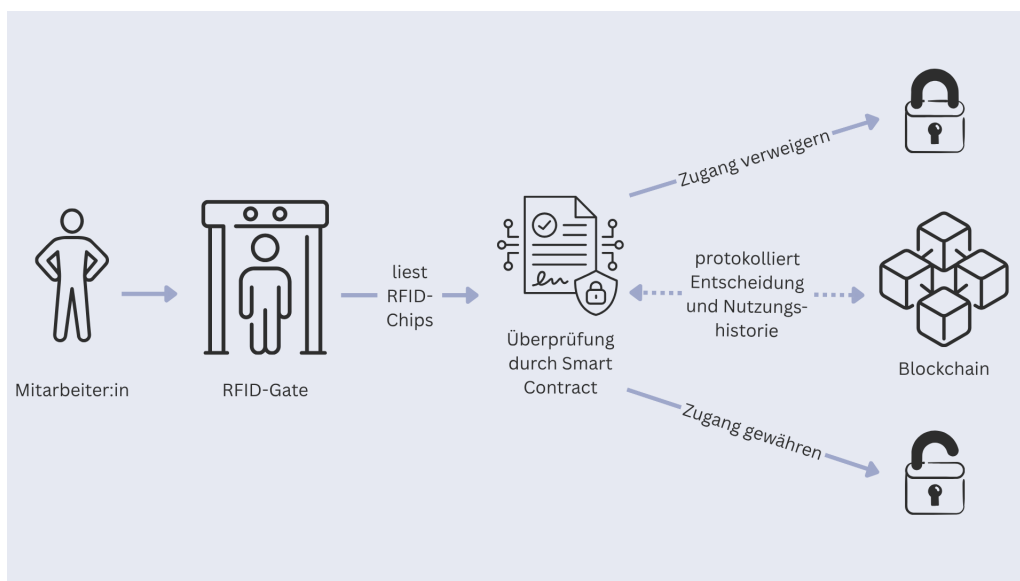


Abbildung 6 Blockchain-basierte PSA-Überprüfung mittels RFID-Gate

Kurz erklärt

Ein Smart Contract ist ein Programm, das auf der Blockchain hinterlegt ist und dessen Ausführung durch ein definiertes Ereignis ausgelöst wird. Sind die festgelegten Bedingungen erfüllt, wird die hinterlegte Aktion automatisch und für alle Beteiligten nachvollziehbar ausgeführt, ohne dass ein manueller Eingriff notwendig ist.

Auch dieser Anwendungsfall wird im Transferhub Digitalisierung & Circular Economy als physischer Demonstrator realisiert. Das System zeigt anhand eines realen RFID-Gate-Aufbaus, wie PSA-Teile automatisch erfasst, auf der Blockchain dokumentiert und durch Smart Contracts geprüft werden.

Der eigentliche Mehrwert für die Circular Economy entsteht am Ende des Nutzungszyklus. Wenn ein Helm nach einer bestimmten Anzahl von Einsätzen oder nach einem Aufprall ausgetauscht werden muss, liegt auf der Blockchain seine gesamte Geschichte vor: Wie oft wurde er genutzt? Wurde er mechanisch belastet? Entspricht er noch den Zulassungsanforderungen? Auf Basis dieser Informationen lässt sich fundiert entscheiden, ob der Helm aufgearbeitet, einzelne Komponenten weiterverwendet oder das Material gezielt dem Recycling zugeführt werden kann. Ohne diese Datenbasis endet PSA heute häufig pauschal im Müll, und das nicht, weil eine Weiterverwendung unmöglich wäre, sondern weil die nötigen Informationen fehlen.

Darüber hinaus zeigt dieser Anwendungsfall ein breiteres Prinzip. Was für PSA funktioniert, lässt sich auf viele andere Produktkategorien übertragen. Überall dort, wo Produkte über lange Zeiträume im Einsatz sind, mehrere Besitzer wechseln und am Ende ihres Lebens bewertet werden müssen (bspw. Industriewerkzeuge, Maschinen, Fahrzeuge oder Medizingeräte), schafft eine Blockchain-basierte Nutzungshistorie die Grundlage für informierte Entscheidungen im Sinne der Kreislaufwirtschaft.

Blockchain als Enabler des digitalen Produktpasses

Die beiden Anwendungsfälle, Holznachverfolgung und PSA-Tracking, verdeutlichen ein gemeinsames Prinzip: Produkte brauchen ein Gedächtnis als Voraussetzung dafür, dass Kreislaufwirtschaft in der Praxis funktioniert. Genau dieses Prinzip liegt auch dem Konzept des digitalen Produktpasses zugrunde, welchen die Europäische Union im Rahmen des European Green Deal und der Ökodesign-Verordnung vorantreibt (Europäisches Parlament und Rat der Europäischen Union, 2024).

Kurz erklärt

Ein digitaler Produktpass ist ein standardisiertes digitales Dokument, das relevante Informationen über ein Produkt über seinen gesamten Lebenszyklus von der Herstellung über die Nutzung bis zur Entsorgung hinweg bündelt. Er soll Transparenz für Verbraucher, Unternehmen und Behörden schaffen und die Grundlage für zirkuläre Geschäftsmodelle legen.

Der digitale Produktpass stellt jedoch eine technische Herausforderung dar: Wer speichert die Daten? Wer hat Zugriff? Und wie wird sichergestellt, dass die Informationen über Jahrzehnte hinweg vollständig und vertrauenswürdig bleiben, auch wenn Unternehmen fusionieren, insolvent gehen oder ihre IT-Systeme wechseln? Eine zentrale Datenbank birgt hier dieselben Risiken, die bereits im vorherigen Kapitel beschrieben wurden.

Blockchain bietet für genau diese Fragen einen vielversprechenden Ansatz. Als dezentrale, manipulationssichere Infrastruktur kann sie als vertrauenswürdige Rückgrat eines digitalen Produktpasses dienen, ganz unabhängig davon, wie viele Akteure im Laufe des Produktlebens involviert sind oder welche IT-Systeme sie nutzen. Ergänzt wird sie durch Technologien des Internet of Things (kurz: IoT) wie RFID oder QR-Codes, die Daten automatisch erfassen, sowie durch künstliche Intelligenz, die

diese Daten auswertet und daraus Handlungsempfehlungen ableiten kann. Wie eine solche Kombination konkret aussehen kann, zeigen Rohrschneider et al. (2026) am Beispiel digitaler Produktpässe, bei denen große Sprachmodelle Sensordaten automatisch standardisieren und in Blockchain-gesicherte Einträge überführen. Gemeinsam entsteht so ein System, das nicht nur dokumentiert, sondern über Unternehmens- und Ländergrenzen hinweg aktiv zur Optimierung zirkulärer Prozesse beitragen kann.

Transferhub Digitalisierung und Circular Economy im Prosperkolleg: Praxis im nördlichen Ruhrgebiet

Die in diesem Artikel beschriebenen Anwendungsfälle und das Konzept des digitalen Produktpasses sind im Transferhub Digitalisierung und Circular Economy nicht nur Theorie, sondern werden als Demonstratoren umgesetzt und erlebbar gemacht. Ziel des Transferhubs ist es, den Wissenstransfer zwischen Wissenschaft und Wirtschaft zu stärken und digitale Lösungen für eine nachhaltige Kreislaufwirtschaft praxisnah erlebbar zu machen. Im Fokus stehen dabei vor allem kleine und mittlere Unternehmen sowie Handwerksbetriebe im nördlichen Ruhrgebiet, das sich mitten im Strukturwandel befindet. Der Transferhub verbindet dabei zwei Transformationspfade, die in der Fachwelt als Twin Transition bezeichnet werden: die digitale und die ökologische Transformation. Am Institut für Informatik der Hochschule Ruhr West beschäftigt sich das Team von Prof. Dr. Marc Jansen im Rahmen des Transferhubs mit den Themenfeldern Blockchain-Technologie und künstliche Intelligenz als treibende Kräfte dieser Twin Transition.

Grenzen und offene Fragen

Blockchain ist kein Allheilmittel. So überzeugend die Technologie in den beschriebenen Anwendungsfällen wirkt, so wichtig ist es, ihre aktuellen Grenzen realistisch einzuordnen und gleichzeitig zu verstehen, dass für viele dieser Herausforderungen bereits Lösungsansätze existieren.

Die grundlegendste Schwäche betrifft nicht die Technologie selbst, sondern die Schnittstelle zur physischen Welt: die Dateneingabe. Eine Blockchain garantiert, dass gespeicherte Daten nicht nachträglich verändert werden können. Sie garantiert jedoch nicht, dass die eingegebenen Daten von Anfang an korrekt waren. Wird ein Holzstück aus illegalem Einschlag von Beginn an mit einem gefälschten Zertifikat in das System eingespeist, dokumentiert die Blockchain diesen Fehler genauso zuverlässig wie korrekte Daten. In der Fachsprache wird dieses Problem als Oracle-Problem bezeichnet. Lösungsansätze liegen hier weniger in der Technologie als in der Prozessgestaltung (Caldarelli, 2020). Durch die Einbindung unabhängiger Prüfinstanzen, IoT-basierter automatischer Erfassungen direkt an der Quelle und klar definierter Verantwortlichkeiten bei der Dateneingabe kann das Risiko erheblich reduziert werden.

Ein weiteres Thema ist der Datenschutz. Blockchains sind auf Transparenz ausgelegt, was in Lieferketten erwünscht sein kann. In anderen Kontexten kann dies allerdings problematisch werden. Personenbezogene Daten, etwa wer wann welche PSA getragen hat, unterliegen der DSGVO (Europäisches Parlament und Rat der Europäischen Union, 2016). Hier bieten sogenannte Permissioned Blockchains einen vielversprechenden Ansatz: Anders als öffentliche Blockchains gewähren sie nur autorisierten Teilnehmern Zugang. Ergänzt durch Verschlüsselung sensibler Daten und das Prinzip, nur Hashes statt Rohdaten auf der Blockchain zu speichern, lassen sich Transparenz und Datenschutz gut in Einklang bringen.

Praktische Hürden bei der Einführung bleiben dennoch bestehen. Besonders bei kleinen und mittleren Unternehmen kommt erschwerend hinzu, dass Blockchain oft noch als abstrakte oder übermäßig komplexe Technologie wahrgenommen wird. Die Akzeptanz und das Verständnis für konkrete Einsatzmöglichkeiten fehlen häufig. Hier braucht es niedrighschwellige Einstiegsmöglichkeiten: Blockchain-as-a-Service-Lösungen, die keine tiefe technische Expertise voraussetzen, sowie praxisnahe Pilotprojekte, die greifbare Ergebnisse liefern und Vertrauen in die Technologie aufbauen, sind entscheidend, um KMU schrittweise an das Thema heranzuführen.

Genau das ist das Ziel des Transferhubs Digitalisierung und Circular Economy. Mit praxisnahen Demonstratoren und realen Pilotanwendungen soll die Lücke zwischen Forschung und betrieblichem Alltag geschlossen werden, damit auch KMU den Einstieg in Blockchain-basierte Lösungen finden, ohne tiefes technisches Vorwissen mitbringen zu müssen.

Kurz erklärt

Nicht jede Blockchain ist öffentlich zugänglich. Bei einer Public Blockchain kann jeder teilnehmen und Daten einsehen (bspw. bei Bitcoin). Das bedeutet jedoch nicht, dass dabei sensible Geschäftsdaten offenliegen: Durch die Verwendung von Hashes oder anderen kryptografischen Verfahren lassen sich Inhalte so verschlüsseln, dass sie zwar nachweisbar auf der Blockchain hinterlegt sind, aber ohne den entsprechenden Schlüssel nicht eingesehen werden können. Eine Private Blockchain ist dagegen vollständig geschlossen und wird von einer einzigen Organisation kontrolliert. Die Permissioned Blockchain ist nur für autorisierte Teilnehmer zugänglich und kombiniert die Manipulationssicherheit einer Public Blockchain mit der Kontrolle über Datenzugang und Teilnehmerkreis. Eine strukturierte Analyse für KMU-Lieferketten zeigt, dass öffentliche Lösungen gegenüber rein privaten Ansätzen insbesondere bei Interoperabilität, Datensicherheit und Betriebskosten bevorzugt werden (Carls et al., 2023).

Fazit: Vertrauen als Schlüssel der Circular Economy

Kreislaufwirtschaft ist nicht nur ein technisches Problem, sondern vor allem ein Informations- und Vertrauensproblem. Materialien können nur dann sinnvoll wiederverwendet, aufgearbeitet oder recycelt werden, wenn alle Beteiligten entlang der Wertschöpfungskette wissen, womit sie es zu tun haben. Woher kommt ein Produkt? Wie wurde es genutzt? Welche Materialien stecken darin? Ohne belastbare Antworten auf diese Fragen bleibt Kreislaufwirtschaft ein Versprechen, das sich in der Praxis nur schwer einlösen lässt.

Blockchain schafft hier die Vertrauensbasis, die für funktionierende Kreislaufsysteme unerlässlich ist. Die beiden vorgestellten Anwendungsfälle zeigen, dass die Technologie heute bereits in der Praxis eingesetzt wird: um Holz lückenlos vom Wald bis zum Endprodukt zu verfolgen, Zertifikate fälschungssicher zu dokumentieren und persönliche Schutzausrüstung über ihren gesamten Lebenszyklus nachvollziehbar zu machen. In beiden Fällen entsteht durch die Kombination von Blockchain mit ergänzenden Technologien wie RFID und Smart Contracts ein System, das mehr leistet als die Summe seiner Teile.

Dabei geht es nicht darum, bestehende Strukturen zu ersetzen, sondern sie zu ergänzen. Zertifizierungsstellen, Prüfinstanzen und regulatorische Rahmenbedingungen bleiben unverzichtbar. Blockchain macht ihre Arbeit jedoch nachvollziehbarer und ihre Ergebnisse belastbarer. Mit dem Vorschreiten des digitalen Produktpasses auf europäischer Ebene und der zunehmenden Verfügbarkeit niedrigschwelliger Blockchain-Lösungen ist davon auszugehen, dass die Technologie in den kommenden Jahren für immer mehr Unternehmen zur greifbaren Option wird.

Die entscheidende Frage ist daher nicht mehr, ob Blockchain in der Circular Economy eine Rolle spielen kann, sondern wie schnell es gelingt, die verbleibenden technischen, rechtlichen und organisatorischen Hürden zu überwinden und das Potenzial einer wirklich transparenten, digitalen Kreislaufwirtschaft in die Praxis zu bringen.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Aufbau einer Blockchain	3
Abbildung 2 Darstellung eines Merkle Trees	5
Abbildung 3 Zentralität vs. Dezentralität	6
Abbildung 4 Nachverfolgbarkeit in der Holzlieferkette.....	7
Abbildung 5 Demonstrator zur Nachverfolgbarkeit von Holz in der Lieferkette.....	7
Abbildung 6 Blockchain-basierte PSA-Überprüfung mittels RFID-Gate	8

Literaturverzeichnis

Bundesrepublik Deutschland (1996, zuletzt geändert 2024) *PSA-Benutzungsverordnung (PSA-BV) – Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Benutzung persönlicher Schutzausrüstungen bei der Arbeit*. BGBl. I S. 1841. Verfügbar unter: <https://www.gesetze-im-internet.de/psa-bv/>

Bundesrepublik Deutschland (2015, zuletzt geändert 2025) *Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV) – Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Verwendung von Arbeitsmitteln* vom 3. Februar 2015. BGBl. I S. 49. Zuletzt geändert durch Gesetz vom 18. Dezember 2025 (BGBl. 2025 I Nr. 347). Verfügbar unter: https://www.gesetze-im-internet.de/betr-sichv_2015/

Caldarelli, G. (2020) Understanding the Blockchain Oracle Problem: A Call for Action. *Information*, 11(11), 509. <https://doi.org/10.3390/info11110509>

Carls, V., Schmidt, L. and Jansen, M. (2023) 'Evaluation and Comparison of a Private and a Public Blockchain Solution for Use in Supply Chains of SMEs Based on a QOC Analysis', in Prieto, J. et al. (eds) *BLOCKCHAIN 2022*, LNNS 595. Cham: Springer, pp. 388–397. Verfügbar unter: https://doi.org/10.1007/978-3-031-21229-1_36

Europäisches Parlament und Rat der Europäischen Union (2016) *Verordnung (EU) 2016/679 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 27. April 2016 zum Schutz natürlicher Personen bei der Verarbeitung personenbezogener Daten (Datenschutz-Grundverordnung – DSGVO)*. *Amtsblatt der Europäischen Union*, L 119, S. 1–88. Verfügbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2016/679/oj>

Europäisches Parlament und Rat der Europäischen Union (2024) *Verordnung (EU) 2024/1781 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 13. Juni 2024 zur Schaffung eines Rahmens für die Festlegung von Ökodesign-Anforderungen für nachhaltige Produkte, zur Änderung der Richtlinie (EU) 2020/1828 und der Verordnung (EU) 2023/1542 und zur Aufhebung der Richtlinie 2009/125/EG*. *Amtsblatt der Europäischen Union*, L 2024/1781, 28. Juni 2024. Verfügbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2024/1781/oj>

International Consortium of Investigative Journalists (ICIJ) (2023) *Deforestation Inc*. Verfügbar unter: <https://www.icij.org/investigations/deforestation-inc/auditors-green-labels-sustainability-environmental-harm/>

Rat der Europäischen Union (2025) *Entwaldung: Rat verabschiedet gezielte Revision zur Vereinfachung und Verschiebung der Verordnung*. Pressemitteilung, 18. Dezember. Verfügbar unter: <https://www.consilium.europa.eu/de/press/press-releases/2025/12/18/deforestation-council-signs-off-targeted-revision-to-simplify-and-postpone-the-regulation/>

Rohrschneider, D., Pehlke, M., Handmann, U. and Jansen, M. (2026) 'LLM-based JSON Mapping and Blockchain Integration for Digital Product Passports'. In: *Digital Business*. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.1016/j.digbus.2026.100167>

Schmidt, L., Hübschke, M., Carls, V., Buss, E., Lier, S., Holschbach, E. and Jansen, M. (2023) 'Implementation and Evaluation of Blockchain-Based Applications in SMEs' Supply Chains: Proof-of-Origin and Process Automation', in Machado, J.M. et al. (eds) *BLOCKCHAIN 2023*, LNNS 778. Cham: Springer, pp. 3–12. Verfügbar unter: https://doi.org/10.1007/978-3-031-45155-3_1

WWF Deutschland (2026) *Illegaler Holzeinschlag*. Verfügbar unter: <https://www.wwf.de/themen-projekte/waelder/waldvernichtung/illegaler-holzeinschlag/>

Über die AutorInnen

Vanessa Carls

Vanessa Carls studierte Wirtschaftsinformatik im Bachelor und Informatik im Master an der Hochschule Ruhr West. Ihre Forschungsinteressen umfassen Blockchain-Technologie sowie künstliche Intelligenz. Bereits von 2021 bis 2023 war sie als wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Informatik der Hochschule Ruhr West im Projekt Blockchain für die Supply Chain (BC4SC) tätig. Seit Januar 2025 arbeitet sie im Projekt Transferhub Digitalisierung und Circular Economy, das in Kooperation mit dem Prosperkolleg e.V. durchgeführt wird. Dort beschäftigt sie sich unter der wissenschaftlichen Leitung von Prof. Dr. Marc Jansen unter anderem mit dem Einsatz von Blockchain-Technologie und KI-Systemen für nachhaltige Wertschöpfungsketten sowie der Entwicklung physischer Demonstratoren für den Wissenstransfer in die regionale Wirtschaft.

Sophia Fedder

Sophia Fedder studierte Computerlinguistik im Bachelor an der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf und Informatik im Master an der Hochschule Ruhr West. Ihre Forschungsinteressen umfassen Blockchain-Technologie und Distributed Ledger Systems sowie künstliche Intelligenz. Seit 2025 ist sie als wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Informatik der Hochschule Ruhr West im Projekt Transferhub Digitalisierung und Circular Economy tätig, das in Kooperation mit dem Prosperkolleg e.V. durchgeführt wird. Dort widmet sie sich unter der wissenschaftlichen Leitung von Prof. Dr. Marc Jansen der Frage, wie Blockchain-Technologie und KI-Systeme genutzt werden können, um Transparenz und Nachverfolgbarkeit in zirkulären Wertschöpfungsketten zu fördern, und trägt zur Entwicklung physischer Demonstratoren für den regionalen Wissenstransfer bei.

Marc Jansen

Seit 2011 ist Prof. Dr. Marc Jansen am HRW Institut Informatik tätig und leitet das ‚Labor Architektur verteilter Systeme‘. Sein Forschungsschwerpunkt liegt in der Entwicklung verteilter und mobiler Anwendungen insbesondere im Umfeld von Cloud Computing Infrastrukturen. Seit 2013 beschäftigt er sich zusätzlich mit der Technologie der Blockchain und Kryptowährungen.

Bis 2010 arbeitete er beim zentralen IT-Dienstleister des Landes NRW und war dort als Leiter des SAP Customer Center of Expertise (SAP CCoE) für den Betrieb der SAP-Systeme des Landes NRW verantwortlich. Zusätzlich war er Lehrbeauftragter sowohl an der Universität Duisburg-Essen als auch der Hochschule Rhein-Waal. Er studierte Mathematik mit Nebenfach Informatik an der Gerhard Mercator Universität Duisburg und arbeitete in der Forschungsgruppe COLLIDE (Collaborative Learning in Intelligent Distributed Environments). Er promovierte zum Thema „Integrating Smart Devices in Java Applications“ an der Universität Duisburg-Essen.