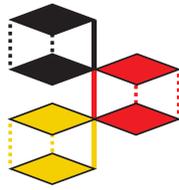


Fachdialog

Blockchain



NACHHALTIGKEIT IM KONTEXT DER BLOCKCHAIN-TECHNOLOGIE

**Anwendungsbeispiele, Herausforderungen und
Handlungsfelder**

Kurzstudie im Rahmen des Fachdialogs Blockchain
im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz

Die vorliegende Kurzstudie „Nachhaltigkeit im Kontext der Blockchain-Technologie: Anwendungsbeispiele, Herausforderungen und Handlungsfelder“ ist Teil des Fachdialogs Blockchain. Der Fachdialog Blockchain wird im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz durchgeführt. Beim Fachdialog Blockchain handelt es sich um eine interdisziplinäre Studien- und Workshopreihe, welche auf die Blockchain-Strategie der Bundesregierung zurückgeht. Der Aufbau des Fachdialogs Blockchain ist modular. Im Rahmen des Moduls „Nachhaltigkeit“ ist die vorliegende Kurzstudie entstanden.

Mit der Durchführung des Fachdialogs Blockchain ist folgendes Projektteam beauftragt:

- ▶ **WIK-Consult** (Projektleitung)
- ▶ **Prof. Dr. Roman Beck** (Leiter des European Blockchain Centers, Kopenhagen)
- ▶ **Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IML**
- ▶ **Prof. Dr. Dagmar Gesmann-Nuissl** (TU Chemnitz)
- ▶ **GS1 Germany**

Impressum

Herausgeber:

WIK-Consult GmbH

Rhöndorfer Straße 68

HRB: Amtsgericht Siegburg, 7043

Tel. +49 (0) 2224-9225-0,

Fax +49 (0) 2224-9225-68

E-Mail: fachdialog-blockchain@wik.org

Verantwortlich: Dr. Cara Schwarz-Schilling

Projektleitung: Christian Märkel

Autoren der Impulsstudie:

Carina Culotta (Fraunhofer IML)

Sebastian Brüning (Fraunhofer IML)

Dr. Axel Schulte (Fraunhofer IML)

Prof. Dr. Gesmann-Nuissl (TU Chemnitz)

Christian Märkel (WIK-Consult)

Prof. Dr. Roman Beck (European Blockchain Center Kopenhagen)

Bildquelle (Titel): [Terry-unsplash.com](https://www.terry-unsplash.com/) / [anncapictures-pixabay.com](https://www.anncapictures-pixabay.com/)
(bearbeitet durch WIK-Consult)

Januar 2022

INHALT

Kurzfassung	2
Executive Summary	4
1 Einleitung	6
2 Verständnis von Nachhaltigkeit	9
3 Die Blockchain-Technologie im Kontext der 17 SDG der Vereinten Nationen	11
4 Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie 2021	13
5 Geförderte Projekte in Deutschland	15
6 Einsatzfelder für die Blockchain-Technologie zur Steigerung der Nachhaltigkeit in Deutschland	17
6.1 Expertenperspektive: Relevante Anwendungsfälle der Blockchain-Technologie in Deutschland zur Steigerung der Nachhaltigkeit	17
6.2 Nachhaltige Gestaltungsprinzipien der Blockchain-Technologie	18
6.3 Zirkuläre Kreislaufwirtschaft am Beispiel des digitalen Produktpasses	19
6.3.1 Der digitale Produktpass im Überblick	19
6.3.2 Chancen und Herausforderungen des digitalen Produktpasses	20
6.3.3 Diskussion: Beitrag zur Nachhaltigkeit in einer zirkulären Kreislaufwirtschaft	21
6.4 Das Lieferkettengesetz und Blockchain	22
6.4.1 Das Lieferkettengesetz im Überblick	23
6.4.2 Chancen und Herausforderungen der Blockchain-Technologie im Kontext des Lieferkettengesetzes	23
6.4.3 Diskussion: Beitrag zur Nachhaltigkeit der Blockchain-Technologie im Kontext des Lieferkettengesetzes	26
6.5 CO ₂ -Kompensationen und „Sustainable Finance“ durch Token	27
6.5.1 Der freiwillige Emissionshandel im Überblick	27
6.5.2 Chancen und Herausforderungen tokenisierter Emissionsgutschriften	28
6.5.3 Diskussion: Beitrag zur Nachhaltigkeit von tokenisierten Emissionsgutschriften	30
6.6 Zwischenfazit: Beitrag der Blockchain-Technologie zur Nachhaltigkeit entlang des digitalen Produktpasses, des Lieferkettengesetzes und CO ₂ -Kompensationen	31
7 Handlungsoptionen für den Einsatz der Blockchain-Technologie im Kontext Nachhaltigkeit	34
7.1 Expertenperspektive: Stärken, Schwächen, Chancen und Risiken Blockchain und Nachhaltigkeit	35
7.2 Aktuelle Blockchain-Trends und weitere Fragestellungen im Kontext Nachhaltigkeit	36
7.3 Ableitung von Handlungsoptionen	39
8 Schlussbetrachtungen: Die Blockchain-Technologie im Kontext der Nachhaltigkeit	42
9 Literaturverzeichnis	44

KURZFASSUNG

In der vorliegenden Kurzstudie wird untersucht, wie die Blockchain-Technologie einen signifikanten Beitrag zu einer nachhaltigen Wirtschaft und Gesellschaft leisten kann. Dabei werden sowohl die ökologische als auch die soziale und ökonomische Dimension der Nachhaltigkeit berücksichtigt. Im Fokus der Untersuchung stehen u.a. die folgenden Fragen:

- ▶ Welche Potenziale gehen von der Blockchain-Technologie zur Steigerung der Nachhaltigkeit aus?
- ▶ Welche Hemmnisse zur Realisierung dieser Potenziale gibt es und wie können diese abgebaut werden?
- ▶ Wie kann beurteilt werden, ob Blockchain-Lösungen selbst nachhaltig sind?

Die Kurzstudie ist Teil des „Fachdialogs Blockchain“, der im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz durchgeführt wird und in dessen Rahmen in mehreren Modulen die Potenziale, Hemmnisse und Handlungsoptionen im Bereich der Blockchain-Technologie erarbeitet werden. Die vorliegende Kurzstudie befasst sich mit dem Modul Nachhaltigkeit, in welche die Erkenntnisse aus einer im Rahmen des Fachdialogs durchgeführten Expertenkonsultation sowie die Ergebnisse eines ganztägigen virtuellen Workshops mit rund 50 ausgewählten Blockchain-Expertinnen und -Experten eingeflossen sind. Die durchgeführte Expertenkonsultation hat ergeben, dass vor allem die Bereiche der:

- (1) *Kreislaufwirtschaft,*
- (2) *Anwendungen entlang von Supply Chains sowie des*
- (3) *Energie- und Emissionshandels*

als besonders vielversprechend für den Einsatz der Blockchain-Technologie zur Steigerung der Nachhaltigkeit eingeschätzt werden. Aus diesem Grund wurden für die Studie drei Anwendungsfälle der Blockchain-Technologie auf Basis der genannten Bereiche exemplarisch ausgewählt und im Hinblick auf Nach-

haltigkeit analysiert. Dabei handelt es sich um (1) den *blockchain-basierten digitalen Produktpass*, (2) den *Einsatz der Blockchain-Technologie im Kontext des Lieferkettengesetzes* sowie (3) den *blockchain-basierten Emissionshandel*.

Hierbei wird deutlich, dass die Blockchain-Technologie ein Schlüssel zur Realisierung von mehr Nachhaltigkeit sein kann und dabei oftmals mehr als nur eine Dimension der Nachhaltigkeit adressiert.

- ▶ Mit Hilfe eines (1) *digitalen blockchain-basierten Produktpasses* besteht das Potential einer erhöhten Materialrückführung und eines verbesserten Recyclingprozesses. Dieses Potential wird realisiert, indem die Informationen rund um das Produkt in einer Blockchain dokumentiert und nachgehalten werden und es auf diesem Weg allen Akteuren entlang eines Produktlebenszyklusses ermöglicht wird, mithilfe von Decentralized Identifiers und Verifiable Credentials selbstbestimmt, unabhängig voneinander und souverän Informationen zum digitalen Produktpass hinzuzufügen – im Kontrast zu zentralen Systemen, die Bottlenecks und Abhängigkeiten verursachen. Eine zentrale Herausforderung des Produktpasses ist dabei die Umsetzung entsprechender Geschäftsmodelle, die Anreize für alle Akteure schaffen. Hier kann eine Blockchain-Lösung z.B. nachweisen, welcher Akteur welchen Anteil am Recyclingprozess hatte und auf diesem Weg eine dem Anteil entsprechende Entlohnung gewährleisten.
- ▶ Im Zuge des (2) *Lieferkettengesetzes* kann die Blockchain-Technologie Unternehmen helfen, ihren auferlegten Pflichten nachzukommen. Insbesondere im Bereich des geforderten Beschwerdemanagements und Berichtswesens birgt die Blockchain-Technologie aufgrund der persistenten Informationsspeicherung ein großes Potenzial – sowohl für denjenigen, der eine Beschwerde einreicht aber auch für das Unternehmen, das sich vor Missbrauch schützen möchte. Insbesondere

für komplexe Lieferketten werden dezentrale Systeme als Chance zur Umsetzung von Transparenz und Nachvollziehbarkeit betrachtet - auch hier bleibt die Steigerung der sozialen, aber auch ökonomischen Nachhaltigkeit abhängig von der Realisierung entsprechender Geschäftsmodelle mit passenden Anreiz- und Governance-Systemen, um etwa die Abhängigkeit der Zulieferer von dominanten Akteuren zu reduzieren.

- ▶ Als drittes Anwendungsbeispiel wird der (3) *freiwillige Emissionshandel* auf Basis der Blockchain-Technologie betrachtet. In Kombination mit dem Internet of Things (IoT) im Kontext der Tokenisierung von CO₂-Senken kann die Blockchain-Technologie einen erheblichen Beitrag zur ökologischen Nachhaltigkeit leisten. Auch kann die Blockchain-Technologie helfen, Doppelbuchungen zu vermeiden und soziale Nachhaltigkeit stärken, indem Empfänger und Bereitsteller von CO₂-Senken oder sozialen Projekten direkt begünstigt werden.

Diese drei Anwendungsbeispiele veranschaulichen beispielhaft die signifikanten Potentiale der Blockchain-Technologie für eine nachhaltigere Wirtschaft und Gesellschaft. Gleichzeitig ist jedoch auch der Aspekt der Nachhaltigkeit der jeweiligen Blockchain-Lösung an sich zu berücksichtigen. Die technische Umsetzung des Systems und der ressourcen- bzw. energieeffiziente Einsatz sind dabei maßgeblich für die Nachhaltigkeit der Blockchain-Lösung: Die Verwendung von energiearmen Konsensmechanismen, eine generelle Datensparsamkeit (z. B. Speicherung von Informationen außerhalb der Blockchain) sowie der ressourcenschonende Einsatz der Hardware und die Verwendung von regenerativen Energien sollte bevorzugt werden. Zur Förderung der nachhaltigen Ausgestaltung von Blockchain-Lösungen sind auch die Vergabe eines „Nachhaltigkeits-Siegels“ für Blockchain-Lösungen sowie finanzielle Anreize für ressourcenarme Blockchain-Lösungen denkbare Maßnahmen. Die Voraussetzung hierfür ist jedoch die objektive Beurteilung der Nachhaltigkeit einer Blockchain-Lösung anhand von belastbaren Indikatoren. Die Entwicklung dieser Indikatoren könnte durch öffentliche Forschungsaufträge angeregt bzw. beschleunigt werden.

Hemmnisse für Unternehmen beim Einsatz von Blockchain-Technologie im Zusammenhang mit der Steigerung der sozialen, ökologischen und ökonomischen Nachhaltigkeit, sind Mangel an Informationen im Kontext der Technologie und ihrer Energieintensität (bspw. die Gleichsetzung von Blockchain mit Bitcoin), mangelnde Erfahrungswerte und Daten zur Abschätzung der Wirtschaftlichkeit von Blockchain-Lösungen sowie zum Teil ein mangelnder Digitalisierungsreifeegrad vieler Unternehmen, welcher es erschwert, bestehende Systeme mit der Blockchain-Lösung zu verbinden. Ein mangelnder Digitalisierungsreifeegrad kann auch im Kontext von Oracles zum Problem werden, wenn diese z. B. auf IoT-Devices, Sensorik und 5G-Netzwerken basieren. Darüber hinaus besteht ein generelles „Henne-Ei-Problem“: Ein Mangel an bereits implementierten Praxisbeispielen im Sinne von Best-Practices entlang komplexer Lieferketten hemmt die Diffusion der Blockchain-Technologie in die Wirtschaft.

Mit Blick auf die Ausgestaltung von öffentlichen Fördermaßnahmen sollte daher bei öffentlich geförderten Pilot- bzw. Leuchtturmprojekten in Zukunft darauf geachtet werden, dass marktfähige Blockchain-Anwendungen entstehen, um so zu einer Verstärkung der Projekte zu gelangen und das Henne-Ei-Problem zu durchbrechen (vom *Minimum Viable Products* zum *Minimum Sellable / Marketable Product*). Zudem sollte die Bereitstellung von nicht wettbewerbsverzerrender Open-Source-Software und Hardware in Form von Open-Source-Lizenzen im Vordergrund von öffentlich geförderten Entwicklungsprojekten stehen, um eine barrierefreie Diffusion der Technologie zu beschleunigen und damit eine Realisierung der Potenziale der Blockchain-Technologie zur Förderung der Nachhaltigkeit zu gewährleisten.

Gelingt es, sowohl die Nachhaltigkeit der Blockchain-Lösungen an sich zu gewährleisten, als auch die signifikanten Potentiale der Blockchain-Technologie zur Förderung der Nachhaltigkeit sowohl in ökologischer, ökonomischer als auch sozialer Hinsicht zu realisieren („Blockchain for Good“), stellt die Blockchain-Technologie einen bedeutsamen Baustein auf dem Weg zu einer nachhaltigeren Wirtschaft und Gesellschaft dar.

EXECUTIVE SUMMARY

This underlying study examines how blockchain technology can make a significant contribution to a sustainable economy and society. In doing so, the ecological as well as the social and economic dimensions of sustainability are considered. Amongst others, the study focuses on the following questions:

- ▶ What are the potentials of blockchain technology to increase sustainability?
- ▶ What are the barriers to realizing the potential of blockchain technology and how can these be reduced?
- ▶ How can blockchain solutions themselves be assessed with respect to their sustainability?

The short study is part of the “Fachdialog Blockchain”, which is being conducted on behalf of the German Federal Ministry for Economic Affairs and Climate Action. The aim of the “Fachdialog Blockchain” is to discover potentials, barriers and options for action in the area of blockchain technology along several modules. This brief study deals with the module “sustainability”, which incorporates the findings of an expert consultation conducted as part of the “Fachdialog Blockchain” as well as the results of a full-day virtual workshop with around 50 selected blockchain experts. The expert consultation revealed that the areas of:

- (1) *circular economy,*
- (2) *applications along supply chains, and*
- (3) *energy and emissions trading*

are considered to be particularly promising for the adoption of blockchain technology to increase sustainability. For this reason, three blockchain-based use cases along these identified areas were selected as examples for the study and analyzed with regard to the technology's impact on sustainability. These use cases are (1) *the blockchain-based digital product passport,* (2) *the use of blockchain technology in the*

context of the German supply chain law (“Lieferkettengesetz”), and (3) blockchain-based emissions trading.

The underlying study demonstrates that blockchain technology is an enabler for sustainability and often addresses more than one dimension of sustainability.

- ▶ In the context of the (1) *blockchain-based digital product passport,* blockchain technology in combination with decentralized identifiers and verifiable credentials allows the reduction of bottlenecks, dependencies and creates the possibility for participants along a product lifecycle to add information to the digital product passport in a self-determined, independent and sovereign manner. As a result, blockchain technology not only improves environmental sustainability through increased material recovery and an improved recycling process, but also ensures economic sustainability due to the new, recycled resources. A key challenge here is the implementation of appropriate business models that create incentives for all participants in the sense of revenue sharing. However, the blockchain technology itself can help to realize according revenue sharing as it can persistently proof and show, which participant had which share in the recycling process.

- ▶ Blockchain technology can also help companies to meet their obligations in the course of the (2) *German supply chain law.* Especially in the area of required complaint management and reporting, blockchain technology holds great potential due to the persistent storage of information - both for the person filing a complaint but also for the company that wants to protect itself from abuse. Especially for complex, multi-tier supply chains, decentralized systems are seen as the only chance to implement transparency and traceability - here, too, successful implementation to increase social, but also economic sustainability depends on the

business model, the corresponding incentives and governance preventing dependencies of small suppliers on dominant players. In addition, along supply chains, the role and use of oracles is also crucial for successful data transfer.

- ▶ This also holds true for various business models in (3) *voluntary, blockchain-based emission trading*. Thereby, the blockchain technology can be seen as a complement or an enabler, depending on the design of the business model. In combination with IoT- and satellite technology in the context of tokenizing CO₂ sinks, blockchain technology can make a significant contribution to environmental sustainability. In addition, blockchain technology can also help to avoid double booking and strengthen social sustainability by directly benefiting recipients and providers of CO₂ sinks or social projects.

Exemplarily, these three use cases demonstrate that blockchain technology can contribute to a more sustainable economy and society alike. However, the technical implementation of the blockchain system itself is also fundamentally crucial for a sustainable contribution of blockchain technology: The use of low-energy consensus mechanisms, general data reduction (e.g., storage of information outside the blockchain) as well as the resource-saving use of hardware and renewable energies should be preferred.

To promote the sustainable design of blockchain solutions, the award of a “sustainability seal” for blockchain solutions and financial incentives for low-resource blockchain solutions are conceivable measures. However, the prerequisite for this is the objective assessment of the sustainability of a blockchain solution based on robust indicators. The development of these indicators could be stimulated or accelerated by public funding.

Obstacles for companies in the use of blockchain technology in connection with increasing social, ecological and economic sustainability include a lack of information in the context of the technology and its energy intensity (e.g. equating blockchain with bitcoin), a lack of empirical values and data for estimating the economic viability of blockchain solutions, and in some cases a lack of digital maturity on the part of many companies, which makes it difficult to connect existing systems with the blockchain solution. A lack of digital maturity can also become a problem in the context of oracles, for example, if they are based on IoT devices, sensor technology and 5G networks. In addition, a general “chicken-and-egg problem” can be observed: A lack of already implemented practical examples in the sense of best practices along complex supply chains inhibits the diffusion of blockchain technology into the economy.

With regard to the design of public funding measures, attention should therefore be paid in future to publicly funded pilot or lighthouse projects that ensure marketable blockchain applications in order to achieve a stabilization of the projects and to break through the chicken-and-egg problem (from *Minimum Viable Products* to *Minimum Sellable / Marketable Product*). In addition, the provision of non-competitive, open source software and hardware in the form of open source licenses should be at the forefront of publicly funded development projects in order to accelerate barrier-free diffusion of the technology and thus ensure realization of the potential of blockchain technology to promote sustainability.

If it is possible both to ensure the sustainability of the blockchain solutions themselves and to realize the significant potential of blockchain technology for promoting sustainability in ecological, economic and social terms (“blockchain for good”), blockchain technology will represent a significant building block on the path to a more sustainable economy and society.

1 EINLEITUNG

Im Jahr 2019 hat die deutsche Bundesregierung als eine der ersten Regierungen weltweit ihre Blockchain-Strategie verabschiedet. Ein elementarer Bestandteil dieser Strategie ist die Frage, wie mithilfe von Blockchain-Technologien nachhaltiges Wirtschaften bei gleichzeitiger Steigerung der Energieeffizienz vorangetrieben werden kann. Konkret heißt es: *„Der Einsatz von Blockchain-Anwendungen muss im Einklang mit den Nachhaltigkeits- und Klimaschutzzielen der Bundesregierung erfolgen. Die Bundesregierung erkennt Potenzial und Risiken bestimmter Blockchain-Lösungen für das Erreichen dieser Ziele an.“* (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie und Bundesministerium der Finanzen 2019). Während damit die Rolle von Blockchain etwa zur Entwicklung dezentral gesteuerter, intelligenter Energienetze der Zukunft hervorgehoben wird, besteht gleichzeitig noch immer Unklarheit darüber, was mithilfe von Blockchain-Technologien grundsätzlich erreicht werden kann. So sind zum Beispiel nicht alle Blockchains ressourcen- und energieintensiv, wie oftmals im Zusammenhang mit der Technologie angeführt wird.

Ein großer Energiebedarf besteht im Wesentlichen bei Blockchains, die Kryptowährungen bereitstellen, wie etwa Bitcoin oder Ethereum, die auf dem sogenannten Proof-of-Work-Verfahren beruhen (Fatz et al. 2020). Für die in der Wirtschaft aber weit häufiger anzutreffenden Konsortiallösungen, die auf Blockchain-Lösungen beruhen, die andere Konsensmechanismen verwenden als das energieintensive Proof-of-Work-Verfahren, trifft dies nicht zu. Ein alternatives Konsensverfahren ist etwa Proof-of-Stake, bei dem die Konsensbildung explizit von der Rechenleistung entkoppelt und die Erlaubnis, die nächsten Transaktionen als Block in die Blockchain zu schreiben, mittels eines Algorithmus unter den beteiligten Validatoren verteilt wird (Hinckeldeyn 2019). Denkbar ist aber auch das Byzantine-Fault-Tolerant-Verfahren, bei dem eine Gruppe an Validatoren ausgewählt wird, einen neuen Block zu prüfen und darüber abzustimmen, ob er der Kette hinzugefügt werden soll. Inzwischen existieren unzählige Kon-

sensverfahren und neue kommen fast täglich hinzu: Sie alle versuchen entweder besonders sicher oder besonders schnell zu sein oder sind für bestimmte Anwendungsfälle optimiert. Für eine Beurteilung, welches Protokoll für eine bestimmte Anwendung das Geeignetste ist, ist daher nicht nur der Durchsatz, sprich die Transaktionen pro Sekunde, maßgeblich, sondern darüber hinaus das verwendete Konsensverfahren.

Die im Einsatz befindlichen Blockchain-Systeme unterscheiden sich nicht nur darin, welche Konsensverfahren eingesetzt werden, sondern auch, welche Governance zum Einsatz kommt. So kann im Allgemeinen zwischen der Permissionless Blockchain und der Permissioned Blockchain unterschieden werden. In der Permissionless Blockchain kann jeder ohne Berechtigungsbeschränkung teilnehmen. Jeder Teilnehmende verfügt über dieselben Zugangsrechte. Im Gegensatz dazu ist der Zugang zu Permissioned Blockchain-Netzwerken grundsätzlich beschränkt. Dabei lassen sich Permissioned Blockchains wiederum in Konsortium- und Private-Blockchains unterteilen. Bei der Konsortium-Blockchain verfügen alle zugelassenen Teilnehmenden über Mitbestimmungsrechte, sodass administrative Entscheidungen in der Regel gemeinschaftlich getroffen werden. In sogenannten privaten Blockchain-Netzwerken wiederum verfügen nur wenige Instanzen oder nur ein Teilnehmender über die Konfigurationshoheit des Netzwerkes. Für die Industrie sind insbesondere Permissioned Blockchain-Netzwerke zur Abbildung von interorganisationalen Geschäftsbeziehungen sinnvoll. Da in Permissioned Blockchain-Netzwerken die Teilnehmenden bekannt sind, kann auf Algorithmen bzw. konsensbildende Verfahren wie das Proof-of-Authority zurückgegriffen werden, die wenig Energie benötigen. Aus diesem Grund ist für den jeweiligen Anwendungsfall differenziert zu erörtern, welches Konsensverfahren geeignet erscheint. Trotzdem kann es sein, dass etwa unter bestimmten Umständen das Proof-of-Work-Verfahren effizient ist, wenn andere Verfahren nicht möglich sind oder nicht dasselbe Sicherheitsniveau bieten.

Über die energieeffiziente Nutzung von Blockchain-Anwendungen hinaus stellt sich aber auch die vielleicht wichtigere Frage, wie Blockchain-Technologien selbst einen **Beitrag zur Nachhaltigkeit und Energieeffizienz** leisten können. So existieren bereits heute vielversprechende Ansätze im Energiesektor: Die der Blockchain inhärenten Eigenschaften wie Transparenz, Nachvollziehbarkeit und Manipulationsicherheit sind wichtige Lösungstreiber für die Beantwortung der Frage, wie dezentrale Peer-to-Peer-Stromnetze gestaltet werden können, also Netze, bei denen z. B. Privatpersonen überschüssige Energie einspeisen können. So ermöglichen Blockchain-Anwendungen beispielsweise automatisierte Abrechnungsprozesse, den Stromhandel auf Makro- und Mesoebene sowie Nachbarschafts- und Mietermodelle oder die Zertifizierung von Herkunftsnachweisen für regenerative Energiequellen (Teufel et al. 2020). Neben den Aspekten der Ressourceneffizienz sowie des Umwelt- und des Klimaschutzes können Blockchain-Anwendungen aufgrund ihrer Fälschungssicherheit aber auch Beiträge zu weiteren Nachhaltigkeitsaspekten wie Korruptionsbekämpfung und Nachhaltigkeit in Lieferketten z. B. im Bereich der Prävention von Medikamentenfälschung oder in Food Supply Chains leisten. Nachhaltigkeit ist dabei stets als **Dreiklang** zwischen **ökologischer, ökonomischer und sozialer** Nachhaltigkeit zu verstehen.

Die Bundesregierung folgt in ihrer **Nachhaltigkeitsstrategie** den **17 Nachhaltigkeitszielen** (Sustainable Development Goals, kurz: SDG) der Vereinten Nationen, die soziale, wie auch gleichermaßen wirtschaftliche und ökologische Aspekte beschreiben (Die Bundesregierung 2020). Diese 17 Ziele übersetzt die Bundesregierung im Hinblick auf die Europäische Agenda 2030 in eine Reihe an individuellen, auf die Bundesrepublik Deutschland angepassten Ziele. Damit die Transformation gelingen kann, identifiziert die Bundesregierung wichtige Hebel: Unter anderem stellen die Finanzpolitik wie auch das individuelle Verhalten der Bürgerinnen und Bürger elementare Hebel im Kontext der Transformation dar. Ebenso spricht die Bundesregierung der Anwendung von Technologien und der Entwicklung von Innovationen eine zentrale Bedeutung zu. So sollen

„(in) Verbindung mit der Digitalisierung und Spitzentechnologien über alle Disziplinen hinweg (...) neue Potenziale für eine nachhaltige Wirtschaft erschlossen werden“ (Die Bundesregierung 2020). Die Blockchain-Technologie wird hier nicht explizit genannt, ist jedoch eine solche Technologie, die das Potenzial hat, in vielen Nachhaltigkeitsbereichen einen großen Beitrag zu leisten – angefangen bei der sozialen Teilhabe über den Bildungsbereich, bis hin zur Energieversorgung oder dem nachhaltigen Konsum im Kontext einer zirkulären Wertschöpfung.

Ob und welchen Beitrag die Blockchain-Technologie im Kontext der Nachhaltigkeit in Deutschland leisten kann, untersucht dieses Modul des „Fachdialogs Blockchain“.

Der „**Fachdialog Blockchain**“ ist Teil einer Reihe von Maßnahmen, die die Blockchain-Strategie der Bundesregierung von 2019 vorsieht. Unter anderem soll eine Dialogreihe zwischen ausgewählten Expertinnen und Experten aus der Politik, Wissenschaft und Wirtschaft zu zentralen Themen im Blockchain-Kontext geführt werden. Diese Studien- und Dialogreihe wurde mit der Ausschreibung „Fachdialog Blockchain: Potenziale von Distributed-Ledger-Technologien für die Wirtschaft“ vom 27.05.2020 angestoßen. Im Rahmen des „Fachdialogs Blockchain“ werden ausgewählte Expertinnen und Experten zu unterschiedlichen Themenbereichen, insbesondere der „**Token-Ökonomie in Deutschland**“, „**Blockchain und Nachhaltigkeit**“ und „**Blockchain im Mittelstand**“ befragt. Die Themenbereiche werden zunächst in drei separaten Modulen über einen Zeitraum von 18 Monaten aufbereitet. Zu Beginn des „Fachdialogs Blockchain“ wurden im November 2020 insgesamt 46 Expertinnen und Experten aus Wirtschaft, Wissenschaft und öffentlicher Verwaltung angeschrieben. Ziel war es, die innerhalb des „Fachdialogs Blockchain“ angedachten Themenfelder: „Token-Ökonomie“, „Nachhaltigkeit“ und „Mittelstand“ zu definieren und erste, wichtige Forschungsfragen für die zukünftige Ausarbeitung abzuleiten. Insgesamt haben 20 Expertinnen und Experten einen Antwortbogen zurückgesandt. Zusätzlich zur schriftlichen Auswertung dieser Konsultationsbögen wurde am 12. Februar 2021 virtuell mit 18 Expertinnen und

Experten ein Auftaktworkshop zu den drei genannten Themenbereichen durchgeführt. Es wurden drei Zukunftsszenarien erörtert und dabei erste Chancen und Hemmnisse der Distributed-Ledger-Technologie erarbeitet.

Das Modul „Token-Ökonomie“ wurde bereits erfolgreich im Juli 2021 abgeschlossen. Für das Modul „Nachhaltigkeit“ wurden ebenfalls die Ergebnisse der schriftlichen Konsultationen in Kombination mit einer wissenschaftlichen Aufarbeitung von Anwendungsbeispielen in einer Impulsstudie zusammengefasst. Diese interne Impulsstudie diente als Grundlage für einen weiteren Workshop mit den ausgewählten Expertinnen und Experten. Im Rahmen eines speziell für das Modul „Nachhaltigkeit“ abgestimmten, ganztägigen virtuellen Workshops wurden auf Basis der Impulsstudie Fragestellungen abgeleitet und mit den Expertinnen und Experten diskutiert. Der virtuelle Workshop fand am 25. Oktober 2021 mit insgesamt 46 Expertinnen und Experten statt. Im Rahmen der vorliegenden Kurzstudie werden diese Diskussionsergebnisse aufbereitet. Des Weiteren beantwortet die Kurzstudie auf Basis von Desk-Research und den Ergebnissen der schriftlichen Befragung, wie auch der Durchführung des Workshops mit den Expertinnen und Experten u. a. folgende Fragestellungen:

- ▶ Welche aktuellen Entwicklungen lassen sich im Bereich Blockchain und Nachhaltigkeit verzeichnen?
- ▶ Kann die Blockchain zur Verbesserung der Nachhaltigkeit konkret eingesetzt werden?
- ▶ Welche Bewertungskriterien sind sinnvoll, um zu beurteilen, inwiefern die Blockchain einen Beitrag zur Nachhaltigkeit leistet?
- ▶ Welche Hemmnisse und Herausforderungen stehen den identifizierten Potenzialen gegenüber?
- ▶ Wie können diese Hemmnisse abgebaut werden und wie können Fördermaßnahmen gestaltet werden?

Dazu gliedert sich die vorliegende Kurzstudie wie folgt: Kapitel 2 liefert einen Überblick zur Definition und dem aktuellen Verständnis von Nachhaltigkeit im Kontext der unterschiedlichen Nachhaltigkeitsdimensionen. Das darauffolgende Kapitel 3 beleuchtet unterschiedliche Möglichkeiten, wie und in welchen Bereichen der 17 Nachhaltigkeitsziele der Vereinten Nationen die Blockchain-Technologie einen Beitrag leisten kann. In Kapitel 4 wird die Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie der Bundesregierung (2018-2021) vorgestellt. Im darauffolgenden Kapitel 5 werden geförderte Projekte und Vorhaben mit Bezug zur Blockchain-Technologie und Nachhaltigkeit in Deutschland dargestellt, um so den Status quo zu umreißen. In Kapitel 6 werden ausgewählte Anwendungsbeispiele im Hinblick auf Chancen und Risiken bzw. Hemmnisse analysiert. Es werden drei unterschiedliche Szenarien beleuchtet, um somit in Kapitel 7.3 auf Basis der Anwendungsbeispiele und den Ergebnissen der Expertendiskussion vom 25. Oktober 2021 entsprechende Handlungsoptionen abzuleiten.

2 VERSTÄNDNIS VON NACHHALTIGKEIT

Für den Begriff „Nachhaltigkeit“ findet sich eine Vielzahl verschiedener Definitionen, die vom jeweiligen Kontext, in dem sie verwendet werden, abhängen. Während „nachhaltig“ zunächst im eigentlichen Wortsinne nur „lange anhaltend“ bedeutet, wurde der Begriff erstmals im 17. Jahrhundert von Hans Carl von Carlowitz zur Beschreibung einer bestimmten Art der Forstwirtschaft verwendet, bei der es darum ging, nicht mehr Bäume zu roden als gleichzeitig gepflanzt werden konnten (Reitemeier et al. 2019). Das Prinzip Nachhaltigkeit sollte also sicherstellen, dass ein regeneratives, natürliches System in seinen wesentlichen Eigenschaften dauerhaft erhalten bleibt. Damit war der Grundstein zum Verständnis von Nachhaltigkeit als ressourcenökonomisches Prinzip gelegt. „Nachhaltigkeit“ als politisches Leitbild wurde erstmals 1987 im sog. Brundtland-Report durch die Vereinten Nationen im Sinne einer „nachhaltigen Entwicklung“ festgeschrieben (Brundtland 1987). Mit dem Stichwort „Entwicklung“ nahm man zusätzlich eine zeitliche Dimension auf; der Aspekt der globalen räumlichen sowie zeitlichen Gerechtigkeit war nunmehr maßgebend. Gegenwärtige Generationen soll-

ten ihre eigenen Bedürfnisse in einer Weise befriedigen, die es auch noch zukünftigen Generationen ermöglicht, deren eigene Bedürfnisse zu befriedigen (Die Bundesregierung 2020). Aufbauend auf dem Brundtland-Report der Vereinten Nationen präziserte die Enquete-Kommission im Auftrag des Bundestags 1998 eine nachhaltige Entwicklung als ein Zusammenspiel aus drei Dimensionen: Ökologie, Ökonomie und Soziales (vgl. Abbildung 1) (Enquete-Kommission 1998).

Während diese drei Dimensionen zunächst in unterschiedlichen Modellen dargestellt wurden (Drei-Säulen-Modell, Dreiklang und Zieldreieck), gilt das in Abbildung 1 dargestellte Zieldreieck der Nachhaltigkeit heutzutage als anerkanntes Leitbild. Hiernach besteht eine nachhaltige Entwicklung aus drei miteinander verknüpften, gleichgewichtigen Dimensionen, die nicht separat voneinander betrachtet werden können. Ökonomische Nachhaltigkeit wird dadurch erreicht, dass eine Organisation oder ein Unternehmen so betrieben wird, dass sein wirtschaftlicher Fortbestand und Werterhalt gesichert sind. Dies kann zum Beispiel durch umwelttechnische, institutionelle und soziale Innovationen gelingen, die zu einer effizienteren Ressourcennutzung führen und dadurch eine Überlastung der natürlichen Ressourcen verhindern. Im Sinne des Zieldreiecks der Nachhaltigkeit soll das Wirtschaften also umwelt- und sozialverträglich erfolgen und auf eine Steigerung der Lebensqualität und nicht allein des Besitzes abzielen. Eine Steigerung der Lebensqualität steht auch im Fokus der sozialen Nachhaltigkeitsdimension. Diese verfolgt nämlich die Aufrechterhaltung und Steigerung sozialer Ressourcen wie Toleranz, Gerechtigkeit und Gemeinwohlorientierung in sozialen Systemen und Gesellschaften. Ökologische Nachhaltigkeit besteht dann, wenn ein natürliches System vom Menschen so genutzt wird, dass seine grundlegenden Eigenschaften dauerhaft erhalten werden und somit sein Fortbestand gesichert wird (Pufé 2017). Hierbei ist zu berücksichtigen, dass ökologische Systeme als Quelle natürlicher Ressourcen und Senke anthropo-



Abbildung 1 - Zieldreieck der Nachhaltigkeit (i. A. Pufé 2017)

gener Emissionen auf der einen Seite für den Menschen überlebenswichtig sind. Auf der anderen Seite wird die Natur aber auch durch menschliche Aktivitäten, die auf eine wirtschaftliche und soziale Nachhaltigkeit einzahlen sollen, wie den Abbau von Rohstoffen und die Umwandlung von Landschaften, negativ beeinflusst (Pufé 2017).

Dass die Digitalisierung zur Verwirklichung genannter Ziele einen wesentlichen Beitrag leisten kann, wurde bereits mehrfach festgestellt. Beispielhaft sei auf die Studie der Bitkom e. V. 2021 Bezug genommen, die u. a. zu dem Schluss kommt, dass Deutschland durch eine beschleunigte Digitalisierung bis 2030 bis zu 58 % der CO₂-Einsparungen erreichen kann, die zur Erreichung des deutschen Klimaziels benötigt werden (Holst et al. 2021). Das höchste Einsparpotenzial sieht der Bitkom e. V. dabei in der Fertigung, wie auch in der Mobilität gefolgt vom Energie-

sektor. Beispielsweise könnten in der Fertigung durch digitale Zwillinge und eine Vernetzung von Maschinen sowie die voranschreitende Automatisierung 10 - 16 % der erwarteten Emissionen in 2030 vermieden werden. Im Mobilitätsbereich können z. B. smarte Logistiknetzwerke bis zu 16 % der Emissionen bis 2030 einsparen. Im Energiesektor könnten laut Bitkom e. V. bis 2030 durch Smart Grids 8 - 10 % eingespart werden. Die Einsparungen sind dabei höher als der Energieverbrauch der dazu notwendigen Infrastruktur selbst (Holst et al. 2021). Fest steht, dass die Blockchain-Technologie einen vielschichtigen Beitrag zu den genannten Bereichen leisten kann. Ein kurzer Überblick über mögliche, weitere Beiträge der Blockchain-Technologie im Sinne der 17 SDG der Vereinten Nationen wird in Kapitel 3 gegeben. Kapitel 5 und 6 zeigen ebenfalls anhand unterschiedlicher Förderprojekte und aktueller Umsetzungsprojekte, wie die Technologie eingesetzt werden kann.

3 DIE BLOCKCHAIN-TECHNOLOGIE IM KONTEXT DER 17 SDG DER VEREINTEN NATIONEN

Im Folgenden wird entlang der 17 SDG der Vereinten Nationen ein kurzer Überblick darüber gegeben, welche Ansätze zur Realisierung von Potenzialen im Bereich der Nachhaltigkeit durch den Einsatz der Blockchain-Technologie bereits untersucht werden. Hierbei besteht kein Anspruch auf Vollständigkeit, sondern es wird ein Auszug aus der aktuellen Literatur dargestellt, der aufzeigt, in welcher Vielschichtigkeit die Blockchain-Technologie im Kontext der 17 SDG diskutiert wird und wie sie sowohl in ökonomischer als auch ökologischer und sozialer Dimension einen Beitrag zum Erreichen der Ziele leisten kann.

Wie in der Literaturübersicht dargestellt, kann die Blockchain-Technologie in einer Vielzahl von Anwendungsfällen zur Erreichung von Nachhaltigkeitszielen beitragen. Weitere Anwendungsfälle werden kontinuierlich hinzukommen. Dieses Potenzial resultiert

aus den speziellen Eigenschaften, die die Blockchain-Technologie von traditionellen zentralen Systemen unterscheidet, wie der Verzicht auf Intermediäre und die manipulationssichere, dezentrale Speicherung von Daten. Die in der Übersicht dargestellten Anwendungsfälle lassen sich jedoch nicht in ihrer Gesamtheit direkt auf Deutschland übertragen, da sich die Bedeutung von Nachhaltigkeitszielen wie *keine Armut* und *kein Hunger* für verschiedene Länder der Welt stark unterscheidet. Daher muss eine individualisierte und auf Deutschland bezogene Betrachtung erfolgen, die sich an der aktuellen Deutschen Nachhaltigkeitsstrategie orientiert. Deshalb wird zunächst die Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie 2021 kurz vorgestellt, bevor in Kapitel 5 am Beispiel einiger Projekte aufgezeigt wird, wie das Einsatzpotenzial von Blockchain-Technologien in Deutschland bereits heute erforscht wird.

#	Sustainable Development Goal (SDG)	Beispiele für das Potenzial durch Blockchain-Einsatz	Literaturauszug
	Keine Armut	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Finanzielle Inklusion ▶ Abwicklung von Spendenzahlungen ▶ Sicherung des Vermögens von flüchtenden und/oder verfolgten Personengruppen 	Kshetri 2017 Chapiro 2021
	Kein Hunger	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Tracking und Tracing von Hilfslieferungen und Bargeldtransfers 	UN World Food Programme (WFP) 2018
	Gesundheit und Wohlergehen	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Verwaltung von Krankenakten und Patientendaten ▶ Aufdeckung von Arzneimittelfälschungen 	Namasudra und Deka 2021 Weinberg 2019
	Hochwertige Bildung	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Automatisierung der Aktenführung (Nachweise, Zertifikate, etc.) 	Grech und Camilleri 2017 Third et al. 2019
	Geschlechtergleichstellung	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Finanzielle Inklusion ▶ Eigentumsnachweise für finanzielle Unabhängigkeit 	Dixon 2020
	Sauberes Wasser und Sanitärversorgung	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Monitoring der Wasserqualität ▶ Dezentralisierung von Spendensammlungen 	Pandian et al. 2020 Dogo et al. 2019
	Bezahlbare und saubere Energie	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Rohstoff- & Elektrizitätshandel ▶ Elektrizitätsdatenmanagement ▶ Smart Power Grids 	Corusa et al. 2020 Mika und Goudz 2021
	Menschenwürdige Arbeit und Wirtschaftswachstum	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Umsetzung des Lieferkettengesetzes ▶ Gefahrgutmanagement für Sicherheit am Arbeitsplatz ▶ Neue Geschäftsmodelle und Wachstum durch Tokenisierung 	Hillemann und Suchrow 2021a Hillemann und Suchrow 2021b Meri und Khadraoui 2018 - 2018 Sunyaev et al. 2021
	Industrie, Innovation und Infrastruktur	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Neue Formen der Wertschöpfung z. B. durch dezentrale Fertigungsplätze im Maschinenbau ▶ Tokenisierung von Werten und dadurch neue Geschäftsmodellinnovationen ▶ Blockchain per se als dezentrale, nachhaltige Infrastruktur 	Kurpjuweit et al. 2021 Sunyaev et al. 2021 Stuermer et al. 2017
	Weniger Ungleichheiten	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Globale Kryptowährungen zur Verringerung der Abhängigkeiten von nationalen Währungsschwankungen 	Rivers 2021
	Nachhaltige Städte und Gemeinden	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Schutz von Urheberrechten und geistigem Eigentum durch Non-Fungible-Token (NFT) ▶ Dezentralisierung und Digitalisierung der Verwaltung 	Holotescu und Holotescu 2019 Herweijer et al. 2018
	Verantwortungsvoller Konsum und Produktionsmuster	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Kreislaufwirtschaft und digitale Produktpässe ▶ Sharing Economy 	Narayan und Tidström 2020 Hatzivasilis et al. 2021
	Maßnahmen zum Klimaschutz	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Regenerative Landwirtschaft ▶ Bessere Überwachung und Rechnungslegung bzgl. Treibhausgasen ▶ Handel mit sauberer Energie 	Zhou 2021 UNFCCC 2021
	Leben unter Wasser	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Herkunftsnachweise für Meeresfrüchte ▶ Schutz der Hochsee als Allgemeingut 	Blaha und Katafona 2020 Scruggs 2018
	Leben an Land	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Incentivierung des Schutzes von Artenvielfalt und Ökosystemen 	Marchant 2021
	Frieden, Gerechtigkeit und starke Institutionen	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Transparenz zur Bekämpfung von Korruption ▶ Vereinfachte Administrationsprozesse für Bürger 	Musamih et al. 2021 Cagigas et al. 2021
	Partnerschaften zur Erreichung der Ziele	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Internationale Kollaboration im Sinne eines „Border Managements“ bei Wareneinfuhr 	Anouche und Boumaaz 2020 - 2020

Tabelle 1 - Ausgewählte Potenziale eines Blockchain-Einsatzes zur Erreichung von Nachhaltigkeitszielen

4 DEUTSCHE NACHHALTIGKEITSSTRATEGIE 2021

Grundlage der deutschen Nachhaltigkeitspolitik bildet die am 25. September 2015 von den Vereinten Nationen verabschiedete Agenda 2030 mit ihren insgesamt 17 Zielen zur nachhaltigen Entwicklung (SDG), die bis 2030 erreicht werden sollen. Aus dem Global Sustainable Development Report 2019 der Vereinten Nationen wird jedoch ersichtlich, dass diese Ziele nach aktuellem Stand drastisch verfehlt werden (United Nations 2019). Daher möchte die deutsche Bundesregierung ihre Bemühungen weiter ausbauen und verfolgt in ihrer aktualisierten Nachhaltigkeitsstrategie 2021 eine Weiterentwicklung und Ergänzung der vorangegangenen Strategie (Die Bundesregierung 2020). Dabei blickt die Bundesregierung nicht nur auf Deutschland, sondern weitet den Blick auch auf internationale Aspekte, wie z. B. die der Entwicklungszusammenarbeit, orientiert sich jedoch nach wie vor an den folgenden sechs elementaren Nachhaltigkeitsprinzipien, die der Operationalisierung des Leitprinzips einer nachhaltigen Entwicklung dienen:

1. Nachhaltige Entwicklung als Leitprinzip konsequent in allen Bereichen und bei allen Entscheidungen anwenden
2. Global Verantwortung wahrnehmen
3. Natürliche Lebensgrundlagen erhalten
4. Nachhaltiges Wirtschaften stärken
5. Sozialen Zusammenhalt in einer offenen Gesellschaft wahren und verbessern
6. Bildung, Wissenschaft und Innovation als Treiber einer nachhaltigen Entwicklung nutzen

Entlang dieser Prinzipien leitet die Bundesregierung konkrete Indikatoren und Ziele ab. Insgesamt 75 Indikatoren und Ziele in 41 Bereichen entlang der 17 SDG dienen dabei als Steuerungsinstrument. Mit der Überarbeitung 2021 sind sechs neue Indikatoren hinzugekommen, u. a. „Frauen in Führungspositionen im öffentlichen Dienst des Bundes“, „Väterbeteili-

gung beim Elterngeld-Indikator“ oder „weltweiter Bodenschutz“ (Die Bundesregierung 2020).

Für jeden der Nachhaltigkeitsbereiche formuliert die Bundesregierung politische Prioritäten und benennt konkrete Maßnahmen, die bereits jetzt oder zukünftig einen Beitrag zu deren Erreichung leisten. Beispielsweise im Bereich „Zugang zu bezahlbarer, verläSSLicher, nachhaltiger und moderner Energie“ (SDG 7) priorisiert die Bundesregierung vor allem einen effizienten Einsatz von Energie und den Ausbau der erneuerbaren Energien. Entsprechende konkrete Maßnahmen dazu sind u. a. die Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) zur Unterstützung der Verbreitung von Wärmetechnologien im Wohnbereich oder die Schaffung eines neuen Rahmenprogramms für Forschung und Innovation 2021 - 2024 „Mikroelektronik. Vertrauenswürdig und nachhaltig. Für Deutschland und Europa.“ mit Schwerpunkt auf energieeffizienter Elektronik, etwa für Anwendungen in der Energieübertragung und -wandlung. Ebenso beteiligt sich die Bundesregierung an wichtigen internationalen Gremien, mit dem Verständnis, dass die Klimakrise nur global und gemeinschaftlich gelöst werden kann. So möchte die Bundesregierung z. B. im Rahmen einer „Energiepartnerschaft“ Potenziale zum Aufbau einer grünen Wasserstoffwirtschaft einschließlich des Ausbaus erneuerbarer Energien und der Logistik für den Export mit ausgewählten afrikanischen Staaten untersuchen (Die Bundesregierung 2020).

Trotz verschiedenster Maßnahmen geht aus dem vorliegenden Bericht auch hervor, dass sich lediglich rund 15 % der Ziele auf einem positiven Entwicklungspfad bzw. in Möglichkeit der Erreichung befinden. Gut weitere 15 % der Ziele gehen in die richtige Richtung, jedoch muss mit einer Zielverfehlung zwischen 5 - 20 % gerechnet werden. Die übrigen 70 % der genannten Ziele entwickeln sich entweder in eine falsche Richtung oder haben eine erwartete Zielverfehlung von mehr als 20 %. Aus diesem Grund fordert auch der Rat für Nachhaltige Entwicklung, der

seit 2001 aus einem Mandat der Bundesregierung hervorgehend Handlungsempfehlungen formuliert, eine Intensivierung der Klimabemühungen in der kommenden Legislaturperiode. Dabei fokussiert der Rat für Nachhaltige Entwicklung vor allem ein systematisches Handeln und die Einbindung von Politik, Gesellschaft und Wirtschaft gleichermaßen (Rat für Nachhaltige Entwicklung und Leopoldina 2021). Die konkreten Handlungsempfehlungen im aktuellen Positionspapier lauten:

1. Starke Allianzen und globale Klimapartnerschaften vorantreiben
2. Den European Green Deal und das neue Klimaziel in den gesamten Rechtsrahmen einweben
3. So viel Markt wie möglich zulassen, so viel Regulierung wie nötig einsetzen
4. Akzeptanz schaffen und das Engagement von Bürger*innen sowie Kommunen für Klimaneutralität fördern
5. Strukturwandel sozial ausgewogen gestalten und globale „Just Transition“ stärken
6. Restrukturierung und Umbau des Energiesystems forcieren
7. Transformativen Wandel der Industrie beschleunigen
8. Transformativen Wandel bei Mobilität, Gebäuden und Landnutzung vorantreiben
9. Investitionspfade zur Realisierung des Pariser Übereinkommens definieren
10. Wettbewerbsfähigkeit der Industrie mit klimafreundlichen Innovationsmärkten stärken
11. Übergang zu einer klimafreundlichen Circular Economy einleiten
12. Vorausschauende Investitionen in Infrastruktur und Zukunft deutlich beschleunigen
13. Bildung, Forschung und Entwicklung richtig positionieren
14. Innovative Finanzierungslösungen für eine transformative Klimastrategie umsetzen

Eine Vielzahl der genannten und adressierten Handlungsempfehlungen wie auch Maßnahmen könnten mithilfe der Blockchain-Technologie gefördert und unterstützt werden (z. B. Punkt 6, 8, 11 und 14). Bemerkenswert ist, dass die Blockchain-Technologie namentlich in der Nachhaltigkeitsstrategie 2021 der Bundesregierung keine Erwähnung findet, obwohl der Entwicklung und Bereitstellung von technologischen Innovationen zur Förderung der Nachhaltigkeit z. B. im Energiesektor, im Gebäude- oder industriellen Fertigungsbereich eine zentrale Rolle zugesprochen wird. Dies gilt es mitunter zu korrigieren.

Die Blockchain-Technologie im Kontext der nachhaltigen Entwicklung greifen jedoch, wie eingangs erwähnt, die **Blockchain-Strategie der Bundesregierung** wie auch z. B. die Umweltpolitische Digitalagenda des Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (nachfolgend BMUV) auf (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie und Bundesministerium der Finanzen 2019; Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit 2020). Daher fördern die entsprechenden Bundesministerien die Erforschung und Erprobung der Technologie im Kontext der Nachhaltigkeit. Neben dem BMUV fördern u. a. das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (nachfolgend BMWK) und das Ministerium für Bildung und Forschung (nachfolgend BMBF) sowie das Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (nachfolgend BMZ) verschiedene Projekte, die sich mit der Blockchain-Technologie im Kontext der Nachhaltigkeit auseinandersetzen. Im folgenden Kapitel 5 werden einige laufende, wie auch abgeschlossene Fördermaßnahmen kurz vorgestellt.

5 GEFÖRDERTE PROJEKTE IN DEUTSCHLAND

Die Bundesministerien fördern eine Reihe an unterschiedlichen Projekten, die mithilfe der Blockchain-Technologie mindestens eine Nachhaltigkeitsdimension des Zieldreiecks adressieren. Auch privatwirtschaftliche Unternehmen und Organisationen wie die Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit erproben und erforschen die Blockchain-Technologie zur Steigerung der Nachhaltigkeit.

Kopernikus „Ensure – Neue Netzstrukturen“

Im Rahmen des seit 2016 vom BMBF geförderten Projekts, bestehend aus einem Konsortium aus Forschungseinrichtungen und Universitäten wie dem KIT, der TU Dortmund und der RWTH Aachen sowie Verbänden wie der Deutschen Umwelthilfe oder Unternehmen wie Siemens und ABB, werden in fünf Teilprojekten Zukunftsszenarien von Energienetzen erforscht und pilotiert. Ziel ist es dabei, geeignete Antworten auf die Herausforderungen schwankender Produktionen regenerativer Energien wie Solar- und Windkraft sowie Lösungen zu Herausforderungen bzgl. Transportrichtungen, Stromnetzen und einem sektorkopplungsfähigen Netz zu finden. Im Rahmen des Forschungsprojekts werden auch die Potenziale und Möglichkeiten der Blockchain-Technologie untersucht (Bundesministerium für Bildung und Forschung 2021b).

NutriSafe

In einer gemeinschaftlichen Förderung des BMBF und des österreichischen Bundesministeriums für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus wurde im Zeitraum von 2019-2021 erforscht, wie mithilfe der Blockchain-Technologie die Sicherheit in Lebensmittellieferketten bezogen auf die Produktion wie auch Logistik verbessert werden kann. Gemeinsam entwickelten Unternehmen, Behörden und Forschungseinrichtungen verschiedene Szenarien innerhalb von Lebensmittellieferketten und stellen die entsprechenden Software-Lösungen unter einer Open-Source-Lizenz bereit (Universität der Bundeswehr München 2021).

NEW 4.0 – Schaufenster für intelligente Energie – Digitale Agenda für die Energiewende (SINTEG)

Nach einer insgesamt fünfjährigen Projektphase wurde 2021 das vom BMWK geförderte Projekt abgeschlossen, das sich mit der Erforschung von digitalen Lösungen für den Energiesektor befasste. NEW 4.0 ist eines von fünf im Rahmenprogramm SINTEG geförderten Projekten, die das Ziel verfolgen, „Schaufensterregionen“ für umweltfreundliche und sichere Energielösungen aufzubauen. Im Rahmen von NEW 4.0 wurde die blockchain-basierte „EnergiePlattform“ konzipiert. Mithilfe eines Demonstrators konnten u. a. Unternehmen und Stromanbieter sowie Stadtwerke wie TRIMET Aluminium SE, die ArcelorMittal Hamburg GmbH, Aurubis AG, SIEMENS Gamesa und HAMBURG ENERGIE sowie die Stadtwerke Norderstedt zeigen, wie mithilfe der Blockchain-Technologie der zeit- und mengengenaue Nachweis verschiedener Energiequellen realisiert, Energie verteilt und Speicherkapazitäten optimiert werden können (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie 2021b).

WindNODE – Schaufenster für intelligente Energie – Digitale Agenda für die Energiewende (SINTEG)

Auch das vom BMWK geförderte SINTEG-Projekt WindNODE erforschte die Potenziale der Blockchain-Technologie im Kontext einer Plattform auf der flexibel Energiekapazitäten angeboten werden können. Der Austausch von Energiedaten und entsprechender Dienste erfolgt blockchain-basiert, um so zum einen den manipulationssicheren Datenaustausch zu ermöglichen und zum anderen gleichzeitig eine smart-contract-basierte Abwicklung zu erlauben. Die initiierte Plattform wurde auf Basis einer privaten Ethereum Blockchain konzipiert und ermöglicht das Einstellen von Geboten bzw. Flexibilitäten, bestimmte Strommengen anzubieten und abzugeben (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie 2021a).

Blockchain Lab - Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Im Rahmen des seit 2018 bestehenden Blockchain Labs eruiert die GIZ passende Anwendungen der Blockchain-Technologie im Kontext der internationalen Entwicklungsarbeit. So arbeitet die GIZ beispielsweise im Auftrag des BMZ in Georgien daran, zusammen mit der örtlichen Regierung das Rechtssystem zu reformieren. Für eine nachhaltige und wirtschaftliche Entwicklung ist Rechtssicherheit eine Grundvoraussetzung. Konkret wird in Georgien sukzessive das Landkatastersystem auf die Blockchain-Technologie umgestellt, indem alle Landtitel des kaukasischen Staats in einer Blockchain gespeichert werden. Mithilfe der Blockchain-Technologie sollen Korruption und Manipulationsversuche unterbunden und folglich das Vertrauen von Bevölkerung und Investoren in die nationale Behörde gestärkt werden (Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH 2021).

Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) - TruBudget

Gefördert vom BMZ hat die KfW eine blockchain-basierte Plattform zur Prozessverbesserung von Mittelallokationen in Empfängerländern konzipiert. Oftmals werden Fördermittel oder Hilfsmaßnahmen über Geberinstitutionen abgewickelt. Die dabei genutzten Parallelstrukturen sind kostenintensiv und überfordern die oftmals schwachen Kapazitäten der Partnerländer. Trotzdem wird an den bestehenden Strukturen aufgrund von möglichen Risiken von fehlerhaften Mittelverwendungen festgehalten. Die Plattform TruBudget adressiert dieses Problem durch eine blockchain-basierte Abwicklung von Mittelallokationen, Ausschreibeverfahren und Zahlungsvorgängen zwischen den einzelnen Geschäftspartnern. In Brasilien, Georgien, Äthiopien und Burkina Faso sind bereits TruBudget Plattformen etabliert. Für weitere Länder befinden sich ebenfalls TruBudget Plattformen im Aufbau. Die entwickelte Lösung steht diskriminierungsfrei als Open-Source-Software zur Verfügung (KfW 2021).

DiBiChain

Seit Juli 2019 erarbeitet das gemeinnützige Blockchain-Research-Lab gemeinsam mit Airbus, Chainstep und iPoint-systems im von Altran Deutschland geleiteten und vom BMBF Projekt „Digitales Abbild von Kreislaufsystemen mittels einer Blockchain“ (DiBiChain), wie Produktkreisläufe mithilfe der Blockchain-Technologie transparenter gestaltet werden können. Entwickelt werden soll ein Software-Demonstrator auf Basis von Daten, die von Airbus bereitgestellt werden. Entlang des Use Cases des 3D-Metalldrucks sollen beispielsweise die Rückverfolgbarkeit von Materialien, aber auch die Einhaltung von sozialen und ökologischen Standards mithilfe der Blockchain-Technologie dargestellt werden (Bundesministerium für Bildung und Forschung 2021a).

6 EINSATZFELDER FÜR DIE BLOCKCHAIN-TECHNOLOGIE ZUR STEIGERUNG DER NACHHALTIGKEIT IN DEUTSCHLAND

Die in Kapitel 3 und 5 dargestellten Projekte zeigen, dass die Blockchain-Technologie schon in einer Vielzahl von Anwendungsfällen und Szenarien wissenschaftlich, aber auch im Kontext von Pilotprojekten praktisch diskutiert wird. Im Rahmen des „Fachdialogs Blockchain“ wurden auch die im November 2020 schriftlich konsultierten Expertinnen und Experten gebeten, eine Einschätzung bezüglich des Potenzials der Technologie für zukünftige Förderprogramme und Umsetzungsprojekte in Deutschland abzugeben. Im Folgenden werden die Ergebnisse der schriftlichen Konsultation vom November 2020 zusammengefasst. Im Anschluss daran werden drei Anwendungsszenarien skizziert, die als Grundlage für die generelle Diskussion der Blockchain-Technologie und ihrem Beitrag zur Nachhaltigkeit dienen können.

6.1 Expertenperspektive: Relevante Anwendungsfälle der Blockchain-Technologie in Deutschland zur Steigerung der Nachhaltigkeit

Als geeignete Anwendungsfelder für die Blockchain-Technologie zur Steigerung der Nachhaltigkeit sehen die im November 2020 befragten Expertinnen und Experten vor allem Themen im Bereich der **Lieferkette** und der **Kreislaufwirtschaft** als vielversprechend an. Bei der Reduzierung von Materialien, der Wiederverwendung von Produkten und Rohstoffen kann die Blockchain-Technologie einen entscheidenden Mehrwert bieten, da die Transparenz und Rückverfolgbarkeit insbesondere im Kontext der Herkunftsbestimmung von Artikeln, Betrugsverminderung und auch der Sicherstellung fairer Arbeitsbedingungen einen wichtigen Beitrag liefern kann. Ebenso sehen die Befragten viel Bedarf und Potenzial bei Anwendungen im **Energiesektor**: Die Blockchain-Technologie könne im **Zusammenspiel mit künstlicher Intel-**

ligenz (KI), Big Data und IoT einen grundlegenden Beitrag zur Netzflexibilität und Energieeffizienz leisten. Bei der Ausgestaltung von zukünftigen Fördermaßnahmen im Bereich Nachhaltigkeit sollte die Integration der Blockchain-Technologien jedoch keine notwendige Voraussetzung sein – so die Expertinnen und Experten. Gleichberechtigte Technologien und Lösungsansätze müssten ebenfalls weiter erforscht werden. Dort, wo mit einem hohen Mehrwert gerechnet wird, z. B. im Bereich des **Supply Chain Managements** oder im **Product-Life-Cycle-Monitoring** sei die Berücksichtigung der Blockchain-Technologie jedoch sinnvoll. Konkret sehen die befragten Expertinnen und Experten insbesondere in folgenden Bereichen bzw. Sektoren die Möglichkeit eines Nachhaltigkeitsbeitrages durch die Blockchain-Technologie:

Supply Chain Management und Kreislaufwirtschaft

- ▶ Tracking von Materialflüssen
- ▶ Tracking von CO₂/Carbon-Footprints
- ▶ Reduktion von papierbasierten Verwaltungsprozessen
- ▶ Nachvollziehbarkeit von Lebensmittellieferketten
- ▶ Verbesserte Kontrolle von pharmazeutischen Produkten
- ▶ Abfallvermeidung, Recycling und Ressourcenschonung
- ▶ Dezentralisierte Logistik- und Mobilitätsnetzwerke

Energie und Industrie

- ▶ Handel von CO₂-Zertifikaten
- ▶ Grün- und Regionalstromzertifikate
- ▶ Stromverteilung im Kontext Elektromobilität
- ▶ Organisation von Crowdfunding

Finanzen und Verwaltung

- ▶ Sustainable Finance
- ▶ Wertpapierhandel
- ▶ Registerwesen
- ▶ Wirtschaftsprüfung
- ▶ Besteuerungswesen

Da insbesondere Aspekte der zirkulären **Kreislaufwirtschaft** sowie die Notwendigkeit von **Transparenz entlang der Lieferkette und Aspekte der Energiewirtschaft sowie Sustainable Finance** von den befragten Expertinnen und Experten hervorgehoben bzw. am häufigsten genannt wurden, werden im Folgenden Anwendungsfälle aus der zirkulären Kreislaufwirtschaft und dem Bereich der Lieferkette, wie auch dem Emissionshandel in Kombination mit Sustainable Finance skizziert. Entlang der Anwendungsfälle wird veranschaulicht, inwiefern die Blockchain-Technologie einen Beitrag zur Nachhaltigkeit in allen drei Dimensionen (sozial, ökologisch und ökonomisch) unter Berücksichtigung der entsprechenden Chancen und Herausforderungen leisten kann.

6.2 Nachhaltige Gestaltungsprinzipien der Blockchain-Technologie

Als Grundlage für die Diskussion der Anwendungsbeispiele werden u. a. die für Zukunftsszenarien entwickelten Gestaltungsprinzipien des Wuppertal Instituts für Klima, Umwelt, Energie berücksichtigt (Ramesohl et al. 2021). Wesentliche Anforderungen an eine nachhaltige Gestaltung von Blockchain-Lösungen sind danach:

- ▶ **Vermeidung von rechenintensiven Konsensmechanismen:** Bei der Auswahl und Implementierung von Blockchain-Technologien ist darauf zu achten, möglichst rechenarme Konsensverfahren zu wählen.
- ▶ **Einsatz von regenerativen Energien:** Der Einsatz von regenerativen Energien kann den Impact der Rechen- bzw. Energieintensität bestimmter Kon-

sensmechanismen kompensieren, sodass auch diese unter Berücksichtigung und Verfügbarkeit der Energiequelle zukünftig eingesetzt werden können bzw. nicht pauschal auszuschließen sind.

- ▶ **Datenintensität:** Grundsätzlich erfordert jede Form der Datenerzeugung Energie und Hardwarekapazitäten. Daher ist es zu empfehlen den Umfang der Daten, die auf der Blockchain gespeichert werden, gering zu halten. Mögliche Ansätze sind dabei sogenannte Light Nodes und Off-Chain-Storages.
- ▶ **Hardware und Infrastruktur:** Grundsätzlich sollte auf bestehende Rechenkapazität, Infrastruktur und Hardware zurückgegriffen werden, um eine möglichst langfristige Nutzung zu garantieren und Neuanschaffungen zu vermeiden. Bei neuer Hardware wiederum kann auf eine entsprechende Kreislaufführung der Rohstoffe, wie auch die Langlebigkeit des Designs und die Nachhaltigkeit der Lieferkette geachtet werden.

Ebenso ist dabei ergänzend zu erörtern und zu diskutieren, ob die Blockchain tatsächlich die geeignetste technologische Lösung zur Steigerung der Nachhaltigkeit ist, oder ob auf bestehende, alternative Technologien zurückgegriffen werden kann, wobei auch der spezifische Nutzen, den die Blockchain erfüllt bzw. erfüllen soll, mit in den Blick zu nehmen ist. Das Wuppertal Institut unterscheidet dabei, ob die Technologie in ihrer Grundausrichtung **eine Ergänzung, ein Substitut oder ein neuartiger Ansatz, sprich Enabler** ist.

Die zur Diskussion gestellten Anwendungsbeispiele sind explorativ und zukunftsorientiert, d. h. sie fußen zum größten Teil nicht auf bereits bestehenden, etablierten Lösungen, sondern zeigen aktuelle Entwicklungsstadien und zukünftige Möglichkeiten sowie ihre Herausforderungen auf. Im Folgenden werden die Potenziale und Herausforderungen eines digitalen, blockchain-basierten Produktpasses, die Potenziale der Blockchain-Technologie im Kontext Lieferkettengesetz und blockchain-basierte Emissionshandelssysteme zur freiwilligen CO₂-Kompensation dargestellt.

6.3 Zirkuläre Kreislaufwirtschaft am Beispiel des digitalen Produktpasses

In einer aktuellen Untersuchung von Deloitte im Auftrag des Bundesverbands der Deutschen Industrie e. V. wurden Chancen und Herausforderungen der zirkulären Wertschöpfung für Deutschland erörtert (Deloitte 2021). Als wesentliche Chance wird dabei das enorme wirtschaftliche Potenzial gesehen: So schätzt Deloitte, dass durch eine verbesserte Kreislaufwirtschaft bzw. durch einen gesteigerten Sekundärrohstoffeinsatz wesentlicher Rohstoffarten wie Papier, Holz, Blei und Kunststoffe bis 2030 ein Zuwachs der Bruttowertschöpfung von gut 12 Milliarden Euro entstehen könnte sowie damit verbunden ein Plus von rund 177.000 Arbeitsplätzen. Wesentliche Herausforderungen für Unternehmen sind jedoch zum einen das grundlegende Verständnis für die zirkuläre Wertschöpfung, aber auch die **Nachvollziehbarkeit und Steuerung von Materialrückflüssen, Digitalisierungs- und Finanzierungsmöglichkeiten** und der **Aufbau entsprechender Geschäftsmodelle** (Deloitte 2021). Auch die gemeinsame Studie der acatech in Zusammenarbeit mit der Circular Economy Initiative Deutschland und SYSTEMIQ adressiert konkrete Handlungsempfehlungen für den Aufbau einer zirkulären Kreislaufwirtschaft in Deutschland. Dabei sind vor allem der Aufbau von neuen Geschäftsmodellen, Standardisierungen entlang der verschiedenen Produktsysteme, Transparenz entlang der Lieferketten wie auch ökonomische Anreize und Bildungs- sowie Wissenstransferzentrale Handlungsempfehlungen (Circular Economy Initiative Deutschland 2021). Die Studienersteller betonen dabei die Notwendigkeit eines sicheren und vertrauensvollen Datenaustauschs entlang der Prozesse und nennen sowohl **digitale Produktpässe wie auch die Blockchain-Technologie** als **zentrale Enabler**. Der Produktpass kann „(...) allen Akteuren der Wertschöpfungskette Informationen über Herkunft, Verortung, Zusammensetzung (einschließlich bedenklicher Stoffe), Reparatur- und Demontageanweisungen sowie Richtlinien für die Handhabung am Ende des Lebenszyklus bereitstellen“ (Circular Economy Initiative Deutschland 2021). Dabei sei insbesondere der Produktpass durch den Einsatz von Blockchain-Technologien zu unterstützen.

6.3.1 Der digitale Produktpass im Überblick

Die Idee, Produktmerkmale oder Rückläufe sowie Zusammensetzungen von gefertigten Produkten zu dokumentieren, ist schon seit vielen Jahren im Gespräch und wird bereits durch verschiedene zentrale Datenbanken im Rahmen der REACH-Verordnung oder EPREL Datenbank zur Registrierung chemischer Substanzen bzw. Erfassung von Produktdaten von Elektrogeräten teilweise umgesetzt (Götz et al. 2021). Der digitale Produktpass wiederum wird im Zuge der zunehmenden Digitalisierung und des Aufkommens digitaler Zwillinge im Kontext der Kreislaufwirtschaft von unterschiedlichen Stellen, wie der Europäischen Kommission, aber auch auf nationaler Ebene aktuell stark diskutiert. Auch der European Green Deal empfiehlt den elektronischen Produktpass, um Informationen über die Herkunft und Verwendung von Produkten zu speichern (Europäische Kommission 2019). So soll ab 2021 im Rahmen des Circular Economy Action Plan das Thema auf Europäischer Ebene vorangetrieben werden, um zu prüfen, ob Informationen digital auf einem Produktpass gespeichert werden können (Europäische Kommission 2020b). Im nationalen Kontext wird der digitale Produktpass im Rahmen der Umweltpolitischen Digitalagenda des BMUV diskutiert: „[Der digitale Produktpass] soll alle wichtigen Umwelt- und Materialdaten eines Produkts umfassen, die über alle Herstellungsschritte aktualisiert, ergänzt sowie zusammengeführt werden. Die Daten ermöglichen die Erstellung eines „digitalen Zwillings“, der das Produkt über seinen gesamten Lebensweg begleitet. Der Produktpass soll Unternehmen verpflichtende Reportings erleichtern und für Abnehmerinnen und Abnehmer wie Verbraucherinnen und Verbraucher Transparenz schaffen (...)“ (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit 2020).

Die größte Herausforderung bei der Konzeption eines solchen digitalen Produktpasses besteht dabei in der mangelnden **Daten- und Informationstransparenz entlang der Lieferkette** (Götz et al. 2021). Dieser Informationsmangel muss derzeit durch Einzelerhebungen bei Lieferanten und Sub-Lieferanten behoben werden. Ebenso greifen Unternehmen auf Sekundärdaten zurück oder verwenden

webbasierte, digitale Tools im Rahmen der Beschaffung (Götz et al. 2021). Entsprechend sind bisherige Verfahren oftmals mit hohem Aufwand sowohl im Hinblick auf personelle wie auch energetische Ressourcen verbunden. Zudem besteht eine große Herausforderung darin, dass immer nur die Informationen des jeweilig vorherigen Fertigungsschritts bzw. Benutzers vorliegen oder Informationen entlang der gesamten Lieferkette oftmals nicht vorhanden sind. Folglich ist häufig unklar, wie das Produkt zuvor genutzt wurde und welche Veränderungen über die gesamte Lebenszeit des Produkts vorgenommen wurden. Zwar gibt es zentrale Ansätze und Datenbanken, über die Firmen Abfragen tätigen könnten bzw. ihre Lieferanten verpflichten könnten, Informationen bereitzustellen, doch oftmals erzeugt diese zentrale Abfrage Bottlenecks und Abhängigkeiten bei der Weitergabe von Informationen. Der digitale Produktpass soll diese Schwächen überwinden und dabei über die bereits bestehenden Ansätze wie der Materialpass im Baugewerbe oder herkömmliche Datenbanken hinausgehen und nicht nur die Materialzusammensetzung, sondern z. B. auch die Nutzung, Reparatur und sachgerechte Entsorgung erfassen (Götz et al. 2021). Die Blockchain-Technologie kann hier im Sinne des Konzepts von Self Sovereign Identities (SSI) auf Basis von Decentralized Identifiers (DIDs) und Verifiable Credentials (VCs) einen Beitrag zur Realisierung eines solchen umfassenden Produktpasses schaffen.

6.3.2 Chancen und Herausforderungen des digitalen Produktpasses

In bestehenden Reporting-Systemen sind es oftmals Produzenten, die relevante Produktinformationen (wie z. B. Klassifizierung von Elektrogeräten) bereitstellen. Zwischenhändler oder Verkäufer können diese Informationen am Ende nur weiterleiten und keine zusätzlichen Produktdaten erzeugen – folglich ist der Informationsfluss unidirektional. Durch einen digitalen Produktpass könnte dies geändert werden. Eine notwendige Voraussetzung dafür ist der Zugriff auf die Informationen, wie auch die Möglichkeit für alle relevanten Akteure Informationen zu ergänzen. Ebenso muss sichergestellt werden, dass nur berechtigte Unternehmen bzw. Personen Zugang zu kritischen

und sensiblen Informationen erhalten, sodass Geschäftsgeheimnisse gewahrt werden können. Folglich sind nicht alle Informationen für alle Parteien gleichermaßen relevant bzw. zugänglich. Der digitale Produktpass befindet sich dabei noch in der **vorkonzeptionellen Phase** und wird derzeit von verschiedenen Konsortien entwickelt (Adisorn et al. 2021). Beispielsweise wird im Rahmen des vom BMWK geförderten ID Union Konsortiums ein erstes Konzept für einen digitalen Produktpass gestaltet. Im Folgenden wird skizziert, wie mithilfe von DIDs und VCs ein digitaler Produktpass umgesetzt werden könnte.

Vom Grundprinzip her erhalten die im jeweiligen Kontext relevanten Einheiten (Organisationen, natürliche Personen oder Gegenstände) jeweils eine DID, sprich eine verifizierbare, dezentrale Identität. Mittels elektronisch signierter VCs, sprich verifizierbaren Nachweisen, die von vertrauenswürdigen Stellen ausgegeben werden (z. B. im Rahmen natürlicher Personen die den Personalausweis ausgebende Verwaltung), können mit der DID in Verknüpfung stehende Daten (z. B. Personalausweisnummer, Personennamen) über ein Public-Private-Key-Verfahren verifiziert werden. Die Blockchain-Technologie erlaubt eine sichere und vertrauenswürdige Speicherung von DID-Dokumenten. Diese Dokumente beschreiben das DID-Subjekt und enthalten den öffentlichen Schlüssel für die Validierung von elektronischen Signaturen. Dabei ist es oftmals ausreichend, Prüfsummen der entsprechenden Dokumente zu speichern.

Zur Etablierung eines digitalen Produktpasses müssen zunächst alle Teilnehmenden entlang der Lieferkette mit einer vertrauenswürdigen bzw. bestätigten DID ausgestattet werden (Berg et al. 2021). Diese kann auf bereits etablierte globale Unternehmensidentitäten aufbauen bzw. diese zum Inhalt haben. Beispiele hierfür sind je nach Anwendungsfeld die GLN, DUNS oder LEI. Die dahinterstehenden Organisationen GS1, Dun&Bradstreet bzw. GLEIF sind als entsprechende Vertrauensanker zu sehen. Im Anschluss kann der Hersteller eines Produkts bzw. der erste Akteur in der Lieferkette einen digitalen Produktpass erstellen, ihn mit entsprechenden Informationen versehen und ihn anschließend kryptografisch mit seinem privaten Schlüssel signieren. Bei der Weitergabe des Produkts

zum nächsten Verarbeitungsschritt können weitere Informationen in einem Produktpass mit Referenz auf den vorherigen Produktpass gespeichert werden. Die Informationen, wie auch entsprechende DIDs oder VCs können „gcoded“ und in Form eines automatischen Datenträgers (z. B. eines Matrixcodes) auf das entsprechende Produkt „gelabelt“ werden. In den Folgeschritten können weitere Informationen, wie z. B. Zertifikate hinzugefügt werden. Durch die Verwendung von DIDs und VCs erhalten Teilnehmende entlang der Lieferkette mehr Datensouveränität, da nur sie alleine entscheiden können, wem gegenüber sie entsprechende Nachweise zeigen möchten. Auf Basis der darunterliegenden kryptografischen Verfahren können Nutzer transparent und glaubhaft nachweisen, dass sie Inhaber der entsprechenden Daten bzw. Identität sind. Folglich bedarf es keiner Intermediäre mehr, die zentral Daten und Informationen herausgeben.

Die **Herausforderungen** bei der Etablierung eines solchen digitalen Produktpasses bestehen vor allem in der Befähigung des Netzwerks. Digitale Identitäten müssen von vertrauenswürdiger Stelle und nach einem einheitlichen Standard herausgegeben werden (z. B. W3C Standard). Ebenso entsteht die Frage, wer letztendlich ein solches Netzwerk betreibt und wie Kosten entsprechend geteilt bzw. weitergegeben werden können (Berg et al. 2021). Dementsprechend bedarf es nicht nur einer technischen Befähigung der Teilnehmenden, sondern auch der Konzeption eines entsprechenden **Geschäftsmodells**. Mit der Kostenteilung aber auch der Gewinnbeteiligung (Revenue-Sharing) von erfolgreichen Recyclingprozessen könnten Teilnehmende entsprechend motiviert und incentiviert werden, ihre Informationen und Daten zu teilen. Ebenso ist darauf zu achten, dass rechenarme **Konsensmechanismen** verwendet werden – insbesondere im Hinblick auf eine öffentliche Lösung, für den Fall, dass eine Vielzahl an unbekanntem Akteuren partizipieren möchte. Die Ethereum Blockchain verwendet beispielsweise auch einen Proof-of-Work-Mechanismus, der allerdings, im Gegensatz zum Bitcoin auf sogenannte „Application-Specific Integrated Circuits“ (ASIC) verzichtet. ASICs sind spezielle Chips, auf denen das kryptografische Rätsel für den Proof-of-Work-Mechanismus

durchgeführt wird (Ramesohl et al. 2021). Diese Chips müssen etwa alle 1,5 Jahre getauscht werden und verursachen dementsprechend viel Elektroschrott. Die Ethereum Blockchain bedarf keiner ASICs sondern greift auf die bestehende Grafikkarte des jeweiligen Rechners zurück (Ramesohl et al. 2021). Zudem versucht Ethereum sukzessive seinen Konsensmechanismus auf einen vergleichsweise energiearmen Proof-of-Stake-Mechanismus umzustellen. Gleichzeitig erlauben digitale, dezentrale Identitäten eine höhere **Datensparsamkeit**, da nur relevante Daten weitergegeben werden und nicht der gesamte Inhalt (Bitkom e.V. 2020b). Ebenso könnte die Umsetzung so gestaltet werden, dass auf der Blockchain lediglich Prüfsummen und öffentliche Schlüssel gespeichert werden. Andere Daten können off-chain vorgehalten werden. Bei der Etablierung eines solchen Produktpasses sollten Unternehmen ebenfalls auf bestehende Hardware zurückgreifen können und die Anwendungen entsprechend integrieren und nutzerfreundlich gestalten (z. B. QR-Code). Im Endeffekt müsste der Mehrwert in Form von zurückgeführten und dadurch recyclingfähigen Materialien gegen den Verbrauch und das Betreiben der Blockchain bzw. tatsächlichen Transaktionen aufgerechnet werden.

6.3.3 Diskussion: Beitrag zur Nachhaltigkeit in einer zirkulären Kreislaufwirtschaft

Die Blockchain-Technologie bzw. DIDs, die mithilfe der Blockchain umgesetzt werden können, sind hier als **Enabler** zu verstehen. Durch den digitalen Produktpass, der auf DIDs und VCs aufsetzt, werden viele bestehende Herausforderungen adressiert. Teilnehmende werden durch das Konzept der selbstbestimmten, digitalen Identitäten (SSI) motiviert, am Netzwerk zu partizipieren, da Vorbehalte und Vertrauensprobleme bzw. Transaktionskosten minimiert werden können (Ehrlich et al. 2021). Ebenso werden durch die dezentrale Architektur Bottlenecks und **Abhängigkeiten in der Lieferkette, wie auch Informationsasymmetrien reduziert**. Nutzer, wie auch Verwerter oder Recyclingunternehmen können nicht nur nachvollziehen, wie sich das Produkt zusammensetzt, sondern selber entsprechende Daten und Informationen hinzufügen, insofern die Akteure bereit sind, ihre Informationen zu teilen. Folglich kann

im Recyclingprozess auch nachvollzogen werden, wie das Produkt genutzt, ergänzt oder repariert wurde. Unternehmen sind bei der Ergänzung bzw. dem Einsehen von Produktinformationen nicht mehr auf die Datenweitergabe aus dem vorherigen Fertigungsschritt angewiesen, sondern haben theoretisch Transparenz über alle Fertigungsschritte. Dabei können Unternehmen oder Personen als Inhaber ihrer digitalen Identität selbst entscheiden, welche Informationen an wen bereitgestellt werden. Ein solcher Produktpass ist vielseitig einsetzbar, sowohl im Industrie- als auch Verbraucherbereich und gleichermaßen für individuelle wie auch für Massenprodukte.

Konkret kann der digitale Produktpass zur Umsetzung der neuen Europäischen Verordnung zur Rückführung von Batterien und Altbatterien (Europäische Kommission 2020a) oder im Kontext der Rückführung von Kunststoffen eingesetzt werden. Dabei kann eine Vielzahl an Daten gespeichert und erfasst werden, angefangen von der Materialzusammensetzung bis hin zum CO₂-Fußabdruck. Je nach Information können IoT-Technologien und Sensorik wie auch Künstliche Intelligenz unterstützende Maßnahmen sein. Auch hier muss entsprechend **Aufwand gegen Nutzen** abgewogen und berücksichtigt werden, welcher Ressourcen der Hardware-Einsatz bedarf. Grundsätzlich sollten die Möglichkeiten bzw. Anforderungen, z. B. QR-Codes zu scannen, auf bereits bestehenden Devices wie Smartphones problemlos ausführbar sein. Pucks, die z. B. Sensorik zur Übermittlung von Zuständen wie Temperatur oder Ort übermitteln, wiederum sollten materialsparig designt und durch eine hohe Lebensdauer und Wiederverwertbarkeit gekennzeichnet sein.

Der digitale Produktpass ist für alle Dimensionen der Nachhaltigkeit relevant: Zum einen adressiert er die **ökologische Nachhaltigkeit** insofern, als dass mehr Materialien und Produkte entsprechend einer Kreislaufwirtschaft zurückgeführt und recycelt werden können, da ihr Ursprung und auch die Zusammensetzung deutlich erkennbar sind. Gleichzeitig wirkt der blockchain-basierte, digitale Produktpass auch **ökonomisch nachhaltig**: Zum einen können durch die über ihn realisierbare Steigerung des Sekundärrohstoffanteils Kosten eingespart werden, zum anderen können

aber auch neue Geschäftsmodelle innerhalb einer zirkulären Kreislaufwirtschaft entstehen. Durch die Informationsgenauigkeit könnten neue Kosten- und Bezahlmodelle realisiert werden. Zu guter Letzt kann der Produktpass im Endkonsumentenbereich einen Beitrag zur **sozial-ökologischen Nachhaltigkeit** leisten. Verbraucherinnen und Verbraucher können auf Basis der bereitgestellten Informationen bewusste Konsumententscheidungen treffen und somit indirekt die Nachfrage nach z. B. lokalen oder CO₂-neutralen Produkten steigern. Damit zahlt der digitale Produktpass konkret auf das deutsche Nachhaltigkeitsziel „Konsum umwelt- und sozialverträglich gestalten“ ein (Die Bundesregierung 2020).

6.4 Das Lieferkettengesetz und Blockchain

Die im vorangegangenen Kapitel 6.3 dargestellten Potenziale der Blockchain-Technologie eignen sich nicht nur für den Einsatz im Rahmen eines Produktpasses, der Informationen über ein Produkt entlang der Lieferkette speichert, sondern auch für die Speicherung und den Austausch vieler weiterer Informationen, die in einer Lieferkette anfallen. Die meisten **Lieferketten** zeichnen sich dadurch aus, dass viele Akteure miteinander agieren, die sich gegenseitig nicht kennen oder vertrauen, jedoch zusammenarbeiten und Informationen austauschen müssen. Die Blockchain-Technologie ermöglicht in diesem Kontext die dezentrale, manipulationssichere Speicherung und vertrauenswürdige Weitergabe von Informationen ohne Intermediäre. Dadurch kann die Blockchain einen erheblichen Beitrag zur Steigerung der Transparenz in Lieferketten leisten (Subramanian et al. 2020; Jakob et al. 2018).

Die Transparenz in Lieferketten ist auch das erklärte Ziel des am 16. Juli 2021 vom deutschen Bundestag verabschiedete *Gesetz über die unternehmerischen Sorgfaltspflichten zur Vermeidung von Menschenrechtsverletzungen in Lieferketten* (umgangssprachlich und nachfolgend: **Lieferkettengesetz**). In den folgenden Abschnitten wird zunächst dargestellt, welche Auswirkungen dieses Gesetz ab 2023 auf die unternehmerische Praxis in Lieferketten haben wird und wie die Blockchain-Technologie den beteiligten

Akteuren Werkzeuge zur Einhaltung dieses Gesetzes zur Verfügung stellt. Anschließend werden Herausforderungen und Anforderungen an den Einsatz der Blockchain-Technologie zur Erfüllung des Lieferkettengesetzes skizziert sowie abschließend aufgezeigt, wie eine blockchain-basierte Umsetzung des Lieferkettengesetzes auf die verschiedenen Nachhaltigkeitsdimensionen einzahlt.

6.4.1 Das Lieferkettengesetz im Überblick

Das Lieferkettengesetz wurde am 16. Juli 2021 vom deutschen Bundestag verabschiedet und verpflichtet produzierende Unternehmen in Deutschland dazu, ihre Sorgfaltspflichten hinsichtlich menschenwürdiger und umweltschonender Arbeit innerhalb ihrer Lieferketten zu beachten. Hierzu werden ab 2023 zunächst alle Unternehmen mit mehr als 3.000 Mitarbeitenden und dann sukzessive ab 2024 alle Unternehmen mit mehr als 1.000 Mitarbeitenden verpflichtet (Deutscher Bundestag 16.07.2021). Betroffen sind damit ab 2024 insgesamt ca. 3.100 Unternehmen in Deutschland (Statista 2019).

Bevor das Lieferkettengesetz verabschiedet wurde, wurde im Rahmen des *Nationalen Aktionsplans für Wirtschaft und Menschenrechte* zunächst überprüft, inwieweit deutsche Unternehmen mit mehr als 500 Mitarbeitenden ihre menschenrechtlichen Sorgfaltspflichten erfüllen. Da nur 13 - 17 % der befragten Unternehmen geeignete Maßnahmen ergriffen hatten, werden Unternehmen nun gesetzlich dazu verpflichtet, nachzuweisen, dass sie die im Lieferkettengesetz beschriebenen Sorgfaltspflichten umsetzen (Referat Wirtschaft und Menschenrechte 2020). Zu diesen Sorgfaltspflichten zählt der Gesetzgeber nach § 3 LkSG (Deutscher Bundestag 16.07.2021):

- ▶ die Einrichtung eines Risikomanagements,
- ▶ die Festlegung einer betriebsinternen Zuständigkeit, z. B. durch Ernennung eines Menschenrechtsbeauftragten,
- ▶ die Durchführung regelmäßiger Risikoanalysen,
- ▶ die Abgabe einer Grundsaterklärung,
- ▶ die Verankerung von Präventionsmaßnahmen im

eigenen Geschäftsbereich und bei unmittelbaren Zulieferern,

- ▶ das Ergreifen von Abhilfemaßnahmen,
- ▶ die Einrichtung eines Beschwerdeverfahrens sowie
- ▶ Verfahren zur Dokumentation und Berichterstattung.

Das deutsche Lieferkettengesetz ist dabei kein nationales Alleinstellungsmerkmal. Auch in anderen Ländern wie den Niederlanden, Frankreich und Großbritannien existieren bereits vergleichbare Gesetze, die Unternehmen zur Überwachung ihrer Lieferkette hinsichtlich Kinder- bzw. Sklavenarbeit verpflichten. Auch die Europäische Kommission befasst sich aktuell mit der Einführung einer europäischen Variante des Lieferkettengesetzes (Hillemann und Suchrow 2021a). Das deutsche Lieferkettengesetz sieht allerdings die bisher umfangreichsten Pflichten für die betroffenen Unternehmen vor und stellt diese vor große organisatorische Herausforderungen. Einige Unternehmensverbände zweifeln an der praktischen Umsetzbarkeit einer effektiven Kontrolle der Produktionsstandards bei Zulieferern und kritisieren insbesondere einen erwarteten Anstieg der Bürokratie sowie einen erhöhten Dokumentationsaufwand (Ehrhardt et al. 2021).

6.4.2 Chancen und Herausforderungen der Blockchain-Technologie im Kontext des Lieferkettengesetzes

Ein vielversprechendes Werkzeug zur Unterstützung der betroffenen Unternehmen bei der Bewältigung der zuvor skizzierten Herausforderungen hinsichtlich Bürokratie und Dokumentationsaufwand ist die Blockchain-Technologie (Hillemann und Suchrow 2021b). In Lieferketten arbeiten viele Unternehmen zusammen, die sich gegenseitig nicht vertrauen oder kennen. Wollen diese Unternehmen im Rahmen der Zusammenarbeit erforderliche Daten über ein traditionelles, zentralisiertes System miteinander austauschen, wird in der Regel ein vertrauenswürdiger Intermediär benötigt, der dieses für die übrigen Akteure betreibt. Die Urheber der Daten haben ab dem

Zeitpunkt, an dem sie die Daten an den Intermediär übermitteln, keine oder nur noch eingeschränkte Kontrolle über die Informationen und können deren Integrität nicht gewährleisten (Jakob et al. 2018). Demgegenüber bietet die Blockchain-Technologie den beteiligten Akteuren einer Lieferkette Vorteile: Anhand eines gemeinsam genutzten Datenspeichers wird zunächst Transparenz über die gesamte Lieferkette hinweg geschaffen. Durch die Ablage der Informationen in verschlüsselten, miteinander verketteten Datenblöcken werden diese manipulationssicher gespeichert und dienen damit als belastbare und nachweisfähige Datengrundlage bei der Erstellung von Berichten. Durch sogenannte Smart Contracts lassen sich außerdem einzelne Prozessschritte automatisieren und dadurch z. B. die Effizienz durch eine **automatisierte Berichterstellung** ebenfalls steigern (Jakob et al. 2018). Der Verzicht auf einen Intermediär und das Vertrauen in das System selbst ermöglichen außerdem erst die Realisierung eines **transparenten Beschwerdeverfahrens** (Hillemann und Suchrow 2021b). Neben diesen grundsätzlichen Vorteilen, die die Blockchain-Technologie für den Einsatz in Lieferketten bietet, ermöglicht sie auch konkret die Umsetzung der einzelnen Inhalte des Lieferkettengesetzes.

Kern des Lieferkettengesetzes sind die Sorgfaltspflichten im eigenen Geschäftsbereich der Unternehmen, die durch die Einrichtung eines angemessenen und wirksamen Risikomanagements zu begleiten und in alle maßgebliche Geschäftsabläufe zu verankern ist. Der Gesetzgeber legt hierfür in § 4 Abs.1 LkSG Grundsätze fest, die bei Einführung und Ausgestaltung des einzurichtenden **Risikomanagements** nach § 5 LkSfG zu beachten sind. Den Unternehmen soll es aufgrund des Risikomanagements möglich sein, menschenrechtliche Risiken und Rechtsgutverletzungen entlang der Lieferkette zu erkennen, zu verhindern, zu beenden oder zumindest zu minimieren (Deutscher Bundestag 16.07.2021). Zentraler Bestandteil des einzurichtenden Risikomanagements ist die **Risikoanalyse** gemäß § 5 LkSG. Im Wege der Risikoanalyse sollen Unternehmen die menschenrechtlichen Risiken und das Risiko eines Verstoßes gegen eine umweltbezogene Pflicht, die von ihrer eigenen Geschäftstätigkeit ausgehen oder im Ge-

schäftsbereich ihrer unmittelbaren Zulieferer vorhanden sind, erkennen. Erkannte Risiken sind sodann zu gewichten und zu priorisieren. Auf dieser Grundlage sollen Unternehmen entscheiden können, welche Risiken sie vornehmlich adressieren, wenn sie nicht in der Lage sind, alle Risiken gleichzeitig anzugehen (Deutscher Bundestag 16.07.2021).

Von den Unternehmen wird also ein angemessenes aktives Handeln verlangt, das sie u. a. **mit der Blockchain-Technologie dokumentieren** können. Die Blockchain-Technologie, mittels derer Daten fälschungssicher und verschlüsselt generiert werden können, kann das geforderte Risikomanagementsystem begleiten. Die in der Blockchain abgelegten Informationen (z. B. über Ursprung der Rohstoffe, verwendete Materialien, Einhaltung von Arbeitsschutzbestimmungen usw.) sind jederzeit abrufbar, werden in der Lieferkette von jedem weiteren Kettenmitglied ergänzt und stehen allen Beteiligten bei Bedarf zur Verfügung (Subramanian et al. 2020); der im Rahmen eines Risikomanagements erforderlich werdende Nachweis kann daher zu jeder Zeit geführt und entsprechend der gesetzlichen Vorgaben kommuniziert werden (§ 5 Abs. 3 LkSG). Hierfür gibt es auch schon konkrete Beispiele: BMW hat bereits 2020 das Projekt PartChain gestartet, um mittels Blockchain- und Cloudtechnologien Rohstoffe und Bauteile in seinen weltweiten Lieferketten zu verfolgen. Hierzu wird in der Praxis z. B. ein am Anfang der Lieferkette gewonnener Rohstoff mit einem QR-Code markiert, der alle erforderlichen Daten über Herkunft, Gewinnung des Rohstoffs, usw. enthält. Dieser Code wird im Hintergrund mit einer Blockchain verknüpft und „reist“ dann als digitaler Datensatz entlang der Lieferkette. Jedes Kettenmitglied fügt seinen eigenen Datensatz hinzu, so dass am Ende eine transparente Entstehungsgeschichte des Endprodukts digital verfügbar wird (Schork und Schreier 2021).

Der Einsatz der Blockchain-Technologie kann auch in dem zu etablierenden **Beschwerdeverfahren** nach §§ 8, 9 LkSG Vorteile bieten, sowohl für die anzeigenden Personen als auch die betroffenen Unternehmen. Personen, die Missstände anzeigen möchten, müssten diese sensiblen Informationen nicht einem Intermediär (etwa einem Branchenverband) bzw.

den Verantwortlichen im Unternehmen anvertrauen, die das Beschwerdemanagement unterhalten. Stattdessen könnten sie bei einer blockchain-basierten Lösung die Anzeigen selbst vornehmen und deren weitere Bearbeitung transparent nachverfolgen, ohne die eigene Identität preiszugeben. Dies kann entsprechende Hürden verringern und zum Erfolg des Beschwerdeverfahrens entscheidend beitragen. Auch für die beteiligten Unternehmen bietet eine blockchain-basierte Realisierung des Beschwerdeverfahrens Vorteile. Bevor jemand die Anzeige eines Missstands vornehmen kann, muss sich die Person gegenüber dem System als Mitarbeiter des betroffenen Unternehmens authentifizieren. Dies kann mithilfe von DIDs und VCs im Sinne von Self-Sovereign Identities geschehen. Hierdurch könnten Unternehmen vor unberechtigten Beschwerden externer Personen geschützt werden (Hillemann und Suchrow 2021b). Das Einsatzpotenzial der Blockchain im Kontext von Beschwerdeverfahren wird bereits in anderen Anwendungsgebieten konzeptionell erforscht. Hierzu zählt bspw. das Stellen von Anzeigen bei der Polizei (Hingorani et al. 2020) und der Schutz von Whistleblowern vor journalistischen Interessenskonflikten (Tomaz et al. 2021). Die manipulationssichere Speicherung von Daten in einer Blockchain stellt außerdem eine verlässliche Datengrundlage für die Erstellung der **jährlich anzufertigenden Berichte** nach § 10 Abs. 1 LkSG dar. Darüber hinaus kann durch Smart Contracts die Auswertung der Daten vereinfacht und so die Effizienz des Reportings gesteigert werden (Hillemann und Suchrow 2021b).

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass sich eine unternehmensübergreifende Kollaboration über eine globale Lieferkette hinweg nur, wenn überhaupt, mit erheblichen Aufwänden über ein zentrales System realisieren lässt. Dies ist auch der Grund für den eingangs erwähnten **Zweifel an einer praktischen Umsetzungsfähigkeit des Lieferkettengesetzes**. Eine Realisierung über die Blockchain-Technologie kann eine praktikablere Alternative darstellen und zudem viele weitere Vorteile hinsichtlich der Transparenz der Lieferkette, Manipulationssicherheit der gespeicherten Daten und Gleichberechtigung der Netzwerkteilnehmenden realisieren (Hillemann und Suchrow 2021b; Jakob et al. 2018). Die Blockchain-Technolo-

gie kann deshalb auch als ein **Enabler** bei der Realisierung des Lieferkettengesetzes und der damit verbundenen Nachhaltigkeitsziele verstanden werden.

Auch wenn die Blockchain-Technologie einen erheblichen Beitrag zur praktischen Umsetzung des Lieferkettengesetzes leisten kann, sind auch mit dieser Lösung **Herausforderungen** und Aufwände verbunden, die es von den beteiligten Unternehmen zu bewältigen gilt. Selbst wenn die Technologie Transparenz entlang der Lieferkette verspricht, müssen Unternehmen sich auch im Vorfeld, unabhängig von der Technologie einen **Überblick über ihre Supply Chains** verschaffen. Dies ist insbesondere für große Original Equipment Manufacturer (OEM) ein mitunter unmögliches Unterfangen. Die Anbindung an ein Blockchain-System könnte alternativ auf freiwilliger Basis erfolgen, da OEMs oftmals nicht wissen bzw. erfassen können, wer tatsächlich nachgelagerte Lieferanten in ihrer komplexen, multi-tier Lieferkette sind. Informationsasymmetrien und Intransparenz sind mitunter von bestimmten Akteuren gewollt und liefern die Basis für bestehende, intermediäre Geschäftsmodelle. Aus diesem Grund ist ein Umdenken auf **Geschäftsmodellebene und die Schaffung neuer Anreizmechanismen** entlang der Lieferkette notwendig. Außerdem ist wie bei jedem dezentralen Netzwerk darauf zu achten, dass nicht einzelne Parteien bevorteilt werden oder sich zu missbilligende Marktvorteile verschaffen. Folglich muss eine entsprechende Governance entlang der Lieferkette bzw. innerhalb des Geschäftsmodells etabliert werden (Turpitka 2020).

Der **Konsensmechanismus**, der Einigung über zu speichernde Informationen und deren Validität erzielt, darf zudem keine einzelnen Parteien bevorzugen, um nicht die Manipulationssicherheit der gespeicherten Daten zu gefährden. Dieser Mechanismus muss allerdings auch einen Durchsatz ermöglichen, um die Vielzahl an Daten, die entlang einer Lieferkette anfallen, in einer angemessenen Geschwindigkeit verarbeiten zu können. Damit die mit dem Lieferkettengesetz verfolgten Beiträge zur nachhaltigen Entwicklung, aber nicht durch den Energieverbrauch einer blockchain-basierten Lösung wieder wettgemacht werden, darf insbesondere der Konsens-

mechanismus auch nicht unnötig viel Rechenleistung erfordern. Eine denkbare Lösung kann hierbei der Ansatz sein, die Datenintensität des Systems dadurch gering zu halten, dass möglichst viele Daten off-chain, also in den proprietären Systemen der Akteure gespeichert und auf der Blockchain selbst nur eine Referenz hierauf hinterlegt wird (Jakob et al. 2018). Eine weitere Herausforderung ist die **Kompatibilität**. Um die Akzeptanz in Lieferketten zu erhöhen, sich an bestehenden Systemen zu beteiligen, muss die Soft- und Hardware neuer Teilnehmender hinreichend kompatibel sein. Es muss möglich sein, dass sie mit wenig Aufwand in das bestehende Blockchain-System integriert werden können. Eine Verringerung des Umstellungsaufwands z. B. durch die Verwendung von **Open-Source-Komponenten**, aber auch eine Incentivierung z. B. durch Synergieeffekte, Shared-Revenue-Systeme und geringere Folgekosten könnte diese Bereitschaft deutlich erhöhen.

Herausfordernd ist zudem der Umgang mit den in der Blockchain gespeicherten Informationen. Einerseits können nicht alle vom Gesetz geforderten Informationen in ein solches System eingespeist werden (z. B. Informationen bzgl. Zwangsräumung, Unterdrückung und Folter oder eine Missachtung der Koalitionsfreiheit). Andererseits dürfen oder sollen nicht alle Informationen, wie z. B. **personenbezogene Daten** oder **Geschäftsgeheimnisse**, in einem solchen dezentralen System gespeichert werden. Eine mögliche Lösung kann das Konzept der Self-Sovereign Identities sein, das bereits in Kapitel 6.3.2 im Kontext des Produktpasses erläutert wurde und sich z. B. auf das Einsatzfeld "Beschwerdemanagement" übertragen ließe. Bezogen auf das Oracles-Problem, welches entlang der Lieferkette ebenfalls entsteht, wenn Daten von natürlichen Personen eingepflegt bzw. weitergegeben werden, können moderne Technologien wie Künstliche Intelligenz und IoT-Anwendungen unterstützen, wenngleich sie Missstände nicht umfassend aufdecken bzw. analysieren können (siehe dazu später Kapitel 6.5). Da Lieferketten heutzutage in aller Regel nahezu den gesamten Globus miteinbeziehen, ist es außerdem notwendig, dass eine einheitliche Rechtsgrundlage geschaffen wird. Dies bezieht sich einerseits auf das Lieferkettengesetz selbst, bei dem zumindest bereits an einer

europaweit geltenden Variante gearbeitet wird (Europäisches Parlament 10.03.2021). Es bedarf aber auch einer internationalen Lösung bzw. konsistente Rechtsprechung, wie mit personenbezogenen Daten im Kontext der Blockchain-Technologie umzugehen ist. Diese rechtsordnungsbezogenen Konflikte ließen sich womöglich mit dem bereits erwähnten Konzept der Self-Sovereign Identities überwinden.

Schließlich - und auch dies gilt es als Herausforderung anzunehmen - werden mit der Digitalisierung ganzer Lieferketten auf Basis der Blockchain-Technologie zwar auf der einen Seite natürliche Ressourcen z. B. durch den Wegfall eines papierbasierten Dokumentenaustauschs eingespart, aber auf der anderen Seite auch natürliche Ressourcen z. B. für die benötigte Rechenleistung zum Betrieb eines solchen Systems aufgewendet. Um dabei die Auswirkungen auf eine nachhaltige Entwicklung möglichst gering zu halten, wäre eine internationale *Green Blockchain Policy* wünschenswert, die z. B. sicherstellt, dass die benötigte Rechenleistung durch regenerative Energien erbracht wird.

6.4.3 Diskussion: Beitrag zur Nachhaltigkeit der Blockchain-Technologie im Kontext des Lieferkettengesetzes

Das Lieferkettengesetz zielt insbesondere auf die Minimierung bzw. Vorbeugung menschenrechtlicher und umweltbezogener Risiken ab und zahlt dadurch auch auf zwei der drei Nachhaltigkeitsdimensionen (vgl. Kapitel 2) ein. Die Blockchain-Technologie als möglicher Enabler des Lieferkettengesetzes leistet dadurch auch einen erheblichen Beitrag zur Erreichung von Nachhaltigkeitszielen. Sie unterstützt eine **soziale Nachhaltigkeit** unter der Prämisse, dass die Transparenz entlang der Lieferkette Missstände aufdecken kann. Neben einem potenziellen Beitrag zur Sicherung der Menschenrechte sollen mithilfe des Lieferkettengesetzes außerdem umweltbezogene Risiken minimiert und die **ökologische Nachhaltigkeit** entlang der Lieferkette verbessert werden (Deutscher Bundestag 16.07.2021). Durch die Synchronisierung der jeweiligen Systeme der beteiligten Akteure lassen sich Waren- und Materialflüsse nachvollziehen und z. B. Rückschlüsse auf die Verwendung

verbotener Chemikalien ziehen, um notfalls entsprechend gegensteuern zu können. Durch die Verwendung von intelligenten IoT-Geräten lassen sich darüber hinaus Lösungen wie ein Smart Water Management in das System integrieren und die Belastung von Gewässern in der Nähe von Produktionsstandorten überwachen (Pandian et al. 2020; Chohan 2019). Schon heute erproben Unternehmen, wie entlang von Lieferketten mithilfe der Blockchain-Technologie der CO₂-Fußabdruck erfasst werden kann (BMW-Group 2020). Ebenso zählt die Blockchain-Technologie auf die **ökonomische Nachhaltigkeitsdimension** ein. Eine Digitalisierung der Lieferkette senkt die Verbrauchskosten und ermöglicht effizientere Abstimmungen. Logistische Prozesse werden effizienter und verursachen ebenfalls weniger Materialkosten (Subramanian et al. 2020). Durch den Einsatz der Blockchain-Technologie können Unternehmen außerdem einen Nachweis erbringen, dass sie ihre im LkSG beschriebenen Sorgfalts- und Transparenzpflichten erfüllt haben. Die geforderten Standardinformationen zu den Risikobereichen in der Lieferkette können quasi ad hoc abgerufen werden (Hillemann und Suchrow 2021b). Verstöße, die je nach Schwere und Bedeutung mit Ordnungstrafen bis zu 800.000 Euro belegt werden können, lassen sich damit vermeiden.

Es lässt sich festhalten, dass die Blockchain-Technologie aufgrund ihrer Eigenschaften einen erheblichen Beitrag zur Umsetzung des Lieferkettengesetzes leisten kann, wenngleich sie den Beweis durch entsprechende Umsetzungsprojekte in der Zukunft antreten muss. Gelingt es ihr, wird sie einen wichtigen Beitrag zu allen drei Dimensionen der Nachhaltigkeit leisten; im Kontext der Deutschen Nachhaltigkeitsstrategie fördert die Blockchain-Technologie das Ziel „Globale Lieferketten, Menschenwürdige Arbeit weltweit ermöglichen“ (Die Bundesregierung 2020).

6.5 CO₂-Kompensationen und „Sustainable Finance“ durch Token

Im Jahr 2005 hat die Europäische Union den europäischen Emissionshandel eingeführt, um somit die Emissionen von Treibhausgasen zu reduzieren. In

der Europäischen Union müssen für gut 11.000 Anlagen im Bereich der Strom- und Wärmeerzeugung, wie auch im industriellen Bereich z. B. der Stahlerzeugung oder Kohleverstromung Emissionsberechtigungen vorgewiesen werden. Seit 2012 müssen auch Luftfahrtbetreiber Emissionsberechtigungen vorweisen. In Deutschland sind gut 2.000 Anlagen vom Europäischen Emissionshandelssystem betroffen (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit 2021a). Das Europäische Emissionshandelssystem funktioniert nach dem Prinzip des „Cap and Trade“. Dabei legen die Mitgliedstaaten eine Obergrenze an zulässigen CO₂-Austößen fest (Cap). Ebenso geben die Mitgliedstaaten eine bestimmte Menge Emissionsberechtigungen aus, die frei über den Markt gehandelt werden können (Trade). Seit 2008 hat sich eine große Menge an überschüssigen Emissionsgutschriften ergeben, zurückzuführen auf wenig ambitionierte Caps, internationale Projektgutschriften (u. a. Clean-Development-Mechanism) oder krisenbedingte Produktionsrückgänge. Diese Entwicklung hat zu einem massiven Preisverfall im Zeitraum von 2011 bis 2017 geführt. Maßnahmen waren das Backloading, das Zurückhalten von Emissionsberechtigungen, und seit 2019 die Marktstabilitätsreserve, die flexibel jährliche Auktionsmengen reduzieren kann. Die vierte Handelsperiode startete 2021 und dauert bis einschließlich 2030. Für diese Handelsperiode sinkt die kostenlose Zuteilung an Berechtigungen erheblich und auch der Kürzungsfaktor pro Jahr für die Obergrenzen (Caps) fällt deutlich höher aus (Umweltbundesamt 2021a, 2021b).

6.5.1 Der freiwillige Emissionshandel im Überblick

Neben dem Handel von CO₂-Zertifikaten im Rahmen verschiedener nationaler oder internationaler staatlicher Emissionshandelssysteme können Unternehmen auch auf eine **freiwillige Kompensation** ihres CO₂-Austößen setzen (adelphi und Öko-Institut 2021). Laut einer Studie des Bitkom e.V. kompensieren 28 % der 753 befragten Unternehmen in Deutschland ihren CO₂-Fußabdruck. Weitere 44 % der Unternehmen planen, dies zukünftig zu tun. Dabei misst laut Bitkom-Umfrage lediglich jedes **vierte Unternehmen** den **eigenen CO₂-Fußabdruck** (Bitkom e.V. 2020a). Ergänzend zum Emissionshandel auf staat-

licher Ebene haben sich verschiedene, sogenannte Baseline-and-Credit-Systeme im Rahmen freiwilliger Kohlenstoffmärkte etabliert. Die bekanntesten Anbieter, die eigene Zertifizierungsmechanismen anbieten, sind neben dem Clean Development Mechanism der Vereinten Nationen u. a. der Gold-Standard oder Verified Carbon Standard - Verra (adelphi und Öko-Institut 2021). Gold Standard wurde 2003 in Kooperation vom WWF und anderen Nichtregierungsorganisationen (NGOs) gegründet, mit dem Ziel die Integrität von Umwelt- und Klimaschutzprojekten zu wahren und zu fördern. Dazu zertifiziert die Organisation mit Sitz in der Schweiz eine Vielzahl unterschiedlicher Projekte u. a. im Bereich des Recyclings, Aufforstung oder Entwicklungszusammenarbeit, die nachweislich zur Reduktion von Treibhausgasen führen. Dabei bietet Gold-Standard eine zentrale Online-Plattform, auf der entsprechende Zertifikate direkt erworben werden können. Alternativ können Zertifikate auch beim lokalen Projektanbieter gekauft werden. Projekte, die sich über entsprechende Zertifikate finanzieren lassen möchten, müssen Gebühren z. B. für das Einrichten eines Nutzerkontos oder den Auditierungsprozess an Gold-Standard entrichten (Gold Standard 2021). Auch die US-amerikanische NGO Verra operiert entlang dieses Geschäftsmodells und bietet eine zentrale Plattform für den Verkauf entsprechender Zertifikate auf Basis verschiedener sozial-ökologischer Projekte (Verra 2021).

Sowohl der staatliche, wie auch der freiwillige Emissionshandel sehen sich mit **Kritik** konfrontiert. Im besten Falle ergebe sich aus dem freiwilligen Emissionshandel lediglich ein **Nullsummenspiel**. Zudem wird immer wieder der **Mangel an Verifizierbarkeit von tatsächlicher Unterlassung** z. B. einer Abholzung kritisiert. Eine weitere, erhebliche Herausforderung ist die **Doppelzählung** von Emissionsreduktionen (adelphi und Öko-Institut 2021; Kreibich und Hermwille 2020).

Das Übereinkommen von Paris, das inzwischen von 195 UN-Mitgliedsstaaten ratifiziert wurde, adressiert in Artikel 6 explizit die Problematik der Doppelzählung in der internationalen Kooperation. Voraussetzung für eine internationale Kooperation sei eine korrekte und nachvollziehbare Buchhaltung, die ausschließt,

dass klimaförderliche Maßnahmen mehrfach gezählt würden. Die Anrechnung von Emissionsminderungen könnte folglich in der „Klimabilanz“ des Landes auftreten, das z. B. entsprechende Kompensationsnachweise erworben hat, wie auch in dem Land, wo die kompensierende Handlung durchgeführt wurde (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit 2021b). Nicht nur auf internationaler, staatlicher Ebene, sondern auch auf der Geschäftsmodellebene ist der **Mangel an Transparenz** eine Herausforderung. Zentrale Plattformen, die Emissionsgutschriften anbieten, wären ebenfalls in der Lage, **Zertifikate mehrfach auszugeben**. Gleichzeitig ist oftmals unklar, wie und in welcher Form lokale Projekte und Initiativen an den Erlösen beteiligt werden. Einen möglichen Ansatz, um zum einen die Doppelzählung zu vermeiden und damit Transparenz im Sinne der Buchführung zu schaffen, bietet die Blockchain-Technologie. Seit einigen Jahren drängen daher, neben bestehenden Organisationen wie Gold Standard, immer mehr Blockchain-Start-ups in den freiwilligen Kohlenstoff- bzw. Emissionsgutschriftenmarkt und bieten tokenisierte Lösungen an.

6.5.2 Chancen und Herausforderungen tokenisierter Emissionsgutschriften

Im vorangegangenen Modul „Token-Ökonomie“ des „Fachdialogs Blockchain“ wurde bereits auf die Bedeutung und das Potenzial von Token eingegangen. Grundsätzlich können mithilfe der Distributed-Ledger-Technologie alle erdenklichen Werte, Rechte sowie Schuldverhältnisse durch **Token** repräsentiert werden. Token können als „digitale Zertifikate“ verstanden werden, die Werte nicht nur verbriefen, sondern sie zugleich fälschungssicher und handelbar machen (Kunde et al. 2017). Folglich wird mithilfe von Token der Handel und damit der Austausch von (digitalen) Gütern vereinfacht (Bundesministerium der Finanzen 2019). Token können eine Vielzahl an Funktionen bzw. Gütern abbilden. Neben der häufigsten Einsatzart als Kryptowährung können sie auch allgemeine Vermögenswerte, Prüfverfahren und Bewertungen, Wahlrechte sowie Besitzrechte darstellen (Oliveira et al. 2018). Diese Eigenschaft machen sich verschiedene Start-ups zu eigen und **tokenisieren Emissionsgutschriften**.

Das Geschäftsmodell fußt dabei oftmals auf der Erschaffung von Token für eine entsprechende CO₂-Kompensation, die analog zu Zertifikaten bestehender Organisationen gehandelt bzw. erworben werden können. Start-ups wie z. B. *Climatetrade* and *Carbonfuture* verfolgen diesen Ansatz. Das spanische Start-up *Climatetrade* bietet eine blockchain-basierte Plattform für den Handel mit Emissionsgutschriften an. Nach eigenen Angaben sind bereits mehr als 300 Unternehmen auf der Plattform registriert, mit mehr als 2.000 Endnutzern und mehr als einer Million eingesparten Tonnen CO₂ durch die Förderung von gut 50 Projekten. Die entsprechenden Zertifikate werden über Token repräsentiert. Ebenso soll mithilfe der Token sichergestellt werden, dass die Einnahmen unmittelbar an das entsprechende Projekt gehen (*Climatetrade* 2021). Das Unternehmen setzt dabei auf eine US-amerikanische Blockchain-Lösung namens *Algorand*. Der Konsensmechanismus der öffentlichen (permissionless) Blockchain basiert auf dem am MIT entwickelten *Pure-Proof-of-Stake*. Laut Unternehmenshomepage bietet der *Pure-Proof-of-Stake*¹, basierend auf dem Byzantine-Fault-Tolerance-Verfahren, einen egalitäreren Ansatz als der reine *Proof-of-Stake*, bei dem Teilnehmende durch eine größere Verfügbarkeit von Stakes mit höherer Wahrscheinlichkeit berechtigt sind, den nächsten Block zu erzeugen. Durch den *Pure-Proof-of-Stake* Konsensmechanismus stellt *Climatetrade* eine energiearme Blockchain-Lösung bereit (*Algorand* 2021). Das deutsche Unternehmen *Carbonfuture* wiederum setzt auf die private (permissioned) Blockchain-Lösung *IBM Hyperledger Fabric*, um damit die Finanzierung von pflanzenkohle-basierten CO₂-Senken abzubilden. Alle Senken werden dabei laut Unternehmen entsprechend über das Blockchain-Register dokumentiert, sodass eine Doppelzählung vermieden werden kann. Senken finden sich hauptsächlich in Deutschland, der Schweiz und Österreich, um eine bessere Prüfung und Nachvollziehbarkeit der Senken zu gewährleisten. Das Unternehmen arbeitet mit dem Schweizer *Ithaka Institute* zusammen, das entsprechende Zertifikate für Kohlenstoffsenken ausstellt (*carbonfuture* 2021). Die

skizzierten Unternehmen können gleichermaßen als **Fintechs** bezeichnet werden, die mithilfe von Token neue Werte abbilden möchten. Insgesamt spielen *Fintechs* eine erhebliche Rolle im Bereich der „**Sustainable Finance**“² und verändern das Selbstverständnis der Finanzindustrie mit Blick auf das Thema Nachhaltigkeit. Insbesondere haben *Fintechs* das Potenzial, die Integration von Finanzflüssen mit der physischen Welt schneller und effizienter voranzutreiben als traditionelle Banken (*Chueca Vergara und Ferruz Agudo* 2021; *Moro-Visconti et al.* 2020).

Auch wenn diese Projekte und Unternehmen eine höhere Transparenz mithilfe der Blockchain-Technologie versprechen und die Herausforderung der **Doppelzählung** innerhalb ihres Ökosystems lösen können, sind auch sie potenziell dem **Oracles-Problem** unterworfen. *Oracles* sind Personen oder Systeme künstlicher Intelligenz, die benötigt werden, um kritische, externe Daten z. B. für die Ausführung eines *Smart Contracts* bereitzustellen. Das *Oracles-Problem* ist insbesondere für nicht-fungible Assets (einzigartige Güter) eine große Herausforderung (*Caldarelli et al.* 2020). Auch im Falle von Emissionsgutschriften kann das *Oracles-Problem* aufkommen: Zertifikate werden nach wie vor auf Basis eines menschlichen Gutachtens bzw. einer Kalkulation auf externen, bereitgestellten Daten und Prüfungen ausgestellt. Hierbei sind Fehlkalkulationen oder der Eintrag von nicht ausreichend geprüften oder theoretisch korrumpierbaren Projekten möglich. Dieses **grundlegende Problem der Vertrauenswürdigkeit**, ob Projekte wirklich durchgeführt oder CO₂-Senken tatsächlich, langfristig über mehrere Jahrzehnte erhalten werden, kann mithilfe der Blockchain-Technologie allein nicht gelöst werden.

IoT-Technologien und Sensoren versprechen einen Ansatz, um bestehende *Oracles-Probleme* zu umgehen. Insbesondere für fungible Assets bieten sich IoT-Lösungen an, da Rohstoffe und andere Commodities oftmals leicht getrackt, erfasst und gemessen werden können (*Caldarelli et al.* 2020). Nicht-fungible Produkte sind hingegen oftmals auf eine vertrauens-

1 Für mehr Informationen zum *Pure Proof of Stake* siehe: <https://www.algorand.com/de/resources/blog/proof-of-stake-vs-pure-proof-of-stake-consensus>

2 *Sustainable Finance* ist die Berücksichtigung von Nachhaltigkeitskriterien bei der Entscheidung von Investitionen sowie der Schaffung neuer Finanzprodukte, um Nachhaltigkeit zu sichern.

würdige Zertifizierung mit einem entsprechend vertrauenswürdigen Anbieter angewiesen. Dies kann insbesondere für junge Start-ups und Unternehmen, die selbst eine solche Zertifizierung für Projekte und kontinuierliche Überprüfung durchführen möchten, eine große Herausforderung darstellen. Andere Unternehmen wie z. B. das estnische Start-up *Single.Earth* versuchen das Oracles-Problem zu umgehen, indem sie auf eine Kombination von künstlicher Intelligenz und Satellitentechnik in einem tangiblen Anwendungsfall setzen. Mithilfe von Satellitendaten und künstlicher Intelligenz erstellt *Single.Earth* digitale Zwillinge von Wäldern oder Sumpfgeländen. Auf dieser Basis können entsprechende Token für CO₂-Einsparungen erworben und gehandelt werden.

„Klimatoken“ können mitunter einen Beitrag **zur sozialen wie auch ökologischen und ökonomischen Nachhaltigkeit** leisten, da sie z. B. für Waldbesitzer die Möglichkeit schaffen, ein Einkommen zu generieren und neue Finanzierungsmöglichkeiten für sozial-ökologische Projekte schaffen. Vorteil ist hier die transparente und persistente Abbildung von CO₂-Senken und das möglicherweise gesteigerte Kundenvertrauen. Daraus ergibt sich aber auch die Problematik, dass nur **juristische wie natürliche Personen** entlohnt bzw. beteiligt werden können, die tatsächlich über eine CO₂-Senke verfügen und diese auch kontrollieren bzw. nachweisen können. Für Allmende-Güter oder CO₂-Senken, unklaren oder auch staatlichen Besitzes wäre das Geschäftsmodell pauschal nicht anwendbar. Ebenso könnte Raubbau wie z. B. im Amazonas-Regenwald nur schwer eingedämmt bzw. kontrolliert werden. Für die Umsetzung von sozial-ökologischen Projekten bzw. Maßnahmen gilt dabei vor allem die Herausforderung, transparent und glaubwürdig nachzuweisen und nachzuvollziehen, dass die entsprechende CO₂-Kompensation erfolgte. Ebenso steht die Frage im Raum, wie z. B. die nachträgliche Rodung eines als CO₂-Senke zertifizierten Waldstückes auf bereits bestehende Token einwirkt und ein entsprechendes **Moral Hazard Problem**³ vermieden werden kann. Das Unternehmen

³ Moral Hazard trifft ein, wenn Individuen oder Unternehmen sich z. B. nach Abschluss eines Vertrages oder einer Versicherung anders verhalten als vor dem Abschluss aufgrund von Informationsasymmetrien und mangelnde Überprüfbarkeit und Fehlanreizen durch z. B. die Versicherung.

Carbonfuture setzt deshalb auf Pflanzenkohlenstoff aus z. B. Biomasse – und stellt erst ex post, d. h. nach „Vergraben“ des Pflanzenkohlestoffs ein entsprechendes Zertifikat aus. Für das generelle Projektdesign bedeutet dies, dass nur Projekte gewählt werden können, die entweder **ex-post** einen Token bzw. Zertifikat ausstellen oder anderweitig einen glaubhaften Nachweis liefern können.

6.5.3 Diskussion: Beitrag zur Nachhaltigkeit von tokenisierten Emissionsgutschriften

Bei der Umsetzung der beschriebenen Geschäftsmodelle setzen Start-ups bereits heute schon auf „energiearme“ Blockchain-Lösungen, indem sie entweder auf den Proof-of-Work-Konsensmechanismus verzichten oder Permissioned Blockchain-Lösungen ohne entsprechend aufwändige und energieintensive Konsensmechanismen nutzen. Je nach Ausrichtung des Geschäftsmodells bzw. des Projekts ist die Blockchain-Technologie Ergänzung oder Enabler. Die reine Abbildung von Zertifikaten in Form von Token ist eher als eine Art **Ergänzung** zu verstehen. Zertifikate oder Anteile davon könnten auch über zentrale Plattformen gehandelt werden. Die Blockchain-Technologie erlaubt hierbei jedoch eine erhöhte Transparenz und Nachvollziehbarkeit, verhindert eine potenzielle Doppelbuchung und stellt dadurch die Sicherheit der einzelnen Transaktionen sicher. Dient die Tokenisierung jedoch dazu überhaupt erst CO₂-Senken wie z. B. Wald- oder Sumpfgelände abzubilden, d. h. ohne eine externe Zertifizierung, sondern im Zusammenspiel mit anderen IoT-Technologien, kann sie eher als **Enabler** gewertet werden. Zudem erlauben Token im Sinne von neuen Finanzinstrumenten spannende Anwendungen bzw. die Abbildung, Handelbarkeit und Teilbarkeit von neuartigen Werten, die eben ökologische und soziale Aspekte abbilden können.

Auf internationaler Ebene, unter der Voraussetzung eindeutiger und klarer Standards, wäre eine blockchain-basierte Abwicklung des (freiwilligen) Emissionshandels eine spannende Überlegung, da **Doppelbuchungen ausschließbar** wären. Zudem könnte mithilfe von Token sichergestellt werden, dass die entsprechenden Erlöse direkt ausgeschüttet werden. Für den internationalen Emissionshandel

wäre jedoch ein gemeinsames System, ein gemeinsames Accounting-Verständnis und die Schaffung von Standards sowohl auf technischer Seite wie auch projektseitig eine entscheidende Voraussetzung. In Anbetracht der Tatsache, dass bereits die Ratifizierung von entsprechenden Abkommen wie dem Pariser Klimaschutzabkommen mit hohen Herausforderungen und Hürden einhergeht, wäre die Schaffung eines solchen Systems auf internationaler Bühne mitunter ein Kraftakt. Daher könnte beispielsweise auf nationaler bzw. europäischer Ebene die Einführung entsprechender Pilotprojekte unter Berücksichtigung der Emissionsinventare bzw. Bilanzen sinnvoll sein. Die Europäische Kommission ist überzeugt davon, dass die Blockchain-Technologie vor allem dabei helfen kann das „Tragedy of Commons-Problem“⁴ zu adressieren, negative Externalitäten zu minimieren und neue Anreize für neue nachhaltige Geschäftsmodelle und Finanzierungsformen zu schaffen (Europäische Kommission 2021). Der tokenisierte Emissionshandel kann dabei konkret die folgenden deutschen Nachhaltigkeitsziele befördern: „Ökosysteme: Ökosysteme schützen, Ökosystemleistungen erhalten und Lebensräume bewahren“, „Beitrag zur internationalen Klimafinanzierung leisten“, „Weltweite Entwaldung vermeiden und Böden schützen“ (Die Bundesregierung 2020).

6.6 Zwischenfazit: Beitrag der Blockchain-Technologie zur Nachhaltigkeit entlang des digitalen Produktpasses, des Lieferkettengesetzes und CO₂-Kompensationen

Die skizzierten Anwendungsfälle sind allesamt Bereiche, in denen die Blockchain-Technologie sich im Aufbau bzw. in einer ersten Erprobung befindet. Auffällig ist dabei, dass die Technologie vor allem auf Grund ihrer Transparenzeigenschaft zum Abbau von Informationsasymmetrien genutzt wird. Sowohl für den digitalen Produktpass wie auch für ein entsprechendes Beschwerde- oder Risikomanagement im

Kontext des Lieferkettengesetzes oder im Bereich der tokenisierten Klima-Assets, wird die Technologie eingesetzt, um Vertrauen und Transparenz zwischen den verschiedenen Akteuren zu schaffen. Im Falle des tokenisierten Emissionsgutschriftenhandels wiederum wird vor allem die Möglichkeit genutzt, neue Werte zu schaffen und zu handeln. **Je nach Ausgestaltung des konkreten Projekts und nach Geschäftsmodell ist die Technologie als Enabler, Substitut oder Ergänzung zu verstehen.**

Entlang des Beispiels eines **digitalen Produktpasses** ist die Blockchain vor allem eine befähigende Technologie, sprich ein **Enabler**. Durch das dezentrale System in Zusammenspiel mit Self-Sovereign Identities können Teilnehmende selbstbestimmt über ihre Informationen verfügen und entscheiden, wem sie welche Daten zur Verfügung stellen möchten. Dies löst bei zentralen Datenbanken bestehende Vertrauensprobleme. Zusätzlich müssen trotzdem **Anreize** für die Teilnahme entlang der Lieferkette geschaffen werden. Diese können sich aber wiederum aus der Transparenz und der Dateneinspeisung selbst generieren. Ist erkennbar, welcher Akteur entlang der Lieferkette welchen bestimmten Beitrag zur verbesserten Kreislaufwirtschaft geleistet hat, können entsprechende Vergütungen im Sinne eines Revenue-Sharings erfolgen. Dies setzt ökonomische Anreize und schafft interessante, neue Geschäftsmodelle. Diejenigen, die den höchsten, ökonomischen Mehrwert generieren können, sind im Idealfall auch diejenigen, die einen solchen digitalen Produktpass bzw. die dafür notwendige Infrastruktur entlang der Lieferkette betreiben und initiieren sollten. Dabei müssen aber die grundsätzliche **Governance sowie Abhängigkeits- und Machtstrukturen entlang der Supply Chain berücksichtigt** und kritische Partner überzeugt werden.

Auch im Kontext des **Lieferkettengesetzes** ist die Blockchain-Technologie eine **Enabler-Technologie**. Der digitale Produktpass kann ein Element zur verbesserten Lieferkettentransparenz darstellen, jedoch stehen Unternehmen im Kontext des Lieferkettengesetzes auch vor der Herausforderung, effiziente und zuverlässige Risikomanagement-Systeme sowie vertrauenswürdige Beschwerdeverfahren zu etablieren.

⁴ Frei verfügbare aber begrenzte Ressourcen, wie z. B. Meere, Wälder etc., werden nicht effizient genutzt und mit Ausbeutung konfrontiert – diese Übernutzung wiederum führt zu einem Schaden für den Nutzer selbst. Ein klassisches Beispiel ist die Überfischung oder Abholzung des Amazonas-Regenwaldes.

Insbesondere die Risikoanalyse, die zentraler Bestandteil des geforderten Risikomanagement-Systems ist, benötigt eine manipulationssichere Informationsgrundlage, um ihr volles Potenzial zu entfalten. Darüber hinaus können die Aktionen, die die Unternehmen auf Basis dieser Analyse durchführen, persistent auf einer Blockchain dokumentiert werden und dienen so als Nachweis erfüllter Sorgfaltspflichten. Die Herausforderung, wie mit Fehlinformationen oder bewusst schädlichen Beschwerden umgegangen werden soll, ist zu klären. Ebenso ist zu klären, welche Informationen tatsächlich auf der Blockchain gespeichert werden sollen, da sie keinen Rückschluss auf personenbezogene Daten liefern dürfen. Zudem kommt entlang der Lieferkette die grundlegende **Herausforderung der Transparenz** und Übersicht hinzu, die im Vorfeld erstellt werden muss, um Klarheit zu schaffen, wer alles an ein Blockchain-System angebunden werden sollte bzw. dazu berechtigt ist. Hier könnten Unternehmen vor allem auf eine **freiwillige Teilnahme ihrer Lieferanten** und Sub-Lieferanten setzen. Auf der anderen Seite können Teilnehmende mit **hoher Marktmacht** entsprechend Druck ausüben. DIDs und VCs können zudem einen erheblichen Beitrag leisten, entsprechende Nachweise über die Echtheit des Unternehmens zu liefern. Zudem müssen Unternehmen ihre Geschäftsmodelle anpassen und auch hier ebenfalls im Sinne eines **Revenue-Sharings** Anreize für die freiwillige und partnerschaftliche Partizipation schaffen.

Beim tokenisierten **Emissionsgutschriftenhandel** kann die Blockchain-Technologie **je nach Geschäftsmodell als Enabler oder als Ergänzung** betrachtet werden. Die letzte Ausprägung trifft dort zu, wo Zertifikate nach wie vor auf Basis bestehender Zertifizierungsorganisationen oder Projektstrukturen vor Ort ausgestellt und im Anschluss tokenisiert werden. Hier ist der Vorteil der Blockchain darin zu sehen, dass die tokenisierten Zertifikate bzw. Emissionsgutschriften von der Doppelbuchung ausgeschlossen sind und transparent nachvollzogen werden kann, welche Aktionen damit im Netzwerk verbunden sind (wie z. B. die Auszahlung an das entsprechende Projekt). Dienen die durch die Blockchain-Technologie generierten Token jedoch dazu, **erstmalig Werte**, wie z. B. Wälder, Moore oder andere CO₂-Sen-

ken abzubilden, kommt der Technologie hier eine Bedeutung als Enabler zu. Mithilfe von Token kann nachvollziehbar und glaubwürdig der Handel und auch die Teilbarkeit von Anteilen an entsprechenden CO₂-Senken dargestellt werden. Aber auch hier ergeben sich die grundsätzlichen Herausforderungen, die auf einem **Geschäftsmodell der Unterlassung** fußen. Eine Handlung in der physischen Welt, wie z. B. die Rodung eines zuvor tokenisierten Waldstückes, muss entsprechend in der digitalen Welt nachvollzogen werden und entsprechende Token theoretisch mit einem automatisierten Rückgabe- bzw. Erstattungsrecht versehen sein, um **Moral Hazard Problematiken** zu überwinden. Grundsätzlich ist die Verlinkung von „grünen“ Geschäftsmodellen über Token zu neuen Finanzprodukten im Sinne von Sustainable Finance eine spannende Möglichkeit, Nachhaltigkeit als neuen, echten Wert zu kapitalisieren.

Die skizzierten Lösungen zeigen auch, dass bereits heute schon auf rechenintensive Konsensmechanismen, sprich den Proof-of-Work, verzichtet wird. Nichtsdestotrotz ist der Gesamteinsatz von Daten und flankierender Hard- wie auch Software stets zu berücksichtigen - insbesondere, wenn Systeme und Lösungen entsprechend wachsen und sich über große Supply Chains oder gar staatliche Systeme (wie ein zwischenstaatlicher Emissionshandel) erstrecken sollten. Ebenso zeigen die dargestellten Use Cases, dass die **Blockchain-Technologie nicht isoliert zu betrachten ist**. Um entsprechende **Oracles-Probleme** zu umgehen, ist oftmals der Einsatz von weiteren Technologien wie Künstliche Intelligenz erforderlich. Des Weiteren sind nach wie vor oftmals Menschen letztendlicher Informationsgeber (z. B. entlang einer Lieferkette). Die Technologie ist dabei immer im Zusammenspiel zwischen juristischen wie auch natürlichen Personen und im **soziotechnischen Spannungsfeld** zu betrachten. Self-Sovereign Identities, Token und Blockchain helfen letztendlich, Transaktionskosten zu verringern und Vertrauensprobleme sowie daraus resultierende **Informationsasymmetrien** zu überwinden. Dadurch schaffen sie entlang verschiedenster Anwendungsfälle Beiträge zur sozialen, ökologischen und ökonomischen Nachhaltigkeit. **Der Bezug zur Nachhaltigkeit ergibt sich dabei aber häufig aus der Problemstellung per se.**

Es zeigt sich, dass die Adressierung ökonomischer Fragestellungen, wie Effizienz, Ressourcensparsamkeit oder neue Ertrags- und Partizipationsmöglichkeiten in Geschäftsmodellen, oftmals direkt mit einer ökologischen und teilweise sozialen Nachhaltigkeit einhergehen. Die beschriebenen Anwendungsfälle stellen nur einen kleinen Ausschnitt dar. Weitere mögliche Szenarien und bereits prototypische An-

wendungsfälle sind Peer-to-Peer-Energiemärkte und flexibilisierte Stromnetzwerke, Anwendungsfälle entlang des Supply Chain Managements wie Zoll- und Gefahrgut-Use Cases, bei denen mithilfe von Blockchain papierlastige Verwaltungsprozesse abgelöst werden können, oder auch sozial-orientierte Use Cases aus dem Bereich der Entwicklungszusammenarbeit und Bürger-Beteiligung oder im Bildungssektor.

7 HANDLUNGSOPTIONEN FÜR DEN EINSATZ DER BLOCKCHAIN-TECHNOLOGIE IM KONTEXT NACHHALTIGKEIT

Im Rahmen des „Fachdialogs Blockchain“ wurde mit 46 ausgewählten Expertinnen und Experten am 25. Oktober 2021 ein virtueller Workshop durchgeführt. Ziel dieses Workshops war es, bestimmte Fragestellungen, die sich aus den Anwendungsfällen ergeben haben, tiefergehend zu diskutieren und zu bewerten. Diese Diskussion mit den Expertinnen und Experten dient als Grundlage zur Ableitung von Handlungsfeldern für den Einsatz der Blockchain-Technologie im Kontext Nachhaltigkeit. Mit den Expertinnen und Experten wurden insgesamt drei verschiedene, übergeordnete Themenstellungen bearbeitet. Die Schwerpunkte lagen dabei auf folgenden Fragestellungen:

- ▶ Welche Herausforderungen entstehen bei der Bewertung der Nachhaltigkeit von Blockchain-Technologien?
- ▶ Scheitert der Einsatz der Blockchain-Technologie zur Steigerung der Nachhaltigkeit an der Informationsgewinnung entlang von Supply Chains?
- ▶ Wie sollten die so oft geforderten Leuchtturmprojekte und Best-Practices gestaltet werden, um eine nachhaltige Verstetigung zu gewährleisten?

Insbesondere Bewertungsmethoden und geeignete Analyseverfahren sind oftmals noch nicht vorhanden. Unternehmen erfassen selten ihren CO₂-Fußabdruck (Bitkom e.V. 2020a) und stehen zudem oftmals vor der Herausforderung, Netzwerktechnologien zu erfassen und zu beurteilen. Aus diesem Grund stellt eine Bewertung des Einsatzes der Blockchain-Technologie im Kontext Nachhaltigkeit - und dabei im Dreiklang soziale, ökologische und ökonomische Nachhaltigkeit - für Unternehmen eine Herausforderung dar. **Fehlende Entscheidungsgrundlagen oder Auswirkungsanalysen sind jedoch ein**

Hemmnis für den Einsatz der Technologie. Zunehmend steht dabei auch die Informationsgewinnung entlang von Supply Chains im Vordergrund. Die Anwendungsbeispiele eines digitalen Produktpasses und des Lieferkettengesetzes, aber auch die Geschäftsmodelle des tokenisierten Emissionshandels zeigen: Ohne Oracles kann der Einsatz der Blockchain-Technologie oftmals nicht realisiert werden. Dabei muss zum einen die **Nachhaltigkeit der Oracles** selbst bewertet werden, aber auch deren Vertrauenswürdigkeit und Bedeutung innerhalb der Supply Chain. Neben technologischen Fragestellungen und Oracles auf Basis von z. B. künstlicher Intelligenz muss auch berücksichtigt werden, wie der Faktor Mensch als Informationsgeber integriert werden kann im Sinne einer sozialen Nachhaltigkeit. Folglich kann ein nachhaltiger und nachhaltigkeitsfördernder Einsatz der Blockchain-Technologie nicht losgelöst von sozio-technischen Systemen erfolgen. Vor dem Hintergrund der Bedeutung von Oracles und Methoden zur Bewertung der Nachhaltigkeit stellt sich die Frage, wie bestehende Leuchtturmprojekte sowie zukünftige Initiativen entsprechend skaliert und verstetigt werden können.

Neben der Beantwortung dieser Fragestellung brachten die im Rahmen des Workshops eingebundenen Impulsvorträge wie auch die Diskussion mit den Expertinnen und Experten eine Vielzahl weiterer Aspekte und Themen in Bezug auf den Einsatz der Blockchain-Technologie im Zusammenhang mit Nachhaltigkeitsaspekten hervor. Die Workshopergebnisse werden im Folgenden in einer SWOT-Analyse (Stärken, Schwächen, Chancen und Risiken) zusammengefasst und dienen neben der obigen Desk-Research und Analyse in Kapitel 6 sowie einer Auswahl an Trendthemen in Kapitel 7.2 als Grundlage für die Ableitung von Handlungsoptionen.

7.1 Expertenperspektive: Stärken, Schwächen, Chancen und Risiken Blockchain und Nachhaltigkeit

Die folgende SWOT-Analyse fasst die unterschiedlichen Aspekte der Expertendiskussionen im Rahmen des virtuellen Workshops vom 25. Oktober 2021 zusammen. Die 46 Expertinnen und Experten vertraten

dabei unterschiedliche Branchen sowie Unternehmensgrößen, öffentliche Verbände, Initiativen und Forschungseinrichtungen. Die SWOT-Analyse orientiert sich an den oben genannten Fragestellungen in den Bereichen Bewertungsmethoden, Informationsgewinnung und Ausgestaltung von Leuchtturmprojekten und spiegelt die Aussagen der Expertinnen und Experten zu den genannten Themenstellungen wider.

Stärken	Schwächen
<ul style="list-style-type: none"> • Compliance-Vorgaben und regulatorische Rahmen wie das Lieferkettengesetz oder auch die Sustainable Finance Taxonomie sind ein Push für die Blockchain-Technologie. • Es sind bereits viele Leuchtturmprojekte und Anwendungsfälle sowie konzeptionelle Vorarbeiten für die Blockchain-Technologie im Kontext Nachhaltigkeit vorhanden. • Unternehmen begreifen ökologische Nachhaltigkeit oftmals als förderlich für den wirtschaftlichen Erfolg und sind motiviert, nachhaltig zu handeln. Die Akzeptanz von digitalen Lösungen zur Steigerung der Nachhaltigkeit in Unternehmen ist weit verbreitet. • Deutschland verfügt über eine Blockchain-Strategie (2019) und initiiert entsprechende Maßnahmen im Bereich Nachhaltigkeit. Außerdem wurden Blockchain-Themen und Nachhaltigkeitsaspekte, für die Blockchain eine hohe Relevanz hat, in den bestehenden Koalitionsvertrag der neuen Bundesregierung (2021) bestehend aus SPD, Grünen und FDP (z. B. blockchain-basiertes, digitales Grundbuch, Einführung digitaler Produktpässe) aufgenommen. 	<ul style="list-style-type: none"> • Der Mehrwert von Daten und die Rolle von Ökosystemen als Chance für neue Geschäftsmodelle werden bisher nicht ausreichend erkannt: Dies bedeutet auch ein Hemmnis für den Einsatz der Blockchain-Technologie im Kontext Nachhaltigkeit (z. B. fehlendes Verständnis für Geschäftsmodelle durch Teilhabe an blockchain-basierten Datenübermittlungen z. B. entlang eines digitalen Produktpasses). • Fehlende Standardisierungen in datenbasierten Ökosystemen erschweren die Realisierung und Anreizsetzung von datengetriebenen und somit auch blockchain-basierten Geschäftsmodellen für Unternehmen. Dadurch fehlen Anwendungsszenarien für Blockchain im Kontext Nachhaltigkeit. • Bewertungsmethoden und -prozesse sind zum Großteil noch nicht vorhanden und schwer zu realisieren. Herausforderungen ergeben sich dabei insbesondere aus einer hohen Komplexität und Individualisierungsgraden in Unternehmen, der oft mangelnden Quantifizierbarkeit sozialer Beiträge sowie oftmals unzureichender Referenzwerte (z. B. Kreditkarten vs. blockchain-basierte Bezahlsysteme: Kosten für den Intermediär als Emittent der Kreditkarte werden vernachlässigt). • Oftmals keine ausreichenden Verstetigungskonzepte von Leuchtturmprojekten über die Förderlaufzeit hinaus und fehlender Ökosystemausbau: Open-Source-Software-Lösungen sind nicht zwingend vorausgesetzt und ein Dienstleisterökosystem, um den Betrieb und Erhalt der Lösung zu sichern, muss berücksichtigt werden. Darüber hinaus wird die Komplexität realer Supply Chains in Förderprojekten oftmals nur in vereinfachter Form adressiert – Nachhaltigkeit bedeutet hier auch eine nachhaltige Verstetigung der Lösung. • Die Blockchain-Technologie ist häufig nur in Kombination mit anderen Technologien sinnvoll einsetzbar (entlang von Lieferketten): Mitunter liegt jedoch eine überzogene Erwartungshaltung vor. Die Blockchain-Technologie liefert einen, aber nicht den alleinigen Beitrag im Kontext Nachhaltigkeit: Das mangelnde Verständnis für das Zusammenspiel bestehender Technologien mit Blockchain-Lösungen hemmt die Realisierung praxistauglicher Anwendungsfälle. • Fehlende Anlaufstelle für Blockchain-Themen auf Bundesebene. Viele verschiedene Ansprechpartner in den Ministerien und Projekten erschweren den Informationszugang für Unternehmen.

Chancen	Risiken
<ul style="list-style-type: none"> • Endverbraucherinnen und -verbraucher können durch ihre Nachfrage nach nachweisbar nachhaltigen Produkten die Grundlage für neue blockchain-basierte Geschäftsmodelle bilden. • Mit einem steigenden Automatisierungsgrad und einer zunehmenden Technologisierung kann die Informationsgewinnung entlang von Lieferketten verbessert werden – Oracles im Sinne von IoT-Devices und Sensorik können somit präziser und zuverlässiger Daten übermitteln. • DIDs und VCs sind wichtige Vertrauensanker und ermöglichen neue blockchain-basierte Anwendungen, da sie die Souveränität des Datengebers stärken. Außerdem kann ein Nachweis der Urheberschaft als Anreiz dienen, um die Echtheit und Vertrauenswürdigkeit von Informationen zu garantieren. Mithilfe von DIDs und VCs kann nachvollzogen werden, wer die Information bereitgestellt hat – somit kann eine entsprechende Rechenschaft und Verantwortlichkeit sichergestellt werden. • Aufkommende Datenökosysteme und partizipative Geschäftsmodelle bieten neue Anreize für Supply Chain Akteure Daten und Informationen zu teilen und als Oracles zu fungieren. 	<ul style="list-style-type: none"> • Fehlerhafte Informationsquellen und wenig vertrauenswürdige Oracles schwächen die Anwendung der Blockchain-Technologie. Mangelnde Anreize oder auch Fehlanreize für die Gewährleistung der Echtheit von Information schränken die Datenqualität ein und schwächen dadurch auch die darauf basierenden Geschäftsmodelle. • DIDs und VCs bedürfen entsprechender vertrauenswürdiger Organisationen: Hier könnten neue Abhängigkeiten und Intermediäre geschaffen werden, die ein dezentrales System konterkarieren. • Nach wie vor ist zu wenig Wissen über die Blockchain-Technologie und deren Potenziale vorhanden. „Vorurteile“, dass die Blockchain-Technologie per se energieintensiv sei und mangelndes Verständnis für die vielfältigen Ausprägungsformen der Blockchain-Technologie hemmen deren Einsatz im Kontext Nachhaltigkeit. Dies ist u. a. auf fehlende Aufklärungs- und Informationskampagnen rund um Blockchain und Nachhaltigkeit zurückzuführen. • „Henne-Ei-Problematiken“ mindern unternehmensgetriebene Umsetzungsprojekte im Bereich Blockchain und Nachhaltigkeit – fehlender „unternehmerischer Mut“ und hohe Risikoaversion gegenüber der Technologie stellen ein großes Hemmnis dar.

7.2 Aktuelle Blockchain-Trends und weitere Fragestellungen im Kontext Nachhaltigkeit

Anhand der Fallbeispiele in Kapitel 6 wurde dargestellt, dass die Blockchain-Technologie schon heute bzw. in naher Zukunft einen wertvollen Beitrag zur Nachhaltigkeit liefern kann. Die Themenbereiche im Kontext des digitalen Produktpasses und der Supply Chain aber auch im Kontext des Emissionshandels liefern einen Einblick in das Potenzial der Blockchain-Technologie. Die damit verbundenen Fragestellungen und Herausforderungen wurden im Rahmen des Expertenworkshops am 25. Oktober 2021 diskutiert. Neben den oben skizzierten Kernfragestellungen ist dabei aber auch deutlich geworden, in welcher Vielfalt Fragestellungen und Trends rund um die Blockchain-Technologie im Kontext Nachhaltigkeit betrachtet werden können und sollten. Eine Auswahl der Trends und aufkommenden Phänomene rund um die Blockchain-Technologie

und weiterer zukünftiger Fragestellungen werden im Folgenden skizziert. Dies erlaubt den „Blick über den Tellerrand“ und zeigt auf, in welcher Komplexität Blockchain und Nachhaltigkeit diskutiert werden sollte – sowohl auf gesellschaftlicher, kultureller, aber auch technologischer Ebene:

NFT-Art

Im März 2021 wurde das NFT-Kunstwerk “Everydays – The First 5000 Days” des Künstlers Beeple bei Christies für rund 69 Millionen US-Dollar versteigert (Christie's 2021). Diese Summen zeigen, dass NFT-Art längst den internationalen Kunstmarkt erobert hat. Damit verbunden entsteht die Frage nach der Nachhaltigkeit dieser Kunstwerke und ihrem CO₂-Fußabdruck. Die beliebtesten NFT-Kunstbörsen wie MakersPlace, Nifty Gateway und SuperRare führen ihre Verkäufe auf Basis von Ethereum durch und sind somit in ihrer Energiebilanz an das dort durchgeführte Mining gebunden. Damit ein Kunstwerk auf

Basis einer Ethereum Blockchain geschaffen werden kann, muss der Künstler oder die Künstlerin das Kunstwerk „minern“. Dieses Mining erfordert eine hohe Rechenleistung und dementsprechend auch einen hohen CO₂-Energieverbrauch. Auch alle folgenden Aktionen wie das Bieten oder der Transfer gehen mit einem entsprechenden CO₂-Fußabdruck einher: Die Online-Plattform Quartz schätzt, dass durchschnittlich jedes Angebot 23 kg CO₂, jeder Verkauf 51 kg CO₂ und jeder Transfer bis zu durchschnittlich 30 kg CO₂ emittiert (Quartz Media 2021). Gleichzeitig werden NFTs auch genutzt, um nachhaltige Projekte zu fördern. Der World Wildlife Fund for Nature (WWF) gibt seit dem 2. November 2021 eigene Krypto-Kunst in Form von „Non-Fungible Animals (NFA)“ im Kampf für den Artenschutz und die Erhaltung bedrohter Tierarten aus. Diese NFAs wiederum basieren auf der Ethereum-Side-Chain-Lösung Polygon, die bereits auf den Proof-of-Stake setzt und damit eine verbesserte Klimabilanz aufzeigt (WWF 2021). Insgesamt stellt sich jedoch die Frage, wie sich der aufstrebende NFT-Kunstmarkt grundsätzlich zur Nachhaltigkeit positionieren wird und welche Maßnahmen ergriffen, aber auch technologischen Lösungen geschaffen werden können, um NFTs dauerhaft nachhaltig zu gestalten.

Gaming und Gambling

Nicht nur im Kunstmarkt ist die Blockchain-Technologie bereits angekommen, sondern auch in der aufstrebenden und professionalisierten Branche des Online-Gamings und Gambings. Zum einen können in Online-Casinos Bitcoins und Ether hinterlegt werden und blockchain-basierte Spiele wie z. B. „Bitcoin Dice“ implementiert werden – zum anderen werden mithilfe der Blockchain und NFTs ganze Marktsegmente transformiert. NFT-Collectibles schaffen neue Ertrags- und Finanzierungsmöglichkeiten für Sportvereine (Analytics Steps 2021). Parallel zur Tokenisierung bestehender Geschäftsmodelle entstehen jedoch auch gänzlich neue Formen von Online-Spielen und Communitys. Axie Infinity beispielsweise ist eine dezentrale Applikation, auf der Nutzer „Monster“ züchten und verkaufen können. Anders als bei herkömmlichen Plattformen sind diese tatsächlich einzigartig, nicht replizierbar und nicht veränderbar

(BTC Echo 2021). Diese Transaktionen und dezentralen Online-Plattformen laufen oftmals auf der Basis von Ethereum und sind deshalb ebenfalls kritisch im Hinblick auf ihre Energiebilanz zu bewerten. Hierbei handelt es sich um einen derzeit kaum regulierten Markt – der aber ein riesiges Wachstumspotenzial birgt. Dementsprechend ist es notwendig, rechtzeitig Standards im Hinblick auf die Nachhaltigkeit der Blockchain-Lösungen zu etablieren und entsprechende Aufklärungsarbeit zu leisten. Die Bedeutung virtueller Umgebungen und Welten wird weiter zunehmen – betrachte man nur Facebooks Metaversum und die damit verbundene Rolle von Kryptowerten und Token. Aus diesem Grund ist zu berücksichtigen, welchen CO₂-Footprint solche Geschäftsmodelle und virtuellen Unterhaltungskonzepte verursachen.

Staking-as-a-Service

Ein weiteres, zunehmendes Phänomen ist Staking: Nutzer hinterlegen Anteile ihrer Kryptowährung oder Token um an der Validierung von Blöcken teilzunehmen. Durch das Hinterlegen des Stakes erhalten Nutzer eine Prämie. Dieses Prinzip kommt vor allem bei Proof-of-Stake-Konsensverfahren zum Einsatz. Langfristige Inhaber von Kryptowährungen betrachten das Staking dabei als Möglichkeit ihre Kryptowährungen sinnvoll einzusetzen. Dabei müssen Nutzer, die sich am Staking beteiligen möchten, ununterbrochen einen Computer zur Verfügung stellen, der ohne Downtime kontinuierlich Validierungen vornehmen kann. Nutzern, denen dies nicht möglich ist, können sich an sogenannten Staking-Pools beteiligen, die von Börsen, wie z. B. Coinbase angeboten werden (Coinbase 2021). Auch wenn der Proof-of-Stake-Konsensmechanismus wesentlich weniger Energiebedarf als das Proof-of-Work-Verfahren, ist auch das Staking unter Nachhaltigkeitsaspekten zu bewerten – insbesondere dann, wenn sich lukrative Geschäftsmodelle und neue Ertragsströme für Besitzer von Kryptowährungen daraus ergeben.

Decentralized Finance

Das Beispiel des tokenisierten CO₂-Emissionshandels in Kapitel 6 macht es deutlich: Dezentrale Investment- und Finanzierungsmöglichkeiten, die keine Inter-

mediäre erfordern, sind längst Realität. War bis dato die Möglichkeit gegeben, über zentrale Systeme, Kryptowerte auszutauschen, erlebte Decentralized Finance in 2020 eine erhebliche Weiterentwicklung: Seit 2020 ist es auf Basis des Compound-Protokolls möglich, dass Teilnehmende in Blockchain-Netzwerken direkt die Kreditaufnahme und Kreditvergabe dezentral, d.h. ohne einen Intermediär vornehmen können. Somit haben Decentralized Finance Systeme einen neuen Reifegrad erreicht und den Grundstein für intermediärfreie Direktinvestition gelegt: Nutzer von Decentralized Finance Systemen sind bis dato „Early Adopters“ und risikoaverse Gruppen sehen von den Möglichkeiten von Decentralized Finance Systemen ab, da es sich hierbei noch um einen wenig regulierten Markt handelt (Sander et al. 2021). Dabei sind Decentralized Finance Systeme insbesondere im Hinblick auf sozio-ökologische aber auch sozio-ökonomische Fragestellungen sehr spannend: Laut der Weltbank haben rund 1,7 Milliarden Menschen keinen Zugang zu traditionellen Bankkonten (The World Bank 2017). Mithilfe dezentraler, öffentlicher blockchain-basierter Bezahlsysteme könnten Millionen Menschen Zugang zu Krediten und Kapital erhalten. Dies ermöglicht insbesondere Personengruppen in Entwicklungsländern eine Alternative zu Mikrokrediten und eine neue Form der wirtschaftlichen Eigenständigkeit. Dabei könnte insbesondere die Finanzierung von CO₂-Senken und der Erhalt natürlicher Ressourcen, wie bereits dargestellt, eine spannende Form des nachhaltigen Investments sein. Gleichzeitig muss die Nachhaltigkeit von Decentralized Finance Systemen selbst bewertet werden – laufen doch die meisten Anwendungen derzeit auf der Basis von Ethereum.

Digitales Zentralbankgeld (Central Bank Digital Currency)

Zentralbanken weltweit loten die Potenziale von digitalen, blockchain-basierten Währungen aus. Dabei ist zu untersuchen, ob und inwieweit diese digitalen Währungen bestehende Währungssysteme effizienter gestalten, Geldwäsche, Steuerhinterziehung und Terrorismusfinanzierung verhindern und zu geringeren Bearbeitungs- und Transaktionskosten führen können. Ebenso untersuchen Zentralbanken, in-

wieweit digitales Zentralbankgeld „krisenfest“ bzw. stabil ist und sie über digitales Zentralbankgeld ihren ordinären Aufgaben (z. B. der Zinspolitik) als Zentralbanken nachkommen können. Allen voran testet China seit April 2021 den digitalen Yuan öffentlich. In Europa geht vor allem Schweden seit 2020 mit einem E-Krona-Pilotprojekt voran (Schwedische Reichsbank 2021). Auch die Europäische Zentralbank startete im Oktober 2021 eine zweijährige Projektphase zur Eruierung der Potenziale eines digitalen Euro (Europäische Zentralbank 2021). Aus Nachhaltigkeitsaspekten sind insbesondere wohlfahrtssteigernde Aspekte wie z. B. die Unterbindung von Geldwäsche oder auch der Schutz von Verbraucherinnen und Verbrauchern vor Bankversagen zu bewerten. Gleichmaßen weisen Kritiker, insbesondere mit Blick auf China, darauf hin, dass solche dezentralen Währungssysteme auch zur staatlichen Überwachung und Bürgerkontrolle dienen könnten.

Fazit

Die skizzierten Trends – die nur auszugsweise dargestellt wurden, zeigen eines ganz deutlich: Die Blockchain-Technologie ist nicht nur eine technologische Lösung in einzelnen Anwendungsfällen z. B. innerhalb der Supply Chain oder bei der Digitalisierung von Zertifikaten, sondern heute schon ein echter Game-Changer, der gänzlich neue Formen der Wertschöpfung ermöglicht. Die Transformation des gesamten Finanz- und Bankenwesens sowie die Veränderung und Schaffung neuer Branchen und Märkte wie z. B. im Kunstmarkt oder in der Gaming-Industrie zeigen dies ganz deutlich. Ebenso zeigen technologische Entwicklungen und Trends und daraus resultierende Geschäftsmodelle und Praktiken wie z. B. das Staking-as-a-Service aber auch der Coin-Burn (das „Verbrennen“ von Kryptowährungen zur Wertsteigerung der zirkulierenden Währungen), dass sich die Anwendungen und Potenziale der Blockchain-Technologie stetig weiterentwickeln und eine Vielzahl an Bereichen durchdringen. Aus diesem Grund müssen Nachhaltigkeitsaspekte stets berücksichtigt werden und der Blick nicht nur auf bestehende, bereits „etablierte“ bzw. anerkannte Anwendungsbereiche in herkömmlichen Industrien gerichtet werden, sondern auch Zukunftstrends und

neue, entstehende Märkte gleichermaßen berücksichtigt werden, um Blockchain im Kontext von Nachhaltigkeit ganzheitlich zu bewerten.

7.3 Ableitung von Handlungsoptionen

Die oben dargestellte SWOT-Analyse, aber auch die kurze Skizzierung aktueller Trends zeigen, dass die Blockchain-Technologie in vielen Bereichen und Aspekten in Bezug auf ihren Beitrag zur Nachhaltigkeit, aber auch in Bezug auf ihre eigene Nachhaltigkeit bewertet werden sollte. Die im Rahmen der Expertise entwickelten Handlungsoptionen sind als Leitplanken (auf Basis der am 25. Oktober 2021 mit den Expertinnen und Experten erarbeiteten Schwächen und Risiken) zu verstehen: Darüber hinaus bedarf es gezielter Handlungsempfehlungen für die jeweiligen spezifischen Anwendungsbereiche und Domänen der Blockchain-Technologie. Die vorliegende Kurzstudie adressiert insbesondere Handlungsoptionen allgemeinerer Natur, die sich auf zukünftige Forschungsbedarfe aber auch auf die Ausgestaltung neuer Leuchtturmprojekte fokussieren:

1. Entwicklung und praxistaugliche Validierung von geeigneten Methoden und Kennzahlen zur Bewertung der Nachhaltigkeit von Blockchain-Lösungen im unternehmerischen Einsatz.

- a. Aufbau und Förderung von Blockchain-Konsortien, die entlang ausgewählter Anwendungsfälle geeignete **Bewertungsmethoden** erproben (z. B. entlang des Anwendungsbeispiels papierbasierte Dokumentationen entlang von Zoll- oder anderen Logistikprozessen).
- b. Auslegung der 17 SDG für Unternehmen und Entwicklung eindeutiger zuordenbarer Ziele. Bei der Bewertung des CO₂-Fußabdrucks muss der Strommix, die Transaktionsrate und ein praktikablerer **Fokus auf den CO₂-Ausstoß** statt ausschließlich die eingesetzte Energie berücksichtigt werden.
- c. Der **CO₂-Ausstoß** ist zudem auch im Kontext der angestrebten Nutzeneffekte (ökonomisch,

ökologisch, gesellschaftlich) zu bewerten, da bei entsprechendem Nutzen, wie bei jeder anderen Technologie auch, ein gewisser Energieverbrauch und CO₂-Ausstoß zu akzeptieren ist.

- d. Nicht nur eine ökonomische und ökologische Bewertung, sondern auch eine **soziale Bewertung** sollte mitgedacht werden: z. B. Sicherheit der Mitarbeitenden durch Vermeidung von Wegen auf dem Betriebsgelände etc.
 - e. **Kommunikation von Best-Practices**, Entwicklung von Vorgehensmodellen und zielgruppengerechte Aufbereitung von **Leitfäden zur Bewertung** der Nachhaltigkeit von Blockchain-Lösungen sowie deren Beitrag zur Nachhaltigkeit.
 - f. Prüfung, inwiefern neue Indikatoren und Berechnungsgrundlagen auch zur **Unternehmensbewertung und in Accounting-Systemen** herangezogen werden können (Nachhaltigkeit als Wert) und Abstimmung mit Standardisierungsgremien und bestehenden Richtlinien (z. B. W3C, ISO etc.).
 - g. Forschungsseitige Weiterentwicklung und Bewertung der Nachhaltigkeit von Blockchain-Systemen sowie (Weiter-)Entwicklung und Prüfung von (neuen) **Konsensverfahren**.
 - h. Öffentlich zugängliche und unabhängige Bewertungen und Kennzahlen zur Nachhaltigkeit von Blockchain-Lösungen („**Nachhaltigkeits-Siegel**“). Zudem ist eine **steuerliche Begünstigung** von ressourcenschonenden Blockchain-Lösungen denkbar.
- #### 2. Ausbau und Förderung von Anwendungsfällen entlang von Supply Chains mit Fokus auf Geschäftsmodellentwicklung, Anreizmechanismen und dem Zusammenspiel von IoT und künstlicher Intelligenz in digitalen Ökosystemen.
- a. Praxistaugliche Prüfung entlang von komplexen (Daten-)Ökosystemen, wie anreizkompatible Revenue-Sharing-Mechanismen implementiert

werden können. Dabei insbesondere Untersuchung der Marktfähigkeit sowie Akzeptanz der Supply Chain Teilnehmenden (z. B. entlang digitaler Produktpässe). Ebenso Berücksichtigung und Förderung von Geschäftsmodellanalysen im Sinne einer Verstetigung der geförderten Use Cases.

- b.** Schaffung von **Experimentierräumen** für Unternehmen und Forschende, aber auch Bürger und Bürgerinnen, in denen das Zusammenspiel zwischen IoT-Devices, künstlicher Intelligenz, 5G-Netzen und Blockchain-Technologien im Kontext Nachhaltigkeit erprobt und veranschaulicht wird (z. B. dezentrale Peer-to-Peer-Grids, oder blockchain-basierter E-Frachtbrief) mit Schwerpunkt auf Überführung in die Praxis und Anwendung.
- c.** Untersuchung und Ausweitung der Forschung im Bereich Blockchain-Netzwerke als **sozio-technische Systeme**: Dabei sollte untersucht werden, inwieweit Menschen und Devices sinnvoll in Blockchain-Anwendungsfälle als **Oracles** eingebunden werden können. Zudem muss untersucht werden, wie Fehlanreize vermieden werden können und eine entsprechende Qualitätssicherung sowohl durch den Einbezug von Technologien wie auch durch entsprechende Geschäftsmodelle erfolgen kann. Dazu gehört auch die Einbindung und Entwicklung von Smart Contracts als entsprechende Logikbrücken und Überprüfungsinstanz.
- d.** Wissenschaftliche Untersuchung und Beobachtung von **Endkonsumentenverhalten und Integration von Endverbrauchenden** in Supply Chains in ausgewählten Anwendungsfällen (z. B. im Bereich der Food Supply Chain). Dadurch Demonstration der Nutzerakzeptanz und deren Sicherstellung durch neue Erlösströme und verbesserte Rückführung (z. B. bei Elektronikgeräten, Batterien, Möbeln). Daraus kann eine Ableitung von Best-Practices und geeigneter Geschäftsmodell- und Marketingstrategien sowie Vermeidungsmechanismen von Greenwashing erfolgen.

- e.** Vorantreiben der **Standardisierungsbemühungen** und Schnittstellen in internationalen Ökosystemen (z. B. GAIA-X und Industrial Data Spaces) sowie Integration von Blockchain-Applikationen.

3. Fokus auf Minimum Sellable Products und Aufbau von verstetigenden komplementären Ökosystemen im Kontext von Leuchtturmprojekten im Bereich Blockchain und Nachhaltigkeit sowie Förderung von Open-Source-Software als öffentliches Gut.

- a.** Bei der Gestaltung neuer Förderinitiativen zum Aufbau von Leuchtturmprojekten Berücksichtigung eines Verstetigungskonzeptes im Hinblick auf ein Minimum Sellable Product (nicht nur Minimum Viable Product). Dabei sind relevante Themenbereiche:
 - ▶ Circular Economy
 - ▶ Verkehrssektor
 - ▶ Energiesektor
 - ▶ Finanzsektor
 - ▶ Lebensmittelindustrie
 - ▶ Landwirtschaft
 - ▶ IoT-Geräte
- b.** Aufbau **komplementärer Dienstleisterökosysteme** (z. B. IT-Partner) im Rahmen von geförderten Projekten, um entwickelte Dienstleistungen z. B. für kleine und mittlere Unternehmen anzubieten. Dabei Berücksichtigung und Entwicklung von Geschäftsmodellen für beteiligte Akteure (als Bestandteil der Förderung und im Einklang mit geltendem oder neu ausgelegtem Beihilferecht).
- c.** Bereitstellung von nicht wettbewerbsverzerrenden **Open-Source-Software- und Hardware-Lösungen** als Entwicklungsergebnisse öffentlich geförderter Projekte und dadurch möglichst breite Verstetigung sowie de-facto-Standardisierung im Bereich Blockchain und Nachhaltigkeit. Insbesondere Hardware, die

sich durch ein nachhaltiges bzw. ökologisch effizientes Design und eine Langlebigkeit z. B. im Bereich der Smart Devices auszeichnet, sollte als Open-Source-Hardware zur Verfügung stehen. Dabei auch Berücksichtigung des Community-Aufbaus und Verstärkung des Ökosystems.

d. Öffentliche Hand und Verwaltung als Vorreiterrolle: Ausbau und Kommunikation von blockchain-basierten Verwaltungsprojekten im Bereich Nachhaltigkeit (z. B. Einsparung oder Reduktion des CO₂-Fußabdrucks durch Projekte im Bereich der digitalen Zertifizierung).

4. Expertise und Kompetenzen ausbauen, Forschungstrends zentral platzieren sowie Schaffung einer zentralen Anlaufstelle und Koordination für Blockchain-Themen auf Bundesebene.

a. Schaffung einer zentralen, **ministeriumsübergreifenden Anlauf- und Koordinierungsstelle** für Blockchain-Themen zur verbesserten internen sowie externen Koordination und dem Austausch von Expertise im Bereich Blockchain-Technologie. Dadurch gegenseitige Bereicherung von geförderten Vorhaben und Austausch, höhere Sichtbarkeit und verbesserte Kontaktaufnahme und Angebotsbereitstellung für Unternehmen. Ebenso erlaubt dies die **Bündelung der bereits bestehenden Blockchain-Initiativen** und Forschungsaktivitäten:

- i. Darin z. B. Bündelung von Blockchain-Projekten in einer **interaktiven Landkarte** mit Ansprechpartnern.
- ii. Bereitstellung von **Informationen und Aufklärungskampagnen**, um den bestehenden Wissenslücken und dadurch der mangelnden Akzeptanz und dem geringen Verständnis der Blockchain-Technologie für Nachhaltigkeit entgegenzuwirken („Blockchain ist nicht gleich Bitcoin“; „Transparenz bedeutet nicht, geistiges Kerneigentum offenzulegen“).

b. Verbesserte **Bewertung und Aufarbeitung internationaler Blockchain-Trends** und Verankerung in die aktuelle Forschungslandschaft sowie fachübergreifender Austausch. Dazu ist die Bildung eines interdisziplinären **„Blockchain-Fachrates für Nachhaltigkeit“** auf Bundesebene denkbar.

8 SCHLUSSBETRACHTUNGEN: DIE BLOCKCHAIN-TECHNOLOGIE IM KONTEXT DER NACHHALTIGKEIT

Im Rahmen der vorliegenden Kurzstudie wurde deutlich, dass von der Blockchain-Technologie signifikante Potenziale auf alle drei Dimensionen der Nachhaltigkeit ausgehen können: Ökologisch, ökonomisch und sozial. Aufgezeigt wurde dies anhand von drei ausgewählten Blockchain-Anwendungsfällen, welche exemplarisch für die (1) *Kreislaufwirtschaft*, das (2) *Supply Chain Management* und den (3) *Emissionshandel* stehen. Diese drei Anwendungsgebiete wurden in der im Rahmen des „Fachdialogs Blockchain“ durchgeführten Expertenkonsultation als besonders geeignet für die Unterstützung der Nachhaltigkeit durch den Einsatz von Blockchain-Lösungen eingestuft („Blockchain for Good“). So kann Blockchain bspw. als Enabler für doppelbuchungsfreie CO₂-Accountingsysteme im tokenisierten Emissionshandel dienen oder durch stark verbessertes Tracking und Tracing im Supply Chain Management zum einen zu einer signifikanten Verbesserung der Ressourceneffizienz beitragen und zum anderen durch eine Erhöhung der Transparenz dafür sorgen, dass soziale und ökologische Produktionsbedingungen offengelegt werden.

Um diese Potenziale in größerem Umfang zu realisieren, sind jedoch zum gegenwärtigen Entwicklungsstand der Blockchain-Technologie noch einige Herausforderungen zu lösen. Dies gilt beispielsweise für die Rolle von Oracles und den damit verbundenen Ursprung und der Echtheit der Daten in komplexen Lieferketten. Insbesondere im Hinblick auf die soziale Dimension der Nachhaltigkeit stellen sich hier Herausforderungen, da der Nachweis von sozialer Nachhaltigkeit selten vollständig technologisiert werden, also bspw. nicht ausschließlich durch Sensoren erfasst werden kann (bspw. für den Nachweis, dass ein Produkt ohne Kinderarbeit entstanden ist). Folglich besteht hier weiterhin eine Manipulationsgefahr durch den Faktor Mensch. Die passende

Ausgestaltung der Oracles im Hinblick auf Anreiz- und Kontrollsystemen ist in diesen Fällen von hoher Bedeutung und bedarf weiterer Forschung.

Neben den technischen Faktoren zur Realisierung der Potenziale der Blockchain-Technologie zur Steigerung der Nachhaltigkeit sollte auch der Zeitfaktor nicht außer Betracht gelassen werden: Je schneller die noch bestehenden technischen Herausforderungen gelöst werden und je schneller die Diffusion der Technologie in die Breite der Wirtschaft erfolgt, desto eher können die mit der Blockchain-Technologie verbundenen Potenziale zur Steigerung der Nachhaltigkeit realisiert werden und desto zeitnaher können folglich die gesetzten Nachhaltigkeitsziele erreicht werden. Ein möglicher Weg zur schnelleren Diffusion der Technologie und der Lösung noch bestehender (technischer) Herausforderungen, besteht darin, an einer Verstetigung von bereits bestehenden oder aber auch neu aufgesetzten Blockchain-Leuchtturmprojekten zu arbeiten. Für eine Verstetigung von aktuellen aber auch zukünftigen Leuchtturmprojekten sollte der Fokus daher in Zukunft auf dem „*Minimum Sellable Product*“ und nicht nur auf dem „*Minimum Viable Product*“ liegen. Zudem sollte im Sinne einer schnelleren Diffusion darauf geachtet werden, dass die Bereitstellung Open-Source-Software und Hardware in Form von Open-Source-Lizenzen im Vordergrund von öffentlich geförderten Entwicklungsprojekten steht.

Neben der Realisierung der Potenziale von „Blockchain for Good“ sollte jedoch nicht die Frage nach der Nachhaltigkeit der *Blockchain-Lösungen an sich* aus dem Blickfeld verschwinden. Maßgeblich hierfür ist der jeweilige Ressourcenverbrauch der Blockchain-Lösung, wobei hier neben der Energieintensität des Konsensmechanismus auch die Transaktionsrate, die benötigte Hardware sowie der verwendete Strommix Berücksichtigung finden sollten. Forschungsbedarf

besteht darin, geeignete belastbare Indikatoren zur Beurteilung der Nachhaltigkeit einer Blockchain-Lösung zu entwickeln. Dies ist eine komplexere Aufgabe, da der Ressourcenintensität auch immer der anwendungsfallspezifische Nutzen der verwendeten Lösung gegenübergestellt werden sollte. Beispielsweise kann bei einer blockchain-basierten Finanztransaktion aufgrund des erforderlichen Sicherheitsniveaus eine höhere Ressourcenintensität gerechtfertigt sein, als bei anderen Anwendungsszenarien. Sollte es gelingen, belastbare Indikatoren zur Beurteilung der Nachhaltigkeit einer Blockchain-Lösung zu entwickeln, sind eine Art „Nachhaltigkeits-Siegel“ für Blockchain-Lösungen sowie eine steuerliche Begünstigung von nachhaltigen Blockchain-Lösungen denkbare öffentliche Maßnahmen zur Förderung der Verbreitung von nachhaltigen Blockchain-Lösungen. Die verlässliche Beurteilung und entsprechende mögliche Zertifizierung von Blockchain-Systemen ist insbesondere im Hinblick auf neu entstehende Märkte und Anwendungsszenarien, die klassische Supply Chain Fragestellungen bei

weitem übersteigen, z. B. im Bereich des Kunstmarktes, im privaten Gamingbereich oder Finanzbereich notwendig, um entscheidende Weichen für eine nachhaltige, kommende „Token-Ökonomie“ zu stellen.

Zusammenfassend lässt sich konstatieren, dass von der Blockchain-Technologie signifikante Chancen ausgehen, Nachhaltigkeitsziele sowohl in ökologischer, ökonomischer als auch sozialer Hinsicht zu verfolgen und diese auch schneller und einfacher zu erreichen, als mit herkömmlichen Lösungen. Nichtsdestotrotz besteht insbesondere im Hinblick auf das Thema Oracles als auch mit Blick auf geeignete Indikatoren zur Beurteilung der Nachhaltigkeit von *Blockchain-Lösungen an sich* Forschungsbedarf. Zudem entstehen durch immer neue Anwendungsfelder und Märkte neue Fragestellungen und Herausforderungen, im Hinblick auf die Frage der Nachhaltigkeit. Sollte es gelingen, diese noch bestehenden Herausforderungen zu lösen, kann die Blockchain-Technologie ihr volles Potenzial zur Unterstützung einer nachhaltigeren Wirtschaft und Gesellschaft entfalten.

9 LITERATURVERZEICHNIS

- adelphi; Öko-Institut (2021): Voluntary offsetting: credits and allowances. Unter Mitarbeit von Baran Doda, Stephanie La Hoz Theuer, Martin Cames, Sean Healy und Lambert Schneider. Hg. v. Umweltbundesamt. Berlin.
- Adisorn, Thomas; Tholen, Lena; Götz, Thomas (2021): Towards a Digital Product Passport Fit for Contributing to a Circular Economy. In: *Energies* 14 (8), S. 2289. DOI: 10.3390/en14082289.
- Algorand (2021): Climatrade. Environmental, Digital Assets. Online verfügbar unter <https://www.algorand.com/ecosystem/use-cases/climatrade>, zuletzt geprüft am 03.10.2021.
- Analytics Steps (2021): Impact of Blockchain and Cryptocurrency on Gambling Industry. On-line verfügbar unter <https://www.analyticssteps.com/blogs/impact-blockchain-and-cryptocurrency-gambling-industry>, zuletzt geprüft am 15.12.2021.
- Anouche, Mohamed; Boumaaz, Younes (2020 - 2020): The potential of the blockchain for coordinated border management in developing countries. In: 2020 IEEE 13th International Colloquium of Logistics and Supply Chain Management (LOGISTIQUA). 2020 IEEE 13th International Colloquium of Logistics and Supply Chain Management (LOGISTIQUA). Fez, Morocco, 02.12.2020 - 04.12.2020: IEEE, S. 1-7.
- Berg, Holger; Kullina, Raik; Stöcker, Carsten; Guth-Orlowski, Susanne; Thiermann, Ricky; Porepp, Nathalie (2021): Overcoming Information Asymmetry in the Plastics Value Chain with Digital Product Passports. How decentralized identifiers and verifiable credentials can enable a plastics circular economy. Online verfügbar unter <https://githubmemory.com/repo/Spherity/product-pass>.
- Bitkom e.V. (2020a): Fast 3 von 10 Unternehmen kompensieren CO2-Emissionen. Online verfügbar unter <https://www.bitkom.org/Presse/Presseinformation/Fast-3-von-10-Unternehmen-kompensieren-CO2-Emissionen>, zuletzt geprüft am 01.10.2021.
- Bitkom e.V. (2020b): Self Sovereign Identity Use Cases - von der Vision in die Praxis. Berlin.
- Blaha, Francisco; Katafono, Kenneth (2020): Blockchain Application in Seafood Value Chains. Rom: FAO.
- BMW-Group (2020): BMW Group treibt mittels Einsatz von Blockchain die Lieferketten-Transparenz weiter voran. Online verfügbar unter <https://www.press.bmwgroup.com/deutschland/article/detail/T0307164DE/bmw-group-treibt-mittels-einsatz-von-blockchain-die-lieferketten-transparenz-weiter-voran?language=de>, zuletzt geprüft am 07.04.2021.
- Brundtland, G. (1987): Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future. Hg. v. United Nations General Assembly (A/42/427).
- BTC Echo (2021): Was kommt nach dem Hype um NFT-Collectibles? Online verfügbar unter <https://www.btc-echo.de/news/was-kommt-nach-dem-hype-um-nft-collectibles-125143/>, zuletzt geprüft am 15.12.2021.
- Bundesministerium der Finanzen (2019): Krypto-Token und die Distributed-Ledger-Technologie - ein finanzmarktbezogener Überblick. Monatsbericht des BMF Juni 2019.
- Bundesministerium für Bildung und Forschung (2021a): DIBICHAIN - Digitales Abbild von Kreislaufsystemen mittels Blockchaintechnologie. Online verfügbar unter <https://innovative-produktkreislaeufe.de/Projekte/DIBICHAIN.html>, zuletzt geprüft am 16.12.2021.
- Bundesministerium für Bildung und Forschung (2021b): Wie das Kopernikus-Projekt ENSU-RE das Stromnetz der Zukunft entwickelt. Online verfügbar unter <https://www.kopernikus-projekte.de/projekte/ensure>, zuletzt geprüft am 16.12.2021.
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (2020): Umweltpolitische Digitalagenda.
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (2021a): Emissionshandel. Kurzinfo. Online verfügbar unter <https://www.bmu.de/themen/klimaschutz-angepasst/klimaschutz/emissionshandel#:~:text=Der%20Emissionshandel%20ist%20ein%20marktwirtschaftliches,Gruppe%20insgesamt%20ausgesto%C3%9Fen%20werden%20d%C3%BCrfen.,> zuletzt geprüft am 30.09.2021.
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (2021b): Internationale Kooperation unter Artikel 6. Online verfügbar unter <https://www.carbon-mechanisms.de/grundlagen/das-uebereinkommen-von-paris-und-dessen-artikel-6>, zuletzt geprüft am 02.10.2021.
- Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2021a): Förderprogramm SINTEG: "Schau-fenster intelligente Energie - Digitale Agenda für die Energiewende". Online verfügbar unter <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Artikel/Energie/sinteg.html>, zuletzt geprüft am 16.12.2021.
- Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2021b): SINTEG. Online verfügbar unter <https://www.sinteg.de/>, zuletzt geprüft am 16.12.2021.
- Bundesministerium für Wirtschaft und Energie; Bundesministerium der Finanzen (2019): Blockchain-Strategie der Bundesregierung. Hg. v. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie und Bundesministerium der Finanzen. Online verfügbar unter https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Digitale-Welt/blockchain-strategie.pdf?__blob=publicationFile&v=22.
- Cagigas, Diego; Clifton, Judith; Diaz-Fuentes, Daniel; Fernandez-Gutierrez, Marcos (2021): Blockchain for Public Services: A Systematic Literature Review. In: *IEEE Access* 9, S. 13904-13921. DOI: 10.1109/ACCESS.2021.3052019.
- Caldarelli, Giulio; Rossignoli, Cecilia; Zardini, Alessandro (2020): Overcoming the Blockchain Oracle Problem in the Traceability of Non-Fungible Products. In: *Sustainability* 12 (6), S. 2391. DOI: 10.3390/su12062391.

- carbonfuture (2021): Carbon removal you can trust. Online verfügbar unter <https://www.carbonfuture.earth/de/start>, zuletzt geprüft am 03.10.2021.
- Chapiro, Cecilia (2021): Leveraging Blockchain for Financial Inclusion. Hg. v. UNICEF Office of Innovation. Online verfügbar unter <https://www.unicef.org/innovation/InnovationFund/blockchain-financial-inclusion-cohort>.
- Chohan, Usman W. (2019): Blockchain & Environmental Sustainability. Case of IBMs Block-chain Water Management.
- Christie's (2021): Beeple's opus. Online verfügbar unter <https://www.christies.com/features/Monumental-collapse-by-Beeple-is-first-purely-digital-artwork-NFT-to-come-to-auction-11510-7.aspx>, zuletzt geprüft am 16.12.2021.
- Chueca Vergara, Cristina; Ferruz Agudo, Luis (2021): Fintech and Sustainability: Do They Affect Each Other? In: Sustainability 13 (13), S. 7012. DOI: 10.3390/su13137012.
- Circular Economy Initiative Deutschland (Hg.) (2021): Circular Economy Roadmap für Deutschland. Unter Mitarbeit von S. Kadner, J. Kobus, E. Hansen, S. Akinci, P. Elsner, C. Hagelüken et al. München/London.
- Climatrade (2021): Offset your carbon footprint. Online verfügbar unter <https://climatrade.com/about-us/>, zuletzt geprüft am 03.10.2021.
- Coinbase (2021): Was ist Staking? Online verfügbar unter <https://www.coinbase.com/de/learn/crypto-basics/what-is-staking#how-does-staking-work>.
- Corusa, Andreas; Predel, Johannes; Schöne, Nikolas (2020): Eine Marktübersicht der Block-chain in der Energiewirtschaft. Unter Mitarbeit von Technische Universität Berlin.
- Deloitte (2021): Zirkuläre Wirtschaft. Herausforderungen und Chancen für den Industrie-standort Deutschland. Hg. v. Bundesverband der Deutschen Industrie e. V. (BDI).
- Deutscher Bundestag (16.07.2021): Gesetz über die unternehmerischen Sorgfaltspflichten in Lieferketten. Lieferkettensorgfaltspflichtengesetz - LkSG. In: Bundesgesetzblatt 2021, Teil I (46).
- Die Bundesregierung (2020): Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie. Weiterentwicklung 2021. Berlin.
- Dixon, Denelle (2020): How Blockchain Can Be Used to Promote Gender Equality. Hg. v. CoinDesk. Online verfügbar unter <https://www.coindesk.com/markets/2020/03/08/how-blockchain-can-be-used-to-promote-gender-equality/>.
- Dogo, Eustace M.; Femi Salami, Abdulazeez; Nwulu, Nnamdi I.; Aigbavboa, Clinton O. (2019): Blockchain and Internet of Things-Based Technologies for Intelligent Water Management System. In: Fadi Al-Turjman (Hg.): Artificial Intelligence in IoT. Cham: Springer International Publishing, S. 129-150.
- Ehrhardt, Mischa; Finthammer, Volker; Wilde, Wulf (2021): Was im neuen Lieferkettengesetz steht – und was nicht. Hg. v. Deutschlandfunk. Online verfügbar unter https://www.deutschlandfunk.de/sozial-und-umweltstandards-was-im-neuen-lieferkettengesetz.2897.de.html?dram:article_id=492469.
- Ehrlich, Tobias; Richter, Daniel; Meisel, Michael; Anke, Jürgen (2021): Self-Sovereign Identity als Grundlage für universell einsetzbare digitale Identitäten. In: HMD 58 (2), S. 247-270. DOI: 10.1365/s40702-021-00711-5.
- Enquete-Kommission (1998): Konzept Nachhaltigkeit. Vom Leitbild zur Umsetzung. Hg. v. Deutscher Bundestag.
- Europäische Kommission (2019): Der europäische Grüne Deal. COM(2019) 640 final. Brüssel. Online verfügbar unter https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:b828d165-1c22-11ea-8c1f-01aa75ed71a1.0021.02/DOC_1&format=PDF, zuletzt geprüft am 28.09.2021.
- Europäische Kommission (2020a): Batterien in der EU sollen nachhaltiger werden. Online verfügbar unter https://ec.europa.eu/germany/news/20201210-batterien-der-eu_de#:~:text=Seit%202006%20werden%20Batterien%20und,eine%20Modernisierung%20des%20Rechtsrahmens%20erforderlich, zuletzt geprüft am 29.09.2021.
- Europäische Kommission (2020b): Ein neuer Aktionsplan für die Kreislaufwirtschaft. Für ein saubereres und wettbewerbsfähigeres Europa. Luxemburg. Online verfügbar unter <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/45cc30f6-cd57-11ea-adf7-01aa75ed71a1/language-en/format-PDF/source-170854112>, zuletzt geprüft am 28.09.2021.
- Europäische Kommission (2021): Blockchain for climate action. Online verfügbar unter <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/blockchain-climate-action>, zuletzt geprüft am 03.10.2021.
- Europäische Zentralbank (2021): A digital Euro. Online verfügbar unter https://www.ecb.europa.eu/paym/digital_euro/html/index.en.html, zuletzt geprüft am 16.12.2021.
- Europäisches Parlament (10.03.2021): Corporate due diligence and corporate accountability. European Parliament resolution of 10 March 2021 with recommendations to the Commission on corporate due diligence and corporate accountability (2020/2129(INL)).
- Fatz, Filip; Hake, Philip; Fettke, Peter (2020): Blockchain-Nutzung im Steuerbereich. In: Hans-Georg Fill und Andreas Meier (Hg.): Blockchain, Bd. 55. Wiesbaden: Springer Fach-medien Wiesbaden (Edition HMD), S. 149-170.
- Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH (2021): Blockchain. Blockchain Lab. Online verfügbar unter <https://www.giz.de/fachexpertise/html/61215.html>, zuletzt geprüft am 16.12.2021.
- Gold Standard (2021): A higher standard for a climate secure and sustainable world. Online verfügbar unter <https://www.goldstandard.org/>, zuletzt geprüft am 01.10.2021.
- Götz, T.; Adisorn, T.; Tholen, L. (2021): Der Digitale Produktpass als PolitikKonzept (Wuppertal Report Nr. 20). Wuppertal Institut.
- Grech, Alexander; Camilleri, Anthony F. (2017): Blockchain in Education. JRC Science for Policy Report. Unter Mitarbeit von Andrea Inamorato dos Santos. Hg. v. European Union.

- Hatzivasilis, George; Ioannidis, Sotiris; Fysarakis, Konstantinos; Spanoudakis, George; Pa-padakis, Nikos (2021): The Green Blockchains of Circular Economy. In: *Electronics* 10 (16), S. 2008. DOI: 10.3390/electronics10162008.
- Herweijer, Celine; Waughray, Dominic; Warren, Sheila (2018): *Building block(chain)s for a better planet*. Hg. v. pwc.
- Hillemann, Dennis; Suchrow, Martin (2021a): Das neue Lieferkettengesetz: Eine Chance für die Blockchain-Technologie (Teil I). Hintergrund und Inhalt des Lieferkettengesetzes. In: *Legal Revolution Zeitschrift*, S. 52-57.
- Hillemann, Dennis; Suchrow, Martin (2021b): Das neue Lieferkettengesetz: Eine Chance für die Blockchain-Technologie (Teil II). Anwendungsmöglichkeiten von Blockchain bei der Erfüllung der Anforderung des Lieferkettengesetzes. In: *Legal Revolution Zeitschrift*, S. 77-85.
- Hinckeldeyn, Johannes (2019): *Blockchain-Technologie in der Supply Chain*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Hingorani, Ishwarlal; Khara, Rushabh; Pomendkar, Deepika; Raul, Nataasha (2020): Police Complaint Management System using Blockchain Technology. In: *2020 3rd International Conference on Intelligent Sustainable Systems (ICISS)*. 2020 3rd International Conference on Intelligent Sustainable Systems (ICISS). Thoothukudi, India, 03.12.-05.12.2020: IEEE, S. 1214-1219.
- Holotescu, Carmen; Holotescu, Victor (2019): *Blockchain in Culture*. Timisoara, 13.12.2019.
- Holst, Alexander; Chlebowsky, Boris von; Zacharias, Fabian; Wiese, Lukas G.; Goel, Shruti; Reulecke, Leonie et al. (2021): *Klimaeffekte der Digitalisierung. Studie zur Abschätzung des Beitrags digitaler Technologien zum Klimaschutz*. Hg. v. Bitkom e. V.
- Imeri, Adnan; Khadraoui, Djamel (2018 - 2018): The Security and Traceability of Shared Information in the Process of Transportation of Dangerous Goods. In: *2018 9th IFIP International Conference on New Technologies, Mobility and Security (NTMS)*. 2018 9th IFIP International Conference on New Technologies, Mobility and Security (NTMS). Paris, 26.02.2018 - 28.02.2018: IEEE, S. 1-5.
- Jakob, Sabine; Schulte, Axel T.; Sparer, Dominik; Koller, Roman; Henke, Michael (2018): *Blockchain und Smart Contracts: Effiziente und sichere Wertschöpfungsnetzwerke*. Unter Mitarbeit von Michael ten Hompel, Michael Henke und Uwe Clausen.
- KfW (2021): „Tru wie trusted“. Online verfügbar unter <https://www.kfw-entwicklungsbank.de/Internationale-Finanzierung/KfW-Entwicklungsbank/Unsere-Themen/SDGs/SDG-9/TruBudget/>, zuletzt geprüft am 16.12.2021.
- Kreibich, Nicolas; Hermwille, Lukas (2020): Caught in between: Credibility and Feasibility of the Voluntary Carbon Market post-2020. In: *JIKO Policy Paper* (03).
- Kshetri, Nir (2017): Potential roles of blockchain in fighting poverty and reducing financial exclusion in the global south. In: *Journal of Global Information Technology Management* (4), S. 201-204. DOI: 10.1080/1097198X.2017.1391370.
- Kunde, Elke; Kaulartz, Markus; Ben Naceur, Med Ridha; Liban, Samater; Kunz, Matthias; Skwarek, Volker et al. (2017): *Blockchain und Datenschutz. Faktenpapier*. Hg. v. Bitkom e.V. Online verfügbar unter <https://www.bitkom.org/sites/default/files/file/import/180502-Faktenpapier-Blockchain-und-Datenschutz.pdf>, zuletzt geprüft am 11.04.2021.
- Kurpjuweit, Stefan; Schmidt, Christoph G.; Klöckner, Maximilian; Wagner, Stephan M. (2021): Blockchain in Additive Manufacturing and its Impact on Supply Chains. In: *J Bus Logist* 42 (1), S. 46-70. DOI: 10.1111/jbl.12231.
- Marchant, Natalie (2021): Playing a game on your phone could help save endangered species. Here's how. Hg. v. World Economic Forum. Online verfügbar unter <https://www.weforum.org/agenda/2021/02/smart-phone-game-conservation-endangered-species/>.
- Mika, Bartek; Goudz, Alexander (2021): Blockchain-technology in the energy industry: block-chain as a driver of the energy revolution? With focus on the situation in Germany. In: *Energy Syst* 12 (2), S. 285-355. DOI: 10.1007/s12667-020-00391-y.
- Moro-Visconti, Roberto; Cruz Rambaud, Salvador; López Pascual, Joaquín (2020): Sustainability in FinTechs: An Explanation through Business Model Scalability and Market Valuation. In: *Sustainability* 12 (24), S. 10316. DOI: 10.3390/su122410316.
- Musamih, Ahmad; Salah, Khaled; Jayaraman, Raja; Arshad, Junaid; Debe, Mazin; Al-Hammadi, Yousof; Ellahham, Samer (2021): A Blockchain-Based Approach for Drug Traceability in Healthcare Supply Chain. In: *IEEE Access* 9, S. 9728-9743. DOI: 10.1109/ACCESS.2021.3049920.
- Namasudra, Suyel; Deka, Ganesh Chandra (Hg.) (2021): *Applications of Blockchain in Healthcare*. Singapore: Springer Singapore (83).
- Narayan, Romy; Tidström, Annika (2020): Tokenizing cooperation in a blockchain for a transition to circular economy. In: *Journal of Cleaner Production* 263 (1), S. 121437. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.121437.
- Oliveira, Luis; Zavolokina, Liudmila; Bauer, Ingrid; Schwabe, Gerhard (2018): *To Token or not to Token: Tools for Understanding Blockchain Tokens*.
- Pandian, Ganesamoorthy; Narayanasamy, Ganga; Sundaram, Shankar (2020): *Next-Gen Industrial Water Pollution Control. Blockchain and IoT for Waste Water Management*.
- Pufé, Iris (2017): *Nachhaltigkeit. 3., überarbeitete und erweiterte Auflage*. Konstanz, München: UVK Verlagsgesellschaft mbH mit UVK/Lucius (utb, 8705).
- Quartz Media (2021): *The carbon footprint of creating and selling an NFT artwork*. Unter Mitarbeit von Erin Davis. Online verfügbar unter <https://qz.com/1987590/the-carbon-footprint-of-creating-and-selling-an-nft-artwork/>, zuletzt geprüft am 15.12.2021.
- Ramesohl, Stephan; Lauten-Weiss, Julian; Kobiela, Georg (2021): *Blockchains nachhaltig gestalten: Vorschlag von nachhaltigkeitsorientierten Entscheidungskriterien und eines Verfahrens konzepts für die Umsetzung staatlich geförderter oder initiiert Projekte im Bereich Blockchain; Kurzstudie im Rahmen des Vorhabens "Umwelt und Digitalisierung" des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU)*. Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie. Wuppertal (Wuppertal Report).

- Rat für Nachhaltige Entwicklung; Leopoldina (2021): Klima-neutralität. Optionen für eine ambitionierte Weichenstellung und Umsetzung. Positionspapier.
- Referat Wirtschaft und Menschenrechte (Hg.) (2020): Monitoring des Umsetzungsstandes der im Nationalen Aktionsplan Wirtschaft und Menschenrechte 2016-2020 beschriebenen menschenrechtlichen Sorgfaltspflicht von Unternehmen. Abschlussbericht. Auswärtiges Amt.
- Reitemeier, Arnd; Schanbacher, Ansgar; Scheer, Tanja Susanne (2019): Nachhaltigkeit in der Geschichte. Göttingen: Göttingen University Press.
- Rivers, Martin L. (2021): How Bitcoin Can Fix Global Inequality, One Developing Nation At A Time. Hg. v. Forbes. Online verfügbar unter <https://www.forbes.com/sites/martinrivers/2021/06/15/how-bitcoin-can-fix-global-inequality-one-developing-nation-at-a-time/>.
- Sander, Philipp; Eickmanns, Benedikt Christian; Welp, Isabell (2021): Decentralized Finance Will Change Your Understanding Of Financial Systems. Hg. v. Forbes. Online verfügbar unter <https://www.forbes.com/sites/philippsander/2021/02/22/decentralized-finance-will-change-your-understanding-of-financial-systems/?sh=1e5cb30c5b52>, zuletzt geprüft am 16.12.2021.
- Schork, Christoph; Schreier, Birgit (2021): Das Lieferkettensorgfaltspflichtengesetz – Eine Herausforderung (auch) für die deutsche Automobilindustrie. In: Recht Automobil Wirtschaft, S. 74-80.
- Schwedische Reichsbank (2021): E-Krona. Online verfügbar unter <https://www.riksbank.se/en-gb/payments--cash/e-krona/>, zuletzt geprüft am 16.12.2021.
- Scruggs, Gregory (2018): How Blockchain and AI can help to protect the oceans. Hg. v. World Economic Forum. Online verfügbar unter <https://www.weforum.org/agenda/2018/12/blockchain-ai-hailed-as-new-tools-to-protect-high-seas/>.
- Statista (Hg.) (2019): Unternehmen in Deutschland: Anzahl der rechtlichen Einheiten in Deutschland nach Beschäftigtengrößenklassen im Jahr 2019. Daten aus dem statistischen Unternehmensregister (Statistisches Bundesamt).
- Stuermer, Matthias; Abu-Tayeh, Gabriel; Myrach, Thomas (2017): Digital sustainability: basic conditions for sustainable digital artifacts and their ecosystems. In: Sustain Sci 12 (2), S. 247-262. DOI: 10.1007/s11625-016-0412-2.
- Subramanian, Nachiappan; Chaudhuri, Atanu; Kayıkcı, Yaşanur (Hg.) (2020): Blockchain and Supply Chain Logistics. Cham: Springer International Publishing.
- Sunyaev, Ali; Kannengießler, Niclas; Beck, Roman; Treibmaier, Horst; Lacity, Mary; Kranz, Johann et al. (2021): Token Economy. In: Bus Inf Syst Eng 21 (11), S. 1461. DOI: 10.1007/s12599-021-00684-1.
- Teufel, Bernd; Sentic, Anton; Niemer, Tim; Hojcková, Kristina (2020): Transformation oder Disruption im Energiemarkt? In: Hans-Georg Fill und Andreas Meier (Hg.): Blockchain, Bd. 100. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden (Edition HMD), S. 259-284.
- The World Bank (2017): The Global Findex database. Online verfügbar unter <https://globalfindex.worldbank.org/>, zuletzt geprüft am 16.12.2021.
- Third, Allan; Quick, Kevin; Valentine, Chris; Bachler, Michelle; Domingue, John (2019): Blockchain and Education. Hg. v. European Union Blockchain Observatory and Forum. Knowledge Media Institute of the Open University.
- Tomaz, Antonio Emerson B.; Nascimento, José Cláudio do; Souza, José Neuman de (2021): Blockchain-based whistleblowing service to solve the problem of journalistic conflict of interest. In: Ann. Telecommun. DOI: 10.1007/s12243-021-00860-0.
- Turpitka, Dennis (2020): Five Challenges To Prepare For When Using Blockchain For Supply Chain Operations. Hg. v. Forbes Technology Council. Online verfügbar unter <https://www.forbes.com/sites/forbestechcouncil/2020/09/29/five-challenges-to-prepare-for-when-using-blockchain-for-supply-chain-operations/>.
- Umweltbundesamt (2021a): Der Europäische Emissionshandel. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/der-europaeische-emissionshandel#teilnehmer-prinzip-und-umsetzung-des-europaeischen-emissionshandels>, zuletzt geprüft am 01.10.2021.
- Umweltbundesamt (2021b): Die Handelsperiode 2021-2030. Online verfügbar unter https://www.dehst.de/DE/Europaeischer-Emissionshandel/Anlagenbetreiber/2021-2030/2021-2030_node.html#:~:text=Am%2001.01.2021%20beginnt%20die, die%20bis%20einschlie%C3%9Flich%202030%20dauert., zuletzt geprüft am 01.10.2021.
- UN World Food Programme (WFP) (Hg.) (2018): Was ist "Blockchain" und wie hilft die Technologie im Kampf gegen Hunger? Online verfügbar unter <https://de.wfp.org/stories/was-ist-blockchain-und-wie-hilft-die-technologie-im-kampf-gegen-hunger>.
- UNFCCC (Hg.) (2021): The Good, The Bad And The Blockchain. United Nations Framework Convention on Climate Change. Online verfügbar unter <https://unfccc.int/blog/the-good-the-bad-and-the-blockchain>.
- United Nations (2019): Global Sustainable Development Report 2019: The Future is Now – Science for Achieving Sustainable Development. Unter Mitarbeit von Independent Group of Scientists appointed by the Secretary-General. New York.
- Universität der Bundeswehr München (2021): NutriSafe. Online verfügbar unter <https://www.nutrisafe.de/>, zuletzt geprüft am 16.12.2021.
- Verra (2021): Standards for a Sustainable Future. Online verfügbar unter <https://verra.org/>, zuletzt geprüft am 01.10.2021.
- Weinberg, Bryan (2019): 14 Major Real Use Cases of Blockchain in Healthcare. Hg. v. OpenLedger. Online verfügbar unter <https://openledger.info/insights/blockchain-healthcare-use-cases/>.
- WWF (2021): Non-Fungible Animals. Online verfügbar unter <https://www.wwf-nfa.com/>, zuletzt geprüft am 15.12.2021.
- Zhou, Adelyn (2021): Blockchain can help us beat climate change. Here's how. Hg. v. World Economic Forum. Online verfügbar unter <https://www.weforum.org/agenda/2021/06/blockchain-can-help-us-beat-climate-change-heres-how/>.



Fachdialog

Blockchain

