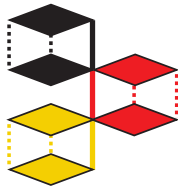


Fachdialog

Blockchain



FACHDIALOG BLOCKCHAIN

POTENZIALE DER BLOCKCHAIN- TECHNOLOGIE FÜR KLIMASCHUTZ UND ENERGIEWENDE

Kurzstudie im Auftrag des
Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz

Die vorliegende Kurzstudie „*Potenziale der Blockchain-Technologie für Klimaschutz und Energiewende*“ ist Teil des Fachdialogs Blockchain. Der Fachdialog Blockchain wird im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz durchgeführt. Beim Fachdialog handelt es sich um eine interdisziplinäre Studien- und Workshopreihe, welche auf die Blockchain-Strategie der Bundesregierung zurückgeht.

Mit der Durchführung des Fachdialogs Blockchain ist folgendes Projektteam beauftragt:

- ▶ **WIK-Consult** (Projektleitung)
- ▶ **Prof. Dr. Roman Beck** (Leiter des European Blockchain Centers)
- ▶ **European Blockchain Center an der IT University of Copenhagen**
- ▶ **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

Autorinnen und Autoren der Kurzstudie:
Christian Märkel (WIK-Consult)
Prof. Dr. Nico Wunderlich (ITU Copenhagen)
Martin Lundborg (WIK-Consult)
Martin Simons (WIK-Consult)
Prof. Dr. Roman Beck (ITU Copenhagen)
Prof. Dr. Dagmar Gesmann-Nuissl (TU Chemnitz)

Bildquelle (Titel): Terry-unsplash.com

März 2023

INHALT

Kurzfassung	2
Executive Summary	5
1 Einleitung	8
2 Ziele des Klimaschutzes und der Energiewende in Deutschland	10
3 Potenziale der Blockchain-Technologie zum Erreichen der Klimaschutz- und Energieziele	12
3.1 Potenziale der Blockchain im Emissionsmanagement	13
3.2 Potenziale der Blockchain im Energiesektor	16
3.3 Potenziale der Blockchain im Transparenz- und Nachhaltigkeitsmanagement	21
4 Unternehmensumfrage zur Einschätzung der Potenziale der Blockchain-Technologie zum Zwecke des Klimaschutzes und der Energiewende	24
4.1 Aufbau der Umfrage und Beschreibung der Stichprobe	24
4.2 Einschätzung der Potenziale der Blockchain-Technologie für den Klimaschutz und die Energiewende	28
4.3 Selbsteinschätzung der nachhaltigen Leistungsfähigkeit der Unternehmen mit Zusammenhangsanalyse zu den Einsatzfeldern der Blockchain-Technologie	31
4.4 Einschätzung öffentlicher Fördermaßnahmen und Ordnungsanreize mit Zusammenhangsanalyse zu den Einsatzfeldern der Blockchain-Technologie	36
4.5 Fazit zur Unternehmensumfrage	40
5 Handlungsfelder und daraus abgeleitete Handlungsoptionen	42
5.1 Handlungsfeld I: Verbraucher & Unternehmen sensibilisieren und unterstützen, um Anreize für blockchainbasierte Lösungen mit dem Ziel der Nachhaltigkeitssteigerung zu schaffen	42
5.2 Handlungsfeld II: Qualitätsstandards und Rechtssicherheit sicherstellen, um Vertrauen in nachhaltige Blockchain-Lösungen zu schaffen	44
5.3 Handlungsfeld III: Supranationale Strukturen und Zusammenarbeit stärken, um die Diffusion von blockchainbasierten Anwendungen für den Klimaschutz zu fördern und zu skalieren	47
6 Fazit	50
7 Literaturverzeichnis	52
8 Anhang	55

KURZFASSUNG

Die vorliegende Studie widmet sich den Potenzialen der Blockchain-Technologie zur Unterstützung des Klimaschutzes und der Energiewende. Im Fokus der Untersuchung stehen dabei die folgenden Fragen:

- ▶ Worin bestehen in den Bereichen des Energie-, Emissions- sowie im Transparenz- und Nachhaltigkeitsmanagement die Chancen als auch die Hindernisse des Einsatzes der Blockchain-Technologie?
- ▶ Wie schätzen Führungskräfte aus deutschen Unternehmen den Blockchain-Einsatz in den drei genannten Managementbereichen ein?
- ▶ Welche Handlungsoptionen stehen der öffentlichen Hand zur Verfügung, die dem Blockchain-Einsatz zum Zwecke des Klimaschutzes und der Energiewende dienlich sein können?

Die vorliegende Kurzstudie ist Teil des Fachdialogs Blockchain, der im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) durchgeführt wird. Bei dem Fachdialog Blockchain handelt es sich um eine modular aufgebaute interdisziplinäre Workshop- und Studienreihe. Das Schwerpunktthema Potenziale der Blockchain-Technologie zur Unterstützung des Klimaschutzes und der Energiewende bildet das vierte und vorerst abschließende Modul des Fachdialogs, nachdem in den drei vorangegangenen Modulen bereits die Themen [I] „Token-Ökonomie“, [II] „Nachhaltigkeit im Kontext der Blockchain-Technologie“ sowie [III] „Blockchain im Mittelstand“ adressiert wurden. Die vorliegende Studie fußt dabei u.a. auf den Erkenntnissen eines interdisziplinären ganztägigen Workshops mit ca. 50 Blockchain-Expertinnen und -Experten aus Wirtschaft, Wissenschaft und Verwaltung, welcher im Januar 2023 in virtueller Form stattgefunden hat, sowie auf einer Expertenkonsultation zu Beginn des Fachdialogs sowie einer Unternehmensbefragung unter 200 Führungskräften aus Blockchain-erfahrenen deutschen Unternehmen in energieintensiven Branchen, welche exklusiv für das vorliegende Modul im Fachdialog Blockchain durchgeführt wurde.

Status quo der Klimaschutz- und Energie-wendeziele in Deutschland

Will Deutschland die selbstgesteckten Ziele für das Jahr 2030 im Klimaschutz und der Energiewende erreichen, sind innovative Ansätze erforderlich. Die „Eröffnungsbilanz Klimaschutz“ des BMWK hat gezeigt, dass die bisher getroffenen Maßnahmen und eingeschlagenen Wege nicht ausreichend waren. Dies gilt sowohl für den Rückgang der Treibhausgasemissionen, für den Anteil erneuerbarer Energien am Stromverbrauch als auch für den Rückgang des Endenergieverbrauchs, um nur einige Beispiele zu nennen.

Es braucht innovative Lösungen, wie die Effektivität von Maßnahmen erhöht werden kann und wie Herausforderungen, welche durch die Transition zu einer klimaneutralen Wirtschaft entstehen, wie bspw. die Organisation eines dezentralen Energiemarkts, gelöst werden können. Dies ist eine Voraussetzung dafür, dass die im *European Green Deal* formulierte Vision einer nachhaltigen, resilienten und wettbewerbsfähigen Wirtschaft Wirklichkeit werden kann.

Potenziale der Blockchain-Technologie zum Erreichen der Ziele des Klimaschutzes und der Energiewende

Durch ihre dezentrale Architektur, der Möglichkeit zu einem verbesserten Tracking und Tracing sowie der automatisierten Abwicklung von Transaktionen hat die Blockchain-Technologie das Potenzial, zum Erreichen der Ziele im Klimaschutz sowie der Energiewende einen wertvollen Beitrag zu liefern.

Als Einsatzfelder der Technologie zum Zwecke des Klimaschutzes und der Energiewende lassen sich dabei vor allem folgende drei Bereiche identifizieren:

- ▶ Emissionsmanagement
- ▶ Energiemanagement
- ▶ Transparenz- und Nachhaltigkeitsmanagement

Im Bereich des *Emissionsmanagement* ergeben sich Anwendungsszenarien der Blockchain-Technologie sowohl im Europäischen Emissionshandelssystem (EU-ETS) als auch zur Abbildung des Carbon-Offsetting im Rahmen der „Voluntary Carbon Markets“ (VCM) oder auch des Carbon-Insetting.

Im Kontext des *Energiemanagements* besteht ein potenzieller Einsatzbereich der Blockchain-Technologie u.a. in der Abwicklung des P2P-Energiehandels. Darüber hinaus kann das Monitoring und die Nachverfolgung von Energie aus nachhaltiger Erzeugung durch den Einsatz von Blockchain erleichtert werden und es können blockchainbasierte Anreizsysteme geschaffen werden, die zu einem nachhaltigeren, saubereren Energieverbrauch führen und / oder dazu animieren, selbst als Energieerzeuger aufzutreten („Prosumer“).

Im Rahmen des *Transparenz- und Nachhaltigkeitsmanagements* kann der Einsatz von Blockchain-Technologie dazu beitragen, Allmendeproblematiken („Tragedy of the Commons“) zu überwinden oder zumindest abzumildern. Ebenso kann durch Blockchain der Gefahr der adversen Selektion vorgebeugt werden, insbes. dem Greenwashing als spezieller Form der adversen Selektion im Kontext von Klimaschutz und Energiewende.

Einschätzung der Potenziale der Blockchain-Technologie durch Führungskräfte deutscher Unternehmen

Die Auswertung der Unternehmensumfrage unter 200 Führungskräften deutscher Unternehmen mit Blockchain-Erfahrung deutet darauf hin, dass die **nachhaltige Leistungsfähigkeit der Unternehmen** (definiert als ökonomisch rationales, ökologisches Handeln) durch den Einsatz der Blockchain-Technologie gestärkt werden kann. Insbesondere gilt dies in den Einsatzbereichen Emissions- und Energiemanagement, da hier die Unternehmen durch Blockchain-Lösungen Effizienzgewinne sowohl bei der eigentlichen wirtschaftlichen Aktivität (bspw. im

dezentralen Energiehandel) als auch beim Erfüllen regulatorischer Bestimmungen (bspw. im Zertifikatehandel) erzielen können und ökonomische und ökologische Nachhaltigkeit damit stärker im Einklang stehen. Demgegenüber lässt sich aus den Daten schließen, dass das Transparenz- und Nachhaltigkeitsmanagement weniger eine effizientere Verwendung von Ressourcen bewirkt. Im Vordergrund steht hier in erster Linie der Nachweis der Nachhaltigkeit von Produkten oder Prozessen („Proof of Green“). Aus diesem Grund ist in diesem Bereich eine stärkere Anreizsetzung durch den Gesetzgeber gefragt, um ökonomische und ökologische Nachhaltigkeit in Einklang zu bringen.

Handlungsoptionen zur Realisierung der Potenziale der Blockchain-Technologie zur Unterstützung von Klimaschutz und Energiewende

Vor dem Hintergrund, dass von der Blockchain-Technologie in allen drei identifizierten Einsatzfeldern (Emissions-, Energie- sowie Transparenz & Nachhaltigkeitsmanagement) ein essentieller Beitrag zum Erreichen der Klimaschutz- und Energiewendeziele ausgehen kann, wurden im Rahmen des Fachdialogs zur Adressierung der bestehenden Hemmnisse und Hürden des Blockchain-Einsatzes zum Zwecke des Klimaschutzes und der Energiewende folgende drei Handlungsfelder definiert:

- ▶ **Handlungsfeld I: Verbraucher & Unternehmen sensibilisieren und unterstützen, um Anreize für blockchainbasierte Lösungen mit dem Ziel der Nachhaltigkeitssteigerung zu schaffen**
- ▶ **Handlungsfeld II: Qualitätsstandards und Rechtssicherheit sicherstellen, um Vertrauen in nachhaltige Blockchain-Lösungen zu schaffen**
- ▶ **Handlungsfeld III: Supranationale Strukturen und Zusammenarbeit stärken, um die Diffusion von blockchainbasierten Anwendungen für den Klimaschutz zu fördern und zu skalieren**

Mögliche Handlungsoptionen innerhalb dieser drei Handlungsfelder wurden auf einem ganztägigen Workshop mit Blockchain-Expertinnen und -Experten aus Wissenschaft, Wirtschaft und Verwaltung entwickelt und diskutiert.

Im **Handlungsfeld I** besteht eine Option darin, der bestehenden Lücke im Wissenstransfermanagement im Hinblick auf die Einsatzpotenziale der Blockchain im Kontext von Klimaschutz und Energiewende mit breit angelegten **Informations- und Qualifizierungskampagnen** zu begegnen, die den Unternehmen (insbes. dem Mittelstand) Unterstützung entlang der gesamten Befähigungskette bietet (Sensibilisieren / Qualifizieren / Umsetzen). Die Angebote könnten z.B. über die Mittelstand-Digital Zentren des BMWK verbreitet werden. Zudem sollten die Bemühungen intensiviert werden, Entwickler / Anbieter und potenzielle Anwender über **Matchmaking-Aktivitäten** zu vernetzen, um auf diesem Weg den Aufbau von nachhaltigen Blockchain-Ökosystemen zu fördern und zu stärken. Eine wichtige Rolle kann hier den DE.Hubs des BMWK zukommen. Darüber hinaus sollten Maßnahmen ergriffen werden, die den Implementierungsaufwand für Blockchain-Lösungen in den Unternehmen senken. Dies kann bspw. durch die **Förderung und Entwicklung von anwenderfreundlichen Use Cases** im Bereich Klimaschutz / Energiewende erreicht werden, die auf der European Blockchain Services Infrastructure (EBSI) aufsetzen können.

Im **Handlungsfeld II** steht das Aufrechterhalten bzw. Entwickeln von Qualitätsstandards sowie das Schaffen von Rechtssicherheit im Fokus der Betrachtung. Eine Maßnahme kann darin bestehen, mittels Zertifizierungen bzw. Labels eine Art „**Blockchain-TÜV**“ zu implementieren, sowohl für den technischen Aufbau als auch für den Dateninput der Blockchain (Stichwort Oracles). Auf diese Weise kann adversen Selektionsprozessen vorgebeugt und Greenwashing

mittels Blockchain verhindert werden. Gleichzeitig sollten die Standardisierungs- und Normierungsbemühungen, insbes. bei den Oracles, vorangetrieben werden und eine anschließende **Bezugnahme auf die Standards im Regulierungsrahmen** erfolgen, um die Verbindlichkeit zu erhöhen und Mindeststandards zu definieren. Darüber hinaus sollten **eindeutige, anreizkompatible (steuerrechtliche) Rahmenbedingungen** für tokenbasierte Lösungen geschaffen werden, um Hemmnisse für deren Einsatz, bspw. im Kontext des Emissionshandels abzubauen. Bei Anwendungsszenarien im Bereich der kritischen Infrastruktur (KRITIS), bspw. bei der Energieversorgung, ist darüber nachzudenken, **Sandboxes bzw. Testbeds zu implementieren**, um in diesen Systemen Verantwortlichkeiten zu definieren, die der Gewährleistung der Versorgungssicherheit dienen.

Im Kontext der Stärkung der supranationalen Strukturen, welche im **Handlungsfeld III** diskutiert werden, erscheint es sinnvoll, die Beteiligung deutscher Regulatoren und Blockchain-Expertinnen und -Experten an **internationalen Standardisierungsprozessen und Normungsverfahren zu intensivieren**, um auf diesem Weg die Marktreife der blockchainbasierten Lösungen zu stärken, damit diese zur Bekämpfung des Klimawandels zum Einsatz kommen können. Es ist zudem darüber nachzudenken, die der Standardisierung zugrundeliegenden **Evaluationszeiträume zu verkürzen**, um auf diesem Weg sowohl der rasanten technologischen Entwicklung auf dem Gebiet der Blockchain als auch dem bestehenden Handlungsdruck im Bereich Klimaschutz gerecht zu werden. Zu prüfen ist zudem, ob die Einführung einer „**Ledger of Ledgers**“ zur Verknüpfung der heterogenen staatlichen Emissionshandelssysteme im Sinne von Artikel 6.2 des Pariser Klimaabkommens sinnvoll erscheint, um auf diesem Weg dem gegenwärtigen „Double Counting“-Problem der Emissionszertifikate zu begegnen.

EXECUTIVE SUMMARY

This study is dedicated to the potential of blockchain technology to support climate protection and the energy transition. The study focuses on the following questions:

- ▶ What are the opportunities and obstacles of using blockchain technology in the areas of energy, emissions, transparency and sustainability management?
- ▶ How do managers from German companies assess the use of blockchain in the three management areas mentioned?
- ▶ What options for action are available to the public sector that could be conducive to the use of blockchain for the purpose of climate protection and the energy transition?

This short study is part of the “Fachdialog Blockchain” (Expert Dialogue on Blockchain), which is being conducted on behalf of the Federal Ministry for Economic Affairs and Climate Action (BMWK). The Expert Dialogue on Blockchain is a modular interdisciplinary series of workshops and studies. The potential of blockchain technology to support climate protection and the energy transition forms the fourth and, for the time being, final module of the Expert Dialogue, after the topics [I] “Token Economy”, [II] “Sustainability in the context of Blockchain Technology” and [III] “Blockchain in SMEs” were already addressed in the three previous modules. This study is based, among other things, on the findings of an interdisciplinary, full-day workshop with around 50 blockchain experts from business, science and administration, which took place in virtual form in January 2023, as well as on an expert consultation at the beginning of the Expert Dialogue and a survey of 200 executives from blockchain-experienced German companies in energy-intensive sectors, which was conducted exclusively for this module of the Expert Dialogue on Blockchain.

Status quo of climate protection and energy transition goals in Germany

If Germany wants to achieve the climate protection and energy transition targets it has set itself for the year 2030, innovative approaches are required. The BMWK's "Inaugural Assessment of Climate Protection" has shown that the measures taken and paths taken to date have not been sufficient. This applies to the decrease in greenhouse gas emissions, to the share of renewable energies in electricity consumption and to the decrease in final energy consumption, to name just a few examples.

Innovative solutions are needed on how to increase the effectiveness of measures and how to solve challenges that arise from the transition to a climate-neutral economy, such as the organisation of a decentralised energy market. This is a prerequisite for the vision of a sustainable, resilient and competitive economy formulated in the *European Green Deal* to become reality.

Potentials of blockchain technology for achieving the goals of climate protection and the energy transition

Through its decentralised architecture, the possibility of improved tracking and tracing and the automated processing of transactions, blockchain technology has the potential to make a valuable contribution to achieving the goals of climate protection and the energy transition.

The following three areas can be identified as fields of application of the technology for the purpose of climate protection and the energy transition:

- ▶ Emissions management
- ▶ Energy management
- ▶ Transparency and sustainability management

In the area of *emissions management*, application scenarios for blockchain technology arise both in the European Emissions Trading Scheme (EU-ETS) and for mapping carbon offsetting within the framework of "Voluntary Carbon Markets" (VCM) or carbon inseting.

In the context of *energy management*, one potential area of application for blockchain technology is the processing of P2P energy trading. In addition, the monitoring and tracking of energy from sustainable production can be facilitated by blockchain and blockchain-based incentive systems can be created that lead to more sustainable, cleaner energy consumption and/or encourage people to act as energy producers themselves ("prosumers").

In the context of *transparency and sustainability management*, the use of blockchain technology can contribute to overcoming or at least mitigating the "Tragedy of the Commons". Blockchain can also prevent the danger of adverse selection, especially greenwashing as a special form of adverse selection in the context of climate protection and energy transition.

Assessment of the potential of blockchain technology by executives of German companies

The evaluation of the company survey among 200 executives of German companies with blockchain experience indicates that the **sustainable performance of companies** (defined as economically rational, ecological action) can be strengthened by blockchain technology. This is particularly true in the areas of emissions and energy management, as blockchain solutions can help companies achieve efficiency gains both in their actual economic activities (e.g., in decentralised energy trading) and in complying with regulatory requirements (e.g., in certificate trading), and economic and ecological sustainability are thus more closely aligned. On the other hand, it can be concluded from the data that transparency and sustainability management has less of an effect on a more efficient use of resources. The focus here is primarily on proving the sustainability of products or processes ("proof of green"). For this reason, a

stronger incentive is needed from the legislator in this area to bring economic and ecological sustainability into harmony.

Options for action to realise the potential of blockchain technology to support climate protection and the energy transition

Against the background that blockchain technology can make an essential contribution to achieving the climate protection and energy transition goals in all three identified fields of application (emissions, energy, and transparency & sustainability management), the following three fields of action were defined within the framework of the expert dialogue to address the existing barriers and obstacles to the use of blockchain for the purpose of climate protection and the energy transition:

- ▶ **Field of action I: Sensitise and support consumers & companies to create incentives for blockchain-based sustainable solutions with the aim of increasing sustainability**
- ▶ **Field of action II: Ensure quality standards and legal certainty to create trust in sustainable blockchain solutions**
- ▶ **Field of action III: Strengthen supranational structures and cooperation to promote and scale the diffusion of blockchain-based applications for climate protection**

Possible options for action within these three fields of action were developed and discussed at a full-day workshop with blockchain experts from science, business and administration.

In **field of action I**, one option is to address the existing gap in knowledge transfer management regarding the application potential of blockchain in the context of climate protection and energy transition with broad-based **information and qualification campaigns** that offer companies (especially SMEs) support along the entire enablement chain (raising awareness / qualifying / implementing). The offers could be disseminated e.g., via the SME Digital Centres of the BMWK. In addition, efforts should be

intensified to network developers / providers and potential users via **matchmaking activities** to promote and strengthen the establishment of sustainable blockchain ecosystems in this way. The DE.Hubs of the BMWK can play an important role here. In addition, measures should be taken to reduce the implementation costs for blockchain solutions in companies. This can be achieved, for example, by **promoting and developing user-friendly use cases** in climate protection / energy transition, which can be based on the European Blockchain Services Infrastructure (EBSI).

Field of action II focuses on maintaining or developing quality standards and creating legal certainty. One measure could be to implement a kind of "**blockchain TÜV**" by means of certifications or labels, both for the technical structure and for the data input of the blockchain (keyword oracles). In this way, adverse selection processes can be prevented and greenwashing by means of blockchain can be prevented. At the same time, standardisation efforts, especially regarding oracles, should be advanced and a subsequent **reference to the standards in the regulatory framework** should be made to increase bindingness and define minimum standards. In addition, **clear, incentive-compatible (tax law) framework conditions** for token-based solutions should be created to

reduce obstacles to their use, for example in the context of emissions trading. In the case of application scenarios in the area of critical infrastructure (CRITIS), e.g., in energy supply, consideration should be given to **implementing sandboxes or testbeds** in order to define responsibilities in these systems that serve to guarantee security of supply.

In the context of strengthening supranational structures, which are discussed in **field of action III**, it seems sensible to intensify the participation of German regulators and blockchain experts in **international standardisation processes and procedures** in order to strengthen the market maturity of blockchain-based solutions in this way, so that they can be used to combat climate change. Consideration should also be given to **shortening the evaluation periods** on which standardisation is based to do justice to both the rapid technological development in the field of blockchain and the existing pressure to act in the area of climate protection. It should also be examined whether the introduction of a "**ledger of ledgers**" to link the heterogeneous state emissions trading systems in the sense of Article 6.2 of the Paris Climate Agreement appears to make sense in order to counter the current "double counting" problem of emissions certificates in this way.

1 EINLEITUNG

Im vierten Modul des Fachdialogs Blockchain¹ steht die Frage im Fokus, welche Potenziale von Distributed Ledger Technologien (DLT), für die im Folgenden der Begriff „Blockchain“ als Synonym verwendet wird, zum Erreichen der Ziele des Klimaschutzes sowie der Energiewende ausgehen können. Während in der breiten Öffentlichkeit Blockchain häufig mit Bitcoin gleichgesetzt wird und der Blockchain-Technologie damit zu Unrecht allgemein das Label der Klimaschädlichkeit angehängt wird², wird übersehen, welche Chancen die Technologie durch ihre Eigenschaften der Manipulationssicherheit, Irreversibilität sowie Dezentralität zur Unterstützung des Klimaschutzes und der Energiewende bietet.

Die vorliegende Kurzstudie verfolgt das Ziel, die Potenziale des Einsatzes der Blockchain-Technologie zum Zwecke des Klimaschutzes und der Energiewende aufzuzeigen sowie Handlungsfelder zu definieren, die für den effektiven Einsatz der Technologie für diese Zwecke eine entscheidende Rolle spielen. Für diese Handlungsfelder werden Handlungsempfehlungen und -optionen entwickelt, wie der Klimaschutz und die Energiewende durch den Einsatz der Blockchain-Technologie unterstützt werden können.

Die Handlungsoptionen wurden im Rahmen eines ganztägigen Workshops am 20.01.2023 mit ca. 50 ausgewählten Blockchain-Expertinnen und -Experten aus Wirtschaft, Wissenschaft und Verwaltung diskutiert und entwickelt.

Basis für die Definition der Handlungsfelder sind unter anderem die Ergebnisse einer Unternehmensumfrage zum Einsatz der Technologie für den Klimaschutz und die Energiewende. Die Umfrage wurde exklusiv für den Fachdialog Blockchain unter 200 Führungskräften aus Blockchain-erfahrenen deutschen Unternehmen in energieintensiven Branchen durchgeführt. Die Ergebnisse der Umfrage werden in Kapitel 4 präsentiert.

Hinleitend werden in Kapitel 2 zunächst die Ziele des Klimaschutzes und der Energiewende, zu denen sich Deutschland verpflichtet hat, kurz skizziert. In Kapitel 3 werden die Potenziale der Blockchain-Technologie zum Erreichen dieser Ziele dargestellt, geclustert nach den Bereichen Emissionsmanagement, Energiemanagement sowie Transparenz- und Nachhaltigkeitsmanagement.

In Kapitel 5 folgt schließlich die Definition und Abgrenzung der Handlungsfelder. Zu jedem der Handlungsfelder werden mögliche Handlungsoptionen vorgestellt, die dem Einsatz der Blockchain-Technologie zum Zwecke des Klimaschutzes und der Energiewende dienlich sein können.

¹ Die bisher im Rahmen des Fachdialogs Blockchain erschienenen Studien können hier abgerufen werden: <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Artikel/Digitale-Welt/Blockchain/blockchain-strategie.html>.

² Siehe bspw. <https://www.ihk.de/ihklw/online-magazin/unsere-ihk/gedankengutberger-5397698>.

Infobox: Blockchain & Energieverbrauch

Grundsätzlich hängt der benötigte Energieeinsatz einer Blockchain von der konkreten Ausgestaltung der Blockchain-Governance, und dabei insbesondere vom verwendeten Konsensmechanismus ab. Der verwendete Mechanismus gibt dabei vor, wie neue Transaktionen verifiziert werden.¹ Die beiden im Fokus der Aufmerksamkeit stehenden Konsensmechanismen sind dabei Proof of Work (PoW), welcher u.a. bei der Bitcoin-Blockchain Verwendung findet, und Proof of Stake (PoS), welcher inzwischen im Ethereum-Netzwerk angewandt wird. Der grundlegende Unterschied der genannten Konsensmechanismen besteht darin, dass der Validator im PoS-Mechanismus, im Gegensatz zum PoW-Mechanismus, zur Verifizierung kein kryptografisches Rätsel lösen und den damit verbundenen Hashwert berechnen muss. Unter der Bedingung des Einfrierens einer gewissen Anzahl an Token über eine gewisse Zeit, erfolgt die Verifizierung zentralisierter und mit deutlich geringerem Rechenaufwand.²

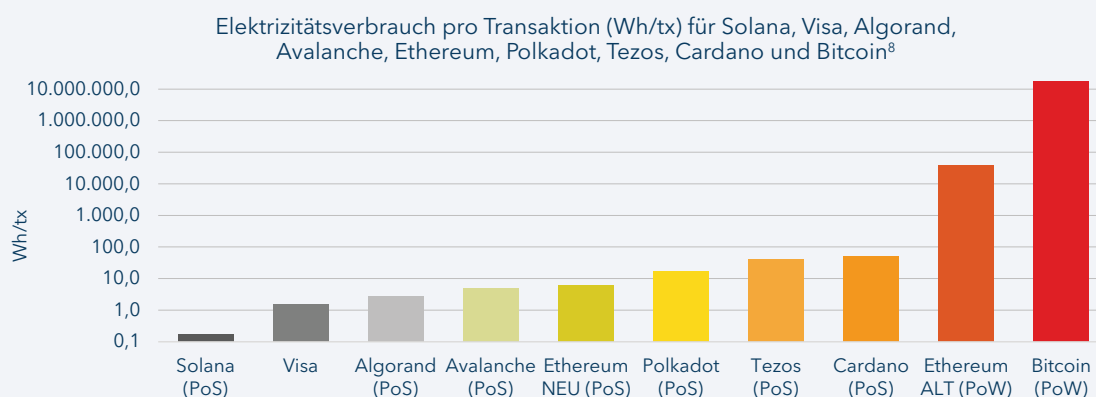
Durch den Übergang zu PoS-basierten Konsensmechanismen ergeben sich allerdings auch mögliche Nachteile. So kann es zu Zentralisierung in den Eigentümerverhältnissen der "Stakes" kommen, was Manipulationsmöglichkeiten eröffnet. Insbesondere der als Validator fungierende Akteur kann unter Umständen in der Lage sein, zu Gunsten von Blöcken zu stimmen, die ihn bevorteilen. Um also die Sicherheit eines solchen Netzwerks zu gewährleisten, setzen die verschiedenen PoS-basierten Blockchainprotokolle unterschiedliche anreizökonomische Mechanismen ein, um eine Zentralisierung der Validatorautorität zu unterbinden. Diese Mechanismen stellen sicher, dass keine Anreize zur Manipulation des Netzwerks bestehen können und somit eine wahrheitsgemäße Validierung eine strikt dominante Strategie darstellt. Im Vergleich zum PoW-Mechanismus, besteht hinsichtlich der Anreizstrukturen der grundlegende Unterschied darin, dass ein Validator im PoS-Mechanismus eine erhebliche Bestrafung beim Abweichen vom wahrheitsgemäßen Verifizieren erfahren kann, was bis zum vollständigen Verlust der gesamten Stakes und damit des eingelegten Vermögens führen kann. In PoW-basierten Plattformen ist ein nicht erfolgreiches einmaliges Abweichen nur mit dem Misserfolg der Manipulation und den damit verwendeten Ressourcen verbunden, die aber weiterhin zum Mining genutzt werden können.³

Im Hinblick auf die Energieeffizienz unterscheiden sich PoW und PoS daher erheblich.⁴ Anhand des sogenannten „Merges“, also der Umstellung des Ethereum Netzwerks vom PoW auf den PoS-Mechanismus lassen sich die Einsparungen für diesen Fall konkret quantifizieren.⁵

Das Crypto Carbon Ratings Institute (CCRI) beziffert in einer Studie aus dem Jahr 2022 den jährlichen Energieverbrauch des PoW-Ethereum Netzwerks auf 24,1 TWh, was einer Emission von 13,64 MtCO₂ entspricht, wohingegen der jährliche Energieverbrauch des PoS-Ethereum Netzwerks auf 2.600,86 MWh geschätzt wird, was einer Emission von 869,78 tCO₂ entspricht. Der Vergleich der beiden Angaben lässt darauf schließen, dass die Umstellung des Konsensmechanismus zu einer Reduktion des Energieverbrauchs in Höhe von 99,988 % bzw. zu einer Reduktion der Emissionen in Höhe von 99,992 % beitragen konnte.⁶

Auch wenn der Merge des Ethereum-Netzwerks andere Probleme mit sich brachte, veranschaulicht dieses Beispiel, dass es sich um ein Vorurteil handelt, dass der Einsatz von Blockchain-Technologie per se mit einem hohen Energieverbrauch einhergeht. Gerade im Kontext der Einsatzszenarien der Blockchain für den Klimaschutz wird natürlich auch verstärkt auf den ökologischen Fußabdruck der Blockchain-Lösung selbst geachtet, so dass hier energiesparsame Lösungen zum Einsatz kommen, weshalb potenzielle Rebound-Effekte als gering einzuschätzen sind.⁷

Auch der untenstehende grafische Vergleich zwischen dem Energieverbrauch pro Transaktion des PoW-basierten Bitcoin-Netzwerks mit weiteren PoS-basierten Netzwerken wie Cardano, Ethereum oder Solana sowie dem Energieverbrauch einer VISA-Transaktion lässt erkennen, dass der Konsensmechanismus den notwendigen Energieverbrauch einer Blockchain entscheidend beeinflusst und die Technologie daher durchaus für Anwendungen im Bereich Klimaschutz und Energiewende geeignet erscheint.⁸



1 Vgl. BNetzA (2021), S.11ff.
 2 Vgl. Crypto Carbon Ratings Institute (2022b), S.4.
 3 Für weitere Informationen zur Sicherheit verschiedener Konsensmechanismen und zu verschiedenen Bedrohungsszenarien vgl. Sayeed / Marco-Gisbert (2019).
 4 Vgl. King / Nadal (2012).
 5 Auch zwischen Netzwerken die auf PoS basieren, gibt es Unterschiede im Energieverbrauch. Abgesehen vom Konsensmechanismus spielen weitere Faktoren wie bspw. Hardware-Anforderungen, Programmiersprache, Netzwerkgröße, Transaktionsdurchsatz sowie Transaktionskomplexität eine Rolle. Für weitere Infos vgl. Crypto Carbon Ratings Institute (2022a).
 6 Vgl. Crypto Carbon Ratings Institute (2022b), S.30.
 7 Siehe bspw. Jackson (2022) für die Weiterentwicklung von Blockchains.
 8 Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Crypto Carbon Ratings Institute (2022a), S.22. Ergänzte Daten aus Crypto Carbon Ratings Institute (2022b).

2 ZIELE DES KLIMASCHUTZES UND DER ENERGIEWENDE IN DEUTSCHLAND

„Eine nachhaltige Entwicklung erfüllt die Bedürfnisse der Gegenwart, ohne die Fähigkeit künftiger Generationen zu gefährden, ihre eigenen Bedürfnisse zu befriedigen.“³

Von dieser grundlegenden Definition einer nachhaltigen Entwicklung im Brundtland-Bericht 1987 ausgehend, hat das Thema Nachhaltigkeit, und damit verbunden das Thema des Klimaschutzes und der sauberen Energieversorgung, massiv an Bedeutung gewonnen. Hintergrund ist die im Zeitverlauf immer klarer gewordene wissenschaftliche Evidenz über das Ausmaß und die Folgen des menschengemachten Klimawandels.⁴

Diese Entwicklung ist auf internationaler Ebene schließlich in dem 2015 auf der Weltklimakonferenz verabschiedeten **Pariser Klimaabkommen** gemündet.⁵ 195 Staaten haben sich hier gemeinsam auf das Einhalten eines weltweit maximalen Temperaturanstiegs von 1,5 Grad Celsius, bzw. unter 2 Grad Celsius im Vergleich zum vorindustriellen Zeitalter geeinigt. Dies wird als Richtwert gesehen, um dem Klimawandel entgegenzuwirken. Hierzu ist eine signifikante Dekarbonisierung notwendig – die Weltindustrie muss ihre freigesetzten Kohlenstoffe deutlich verringern und eine „Treibhausgas-Neutralität“ anstreben.

Ausdruck finden die Nachhaltigkeitsbestrebungen auf internationaler Ebene auch durch die Agenda 2030, welche 2015 von der UN beschlossen wurde. Es wurden 17 Entwicklungsziele, bekannt als **Sustainable Development Goals** (SDGs), definiert, welche die Weltgemeinschaft bis 2030 umsetzen will. Diese Ziele umfassen sowohl Maßnahmen und Bestrebungen aus dem sozialen Bereich wie bspw. die Bekämpfung von Armut, aber auch klima- und umweltrelevante Ziele, wie bezahlbare und saubere Energie (SDG Nr. 7) und Maßnahmen zum Klimaschutz (SDG 17).⁶

Auf europäischer Ebene wurde mit dem **„European Green Deal“** eine eigene Agenda aufgestellt, die im Einklang mit den SDGs und dem Pariser Klimaabkommen steht, aber über deren Ziele hinausgeht. So strebt die 2019 vorgestellte Agenda an, bis 2050 in der Europäischen Union die Netto-Emissionen von Treibhausgasen auf null zu reduzieren und somit eine Vorreiterrolle als erster klimaneutraler Kontinent einzunehmen. Die Maßnahmen im Rahmen des European Green Deals erstrecken sich sowohl auf den Bereich Energieversorgung, Industrie, Handel und Verkehr als auch auf Finanzmarktregulierungen (sustainable finance). Das Leitbild des European Green Deals ist die Entwicklung einer nachhaltigen, klimaneutralen, resilienten und wettbewerbsfähigen EU-Wirtschaft bis 2050.⁷

³ World Commission on Environment and Development (1987).

⁴ Als einflussreiche Referenzen sind hier Mann et al. (1999) mit ihrem „Hockey Stick“-Diagramm zu nennen sowie der Fifth Assessment Report des IPCC (2013) oder auch Bova et al. (2021).

⁵ Siehe United Nations (2015).

⁶ Zu den SDGs sei an dieser Stelle auf die bereits im Rahmen des Fachdialogs Blockchain erschienene Studie „Blockchain im Kontext von Nachhaltigkeit“ verwiesen: Culotta et al. (2021).

⁷ Vgl. EU-Kommission (2019).

	Anteil erneuerbarer Energien am Stromverbrauch	Rückgang der Treibhausgasemissionen	Rückgang des Endenergieverbrauchs
Ziel	80% bis 2030	-65% bis 2030	-24% bis 2030
Stand	41% Stand 2021	-39% Stand 2021	-2% Stand 2018

Abbildung 1: Quantitative Ziele des Klimaschutzes und der Energiewende in Deutschland (eigene Darstellung)

Ergänzt werden die Bestrebungen auf EU-Ebene durch das **Klimapakett „FitFor55“**, von dem die Umsetzung wichtiger Bestandteile im Dezember 2022 beschlossen wurden. Darunter fällt zum einen die Ausweitung und Verschärfung des europäischen Emissionshandels. Dabei ist eine schrittweise Kürzung der Emissionsrechte bis zum Jahr 2030 um 62% vorgesehen (bisher war eine Kürzung um lediglich 43% vorgesehen). Ab 2027 wird zudem der Anwendungsbereich des Emissionshandels ausgeweitet, indem ein neues Emissionshandelssystem für Gebäude, Straßenverkehr und für die Nutzung fossiler Brennstoffe in bestimmten Industriesektoren geschaffen wird. Die CO₂-Zertifikate sollen analog zum bisherigen europäischen Emissionshandel frei am Markt gehandelt werden, wobei kostenlose Emissionsrechte nicht vorgesehen sind. Mit den Einnahmen aus diesem Emissionshandel soll ein Klimasozialfonds finanziert werden, der für effizientere Gebäude, emissionsärmere Mobilität und zur Unterstützung von einkommensschwachen Haushalten und Kleinunternehmen eingesetzt werden soll.⁸

Auf nationaler Ebene bildet das **Klimaschutzgesetz** (KSG) die Grundlage, welches zuletzt im Jahr 2021 angepasst bzw. verschärft wurde. Die festgelegten Ziele fallen dabei noch ambitionierter aus als auf europäischer Ebene. Die Treibhausgasneutralität Deutschlands wird bereits für das Jahr 2045 angestrebt, mit dem Zwischenziel der Reduktion der Emissionen um 65% bis 2030 (gegenüber 1990 als Basisjahr).

Einen wesentlichen Baustein der Klimaschutzpolitik, insbesondere zum Erreichen der Klimaneutralität bis zum Jahr 2045, stellt die **Energiewende** dar. Damit ist die weitgehende Umstellung der Energieversorgung auf erneuerbare Energien gemeint – sowohl bei der Strom- und Wärmeversorgung als auch im Bereich Verkehr. Wesentliche Gesetzesgrundlage für die Umsetzung der Energiewende ist das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG), welches im Jahr 2000 in Kraft getreten ist und zuletzt 2022 durch das „Osterpaket“ der Bundesregierung angepasst bzw. verschärft wurde. Erklärtes Ziel der Energiewende in Deutschland ist es zum einen, den Anteil der erneuerbaren Energien am Stromverbrauch von 41% auf 80% bis zum Jahr 2030 zu steigern. Damit verbunden ist der

geplante Kohleausstieg Deutschlands bis zum Jahr 2038. Zum anderen besteht das Ziel der Energiewende darin, die Energieeffizienz zu steigern. Es ist daher beabsichtigt, den Endenergieverbrauch in Deutschland bis zum Jahr 2030 um 24% zu senken (Basisjahr: 2008).⁹

Mit einem gegenwärtigen Rückgang des Endenergieverbrauchs um ca. 2% (Stand: 2018 im Vergleich zum Basisjahr 2008) und einem Anteil von ca. 41% erneuerbarer Energien am Stromverbrauch (Stand: 2021) ist Deutschland gegenwärtig noch deutlich von den selbstgesteckten Energiezielen entfernt. Auch die Treibhausgasemissionen konnten bisher nur um 38,7% reduziert werden. Im letzten Jahr sind aufgrund der verstärkten Kohleverstromung, ausgelöst durch den starken Anstieg der Gaspreise, der vor allem auf den Krieg in der Ukraine zurückzuführen ist, die Emissionen in der Energiewirtschaft sogar um 4,5% angestiegen. Zudem sollte mit Blick auf die zukünftige Entwicklung des Stromverbrauchs beachtet werden, dass es durch die Zunahme von bspw. Elektroautos und elektrisch betriebenen Wärmepumpen zu einem weiteren Anstieg des Strombedarfs kommt (Sektorkopplungseffekte).¹⁰

Wie auch die „Eröffnungsbilanz Klimaschutz“ des BMWK zeigt, waren die bisher getroffenen Maßnahmen und eingeschlagenen Wege nicht ausreichend, um die gesetzten Ziele im Bereich des Klimaschutzes und der Energiewende zu erreichen.¹¹ Es braucht innovative Lösungen, wie die Effektivität von Maßnahmen erhöht werden kann und wie Herausforderungen, welche durch die Transition zu einer klimaneutralen Wirtschaft entstehen, wie bspw. die Organisation eines dezentralen Energiemarkts, gelöst werden können. Dies ist eine Voraussetzung dafür, dass die im European Green Deal formulierte Vision einer nachhaltigen, resilienten und wettbewerbsfähigen Wirtschaft Wirklichkeit werden kann.

Welche unterstützende Rolle hierbei der Blockchain-Technologie zukommen könnte und in welchen Bereichen dabei die größten Potenziale liegen, soll in den folgenden Kapiteln erörtert werden.

⁹ Vgl. Bundesregierung (2022c).

¹⁰ Vgl. Umweltbundesamt (2022a, 2022d) sowie Bundesregierung (2022c).

¹¹ Vgl. BMWK (2022).

⁸ Vgl. Bundesregierung (2022d).

3 POTENZIALE DER BLOCKCHAIN-TECHNOLOGIE ZUM ERREICHEN DER KLIMASCHUTZ- UND ENERGIEZIELE

Durch die der Blockchain-Technologie inhärenten Eigenschaften, wie der Dezentralität des Netzwerks, der Irreversibilität der eingepflegten Daten sowie die Sicherstellung der Datenintegrität durch die Eigenschaften der Technologie selbst, ergeben sich vielfältige Ansatzpunkte, wie deren Einsatz zum Erreichen der im vorangegangenen Kapitel 2 definierten Ziele hinsichtlich des Klimaschutzes und der Energiewende beitragen kann. Auf Grund der dezentralen Architektur von Blockchain-Netzwerken können bestehende organisationale Schranken zur gemeinsamen Nutzung von Daten zwischen rechtlich unabhängigen Unternehmen je nach Use Case leichter überwunden werden.¹² Die Nutzung der Blockchain-Technologie bietet daher die Möglichkeit über die individuelle klimaschonende Optimierung innerhalb einzelner Unternehmen hinaus, ein auf Klimaschutz optimiertes Verhalten über alle beteiligten Geschäftspartner entlang der gesamten Wertschöpfungskette hinweg durchzusetzen.¹³ Damit kann der Einsatz der Blockchain-Technologie auch einen wichtigen Baustein auf dem Weg zur Realisierung einer nachhaltigen Kreislaufwirtschaft bilden, wie sie von der Europäischen Kommission angestrebt wird.¹⁴

Blockchain-Technologien werden von der EU-Kommission als leistungsfähige Instrumente eingestuft, die eine Verbesserung der Transparenz, Rechenschaftspflicht und Rückverfolgbarkeit der Nachhaltigkeit von Unternehmensaktivitäten erzielen können. Folgerichtig werden Blockchain-Technologien auf EU-Ebene als Mittel zur Realisierung des European Green Deals eingestuft. Mit dem European Green Deal wird das Ziel einer nachhaltigen, klimaneutralen, resilienten und wettbewerbsfähigen EU-Wirtschaft bis

2050 verfolgt.¹⁵ Im Kontext des Green Deals sieht die EU-Kommission die Potenziale der Blockchain-Technologie vor allem im Bereich des Managements von Treibhausgasen. So heißt es bei der Generaldirektion Connect der EU-Kommission:

“Blockchain is a powerful tool that can significantly improve the transparency, accountability and traceability of greenhouse gas emissions. It helps companies provide more accurate, reliable, standardised, and readily available data on carbon emissions.”¹⁶

Während folglich auf europäischer Ebene die Potenziale der Technologie für den Klimaschutz in den Fokus gestellt werden, betont die im Jahr 2019 veröffentlichte deutsche Blockchain-Strategie vor allem die Potenziale der Blockchain-Technologie im Bereich der Energiewende bzw. des Energiemanagements.¹⁷ Genannt werden dabei u.a. ein blockchainbasierter Peer-to-Peer-Energiehandel, ein blockchainbasierter virtueller Großspeicher für PV-Anlagen sowie eine blockchainbasierte Energieanlagenanbindung an eine öffentliche Datenbank als mögliche Einsatzfelder.

Für die vorliegende Kurzstudie werden die Schwerpunkte auf deutscher und EU-Ebene aufgegriffen und somit sowohl die Potenziale im Bereich der Energiewende als auch im Bereich des Klimaschutzes diskutiert, ergänzt um das Transparenz- und Nachhaltigkeitsmanagement als drittes Themenfeld. Damit ergeben sich für eine möglichst umfassende Betrachtung der Blockchain-Technologie in diesem Kontext die folgenden drei Themenfelder:

¹² Vgl. Beck, R. (2018). Beyond bitcoin: The rise of blockchain world. *Computer*, 51(2), 54-58.

¹³ Vgl. Pan et al. (2019).

¹⁴ Siehe https://environment.ec.europa.eu/strategy/circular-economy-action-plan_en.

¹⁵ Siehe hierzu auch Kapitel 2.

¹⁶ Siehe <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/blockchain-climate-action> [zuletzt aufgerufen am 17.12.22].

¹⁷ Siehe hierzu: Bundesregierung (2019): “Blockchain-Strategie der Bundesregierung”.

- ▶ Emissionsmanagement (Kapitel 3.1)
- ▶ Energiemanagement (Kapitel 3.2)
- ▶ Transparenz- und Nachhaltigkeitsmanagement (Kapitel 3.3)

Während im Themenfeld „Emissionsmanagement“ diskutiert wird, wie durch Blockchain-Technologie die Nachverfolgung von Treibhausgas-Emissionen ermöglicht bzw. verbessert werden kann und welche Potenziale die Technologie für den Emissionshandel bietet, steht im Themenfeld „Energiemanagement“ im Fokus, wie Blockchain-Lösungen Anreize für einen nachhaltigen Energieverbrauch bzw. Anreize zu einer nachhaltigen Energieerzeugung setzen kann, um so zu einer effizienten grünen Energieversorgung und zum Gelingen der Energiewende beizutragen. Im Themenfeld „Transparenz- und Nachhaltigkeitsmanagement“ soll hingegen im Vordergrund stehen, wie Blockchain-Anwendungen zu einem effizienteren Ressourceneinsatz sowie zum Nachweis von nachhaltigem Wirtschaften eingesetzt werden kann.

3.1 Potenziale der Blockchain im Emissionsmanagement

Wie bereits ausgeführt, ist das Ziel zahlreicher internationaler Vereinbarungen, wie etwa dem Kyoto-Protokoll, dem Abkommen von Paris oder dem europäischen Green-Deal, die Treibhausgasemissionen der unterzeichnenden Staaten signifikant zu reduzieren.¹⁸ Mit einem Anteil von 63,82% im Jahr 2020 zählen Unternehmen zu den größten Emittenten von CO₂ in Deutschland. Das vorliegende Kapitel fokussiert daher auf blockchainbasierte Lösungen im Emissionsmanagement, die auf Unternehmen abzielen.¹⁹ Bei diesen Lösungen lässt sich im Rahmen des Emissionsmanagements zwischen den folgenden drei Einsatzbereichen unterscheiden:

- ▶ Das EU-Emissionshandelssystem (EU-ETS)
- ▶ Carbon-Offset in „Voluntary Carbon Markets“
- ▶ Carbon-Insetting

¹⁸ Vgl. Kap. 2.

¹⁹ Vgl. Destatis (2022).

Blockchain im EU-Emissionshandelssystem

Das vorliegende Marktversagen hinsichtlich der Übernutzung des öffentlichen Guts der Umwelt wurde bereits früh erkannt und als Reaktion darauf der **europäische Emissionshandel (EU-ETS)** im Jahr 2005 zur Umsetzung des Kyoto-Protokolls und der damit verbundenen Reduktion der gesamtwirtschaftlichen Emissionen eingeführt. Dieses System zielt anhand des sogenannten „Cap & Trade“-Prinzips darauf ab, eine Internalisierung negativer externer Effekte von europaweit ca. 10.000 Industrieanlagen, wie Kraftwerken, Raffinerien und Stahlwerken, zu erreichen, die ca. 36% der Treibhausgasemissionen in der EU verursachen. Ziel der Internalisierung ist es, den Preis für das öffentliche Gut Umwelt zu erhöhen, was den betreffenden Unternehmen einen Anreiz schafft, u.a. durch technische Innovation oder Modernisierung der Anlagen, den Ausstoß der entsprechenden Emissionen direkt zu reduzieren und damit weniger Zertifikate erwerben zu müssen. Auch aufgrund der Kritik, dass der den Emissionshandel betreffende Cap wenig ambitioniert sei und damit einen CO₂-Preis impliziere, der wenig wirksam sei, sieht die Europäische Kommission im Rahmen Ihres „Fit-for-55“-Pakets eine stärkere Beschränkung des Angebots an Zertifikaten vor.²⁰

Die für einige europäische Unternehmen bestehende Pflicht am EU-ETS teilzunehmen und die damit verbundene extrinsische Motivation, kann zur **direkten Reduktion** des eigenen Ausstoßes von CO₂-Emissionen führen und damit auf das gesetzte volkswirtschaftliche Gesamtziel einzahlen. Die Erreichung dieses Ziels ist im zentralisierten System des europäischen Emissionshandels im Zeitraum von 2005 – 2021 an einem europaweit reduzierten Ausstoß von Emissionen bemessen. Dennoch gibt es in Bezug auf die konkrete Ausgestaltung, die insbesondere den Handel mit den Zertifikaten betrifft, Verbesserungspotenziale.²¹ Probleme, die in der bisherigen Laufzeit des Systems auftraten, betreffen bspw. den Bereich des Umsatzsteuerbetrugs sowie potenzielle Sicherheitsprobleme, die sich u.a. am Diebstahl von Zertifikaten im Jahr 2011 erkennen lassen. Die Blockchain kann in diesem Bereich als Querschnittstechno-

²⁰ Vgl. Umweltbundesamt (2022b) bzw. zu aktuell geplanten Änderungen des ETS, der noch vom EU-Parlament und den Staaten bestätigt werden muss, vgl. BMWK (2022a).

²¹ Vgl. Umweltbundesamt (2022c).

loge zur *Erfassung, Verwaltung, und dem Handel* von Emissionen und den entsprechenden Zertifikaten eingesetzt werden.²²

Die bislang stattfindende aufwendige Erfassung der Emissionen, anhand genehmigter Konzepte für das Monitoring und Reporting sowie beteiligter akkreditierter Prüfstellen, kann durch den Einsatz einer blockchainbasierten Lösung automatisiert und damit effizient gestaltet werden.²³ Auch wenn weiterhin das grundsätzliche Problem besteht, dass auch eine Blockchainlösung auf die Qualität der eingespeisten Daten angewiesen ist, was auch als Oracle-Problem bezeichnet wird, bestehen im Hinblick auf den europäischen Emissionshandel potenzielle Lösungen darin, IoT-basierte Smart-Metering Technologien einzusetzen, welche die erhobenen Daten automatisiert in die Blockchain schreiben, um die Kosten zur Erfassung zu senken.²⁴ Weiterhin kann die Blockchain hinsichtlich der Verwaltung der Zertifikate eine erhöhte Transparenz schaffen, wodurch Transaktionen für alle Beteiligten nachvollzogen werden können und das Verfälschen von Informationen dank der Rückverfolgbarkeit und Unveränderlichkeit der tokenisierten Zertifikate nicht möglich wäre. Den Handel der Zertifikate betreffend, bietet die Technologie die Möglichkeit, direkte Transaktionen zwischen sich unbekanntem Akteuren des Systems unter Reduktion der Transaktionskosten durchzuführen.²⁵ Einen möglichen Ansatzpunkt für die Implementierung von blockchainbasierten Lösungen im EU-ETS kann die European Blockchain Services Infrastructure (EBSI) darstellen. Bereits weiter fortgeschrittene Blockchain-Lösungen, die auch schon konkret zur Anwendung kommen, sind in den freiwilligen Kompensationsmärkten (Voluntary Carbon Markets) zu finden.

Blockchain zum Carbon-Offset in „Voluntary Carbon Markets“

Abgesehen von der direkten Reduktion des eigenen CO₂-Ausstoßes bestehen **mittelbare Instrumente**

für Unternehmen im sogenannten **Carbon-Insetting** und **Carbon-Offsetting**. Letztgenanntes Instrument ermöglicht die freiwillige Kompensation bereits ausgestoßener Emissionen durch den Kauf von Emissionsgutschriften, die zur Finanzierung entsprechender klimafördernder Projekte dienen sollen. Diese Gutschriften, die Emissionseinsparungen darstellen, werden auf sogenannten „Voluntary Carbon Markets“ (VCM) gehandelt. Diese Projekte zielen auf die Reduktion oder das Vermeiden von CO₂-Emissionen, wie bspw. durch das Aufforsten eines Waldes oder den Schutz von CO₂-Senken. Für die Einheit einer Tonne eines CO₂-Äquivalents, die vermieden oder reduziert wurde, werden die genannten Emissionsgutschriften ausgestellt. Da die Teilnahme an diesen Märkten nicht verpflichtend ist, lässt sich die Motivation der Teilnahme entweder anhand monetärer Anreize durch das entsprechende Labeling der Klimaneutralität oder durch intrinsische Motive erklären.²⁶ Die ökonomische Logik der Kompensation betrifft die Grenzkosten der Vermeidung: Ist es für ein Carbonoffset-Anbieter günstiger eine Emissionsgutschrift zu erzeugen als es für ein nachfragendes Unternehmen wäre, eine zusätzliche Menge an Emissionen zu vermeiden, so ist der entsprechende Handel zwischen beiden im ökonomischen Sinne effizient. Die Anreizwirkung ist hier von der des Emissionshandel abzugrenzen, da das Prinzip des Carbon-Offsets darauf ausgerichtet ist, dass Firmen für die Reduktion der Emissionen zahlen, anstatt dass es die Kosten der weiteren Emittierung von eigenen Emissionen erhöht.²⁷

Die „Voluntary Carbon Markets“ sind von der Freiwilligkeit der Teilnahme geprägt. Das volle Investitionspotenzial in die VCM wird bisher nicht voll ausgeschöpft. Darauf deuten Erhebungen hin, die zeigen, dass die tatsächliche Höhe der getätigten Investitionen in die VCM geringer ausfällt als die bestehende Zahlungsbereitschaft privater Investoren zum Ausgleich von Treibhausgasemissionen, unter anderem weil erhebliche Intransparenzen über die tatsächlich erfolgte Kompensation bestehen.²⁸ Der Einsatz von Blockchain-Technologie in den VCM kann dazu beitragen, Vorbehalte der Investoren abzubauen,

²² Vgl. Pan et al. (2019).

²³ Vgl. EU-Kommission (o.A.).

²⁴ Vgl. Siphthorpe et al. (2022b), S.11. Entsprechende Konzepte zur Befähigung von IoT-Devices, Transaktionen auf Blockchain-Netzwerken kostengünstig durchzuführen, sind bereits entwickelt. Siehe hierzu Light Node Service von Blockchain Europe <https://blockchain-europe.nrw/open-source/open-source-baukasten/>

²⁵ Vgl. Chen (2018).

²⁶ Vgl. United Nations Environment Programme (2021), S.57.

²⁷ Vgl. Bushnell (2011).

²⁸ Vgl. Edwards (2019).

welche die Bereiche der *Verifizierbarkeit, Teilbarkeit, Verwaltung* sowie das *mangelnde Vertrauen* in die anbietenden Unternehmen betreffen.²⁹

Die fehlende Transparenz zur Herkunft der Emissionsgutschriften, die in diesen Märkten im Regelfall nur unspezifisch angegeben wird, kann durch den Einsatz der Blockchain hergestellt werden. Durch eine Abbildung der Gutschriften in einem entsprechenden auf der Blockchain basierenden Netzwerk kann der komplette Verlauf der Gutschriften, von der Verifizierung bis zur Nutzung, nachvollzogen und somit auch eine Doppelverwendung vermieden werden. Weiterhin können im Zusammenspiel mit IoT-Sensoren die Betrugsgefahr gesenkt und die Genauigkeit der abgebildeten Emissionen erhöht werden.³⁰

²⁹ Vgl. Siphthorpe et al. (2022b), S.12.

³⁰ Vgl. Toucan (2022).

Darüber hinaus kann die bisher kleinste handelbare Einheit von einer Tonne CO₂ durch die Teilbarkeit der Token verstetigt werden, wodurch auch Mikrotransaktionen für Verbraucher zur Kompensation einer geringen Menge an Emissionen ermöglicht werden können.³¹

Weit fortgeschrittene Projekte im Bereich der blockchainbasierten VCM stellen bspw. KlimaDAO³² oder auch die vom Freiburger Startup Carbonfuture³³ entwickelte blockchainbasierte Plattform für Kohlenstoffsenken-Credits dar. Für weitere Informationen zu erstgenanntem Projekt, sei an dieser Stelle auf die Ausführungen zum Use-Case in nachfolgender Infobox verwiesen.

³¹ Vgl. WEF (2018), S.19.

³² Siehe www.klimadao.finance.

³³ Siehe www.carbonfuture.earth.

Infobox: Use Case KlimaDAO

Ein blockchainbasiertes Instrument für den in Kapitel 3.1 beschriebenen freiwilligen Emissionshandel stellt die dezentrale autonome Organisation KlimaDAO dar, die im Jahr 2021 von einem verteilten pseudo-anonymen Team initiiert wurde und Token-Zertifikate in Form ihres sogenannten KLIMA-Token generiert. Dieses Instrument basiert auf der Polygon Blockchain, die einen Proof-of-Stake Konsensmechanismus nutzt. Das Ziel der Organisation ist es, das Problem der fehlenden Internalisierung des negativen externen Effekts des Emissionsausstoßes anzugehen und die Märkte so zu optimieren, dass der Ausstoß von Emissionen in alle Güter eingepreist wird. Konkret möchte die Organisation also den aus ihrer Sicht aktuell zu niedrigen Preis für die Emission von Treibhausgasen durch den KLIMA-Token dadurch erhöhen, indem die Nachfrage nach digital gestützten also technisierten Kompensationen von Emissionen steigen soll.¹ Die nachfolgenden Erklärungen sollen das zugrunde liegende Instrument des Marktmechanismus erläutern, der maßgeblich zur Verfolgung des Ziels beitragen soll.

Grundsätzlich darf ein KLIMA-Token immer nur dann emittiert werden, wenn im Gegenzug dafür eine Tonne Kohlenstoffkompensation (auch als Base Carbon Tonnes oder BCT bekannt) hinterlegt wird. Durch dieses Prinzip ist ein KLIMA-Token immer durch eine Kompensation gedeckt. Dafür können verschiedene Arten von zertifizierten Emissionskompensationen genutzt werden. Damit versteht sich der Ansatz der KLIMA-Token als eine Art Standardisierung der verschiedenen bereits im Umlauf befindlichen Kompensationszertifikate. Einzige Voraussetzung ist, dass die zu hinterlegenden Kompensationen von bestimmten Akteuren zertifiziert wurden, um auf diesem Weg die Qualität der Kompensation zu gewährleisten und Greenwashing vorzubeugen.²

Durch die Bindung an die Kompensationszertifikate entsteht für die KLIMA-Token ein intrinsischer Wert, der dem Marktpreis der tokenisierten Kompensationszertifikate entspricht. Der Mechanismus der Organisation sieht vor, dass neue KLIMA-Token verstärkt emittiert werden, sobald der Marktpreis der KLIMA-Token den intrinsischen Wert übersteigt. Sollte der Marktpreis der KLIMA-Token unter den intrinsischen Wert fallen, sieht der Mechanismus vor, einen Teil der im Umlauf befindlichen Token zurückzukaufen und zu vernichten, bis der Marktpreis durch die Verknappung des Angebots wieder mindestens dem intrinsischen Wert entspricht.

Durch diesen an den intrinsischen Wert der Token gekoppelten Mechanismus werden sowohl Anreize gesetzt, bislang existierende, nicht-tokenisierte Offsets zu tokenisieren, als auch neue Offsets durch die erhöhte Nachfrage zu generieren.³ Dadurch trägt dieser bei KlimaDAO hinterlegte Mechanismus zur besseren Internalisierung der negativen externen Effekte der Emissionsausstoßes bei.

Nach Angaben von KlimaDAO ist es über diesen blockchainbasierten Mechanismus gelungen, Zertifikate in Höhe von über 17 Mio. Tonnen an CO₂ in Besitz von KlimaDAO zu bringen.⁴

¹ Vgl. <https://docs.klimadao.finance/> [zuletzt abgerufen 14-03-2023].

² Vgl. <https://docs.klimadao.finance/master> [zuletzt abgerufen 14-03-2023].

³ Vgl. <https://docs.klimadao.finance/tokenomics-and-mechanisms/primer-on-klima> [zuletzt abgerufen 14-03-2023].

⁴ Vgl. <https://www.klimadao.finance/de> [zuletzt abgerufen 14-03-2023].

Blockchain zum Carbon-Insetting

Das sogenannte „**Carbon-Insetting**“ zielt darauf ab, die Emissionen der eigenen Produkte durch den bewussten Bezug von emissionsarmen Vorprodukten aus der vorgelagerten Lieferkette zu reduzieren und hat damit keinen direkten Einfluss auf den eigenen CO₂-Fußabdruck, aber auf den des Endprodukts.³⁴ Das Carbon-Insetting kann damit als ein emissionspezifischer Anwendungsfall des Transparenz- und Nachhaltigkeitsmanagement interpretiert werden, welches in Kapitel 3.3 näher erläutert wird.

Nachdem im vorliegenden Unterkapitel die Potenziale der Blockchain-Technologie im Emissionsmanagement erörtert wurden, erfolgt im nächsten Unterkapitel ein Blick auf die Potenziale der Technologie im Energiemanagement.

3.2 Potenziale der Blockchain im Energiesektor

Wie bereits in Kapitel 2 ausgeführt, fußt die Energiewende in Deutschland im Wesentlichen auf zwei Säulen: Zum einen soll der Anteil erneuerbarer Energien bis 2030 auf 80% ausgebaut und zum anderen die Energieeffizienz, durch eine Reduktion des Endenergieverbrauchs bis 2030 gegenüber dem Basisjahr 2008 um 24%, erhöht werden. Die im Rahmen dieser Kurzstudie betrachteten Potenziale der Blockchain-Technologie können dabei auf beide genannten Säulen einzahlen.

Erneuerbare Energien verändern die Marktstruktur des Energiesektors

Auch wenn das juristische Rahmenwerk für die Einspeisung erneuerbarer Energien in die Netzinfrastruktur mit dem Erneuerbare Energien Gesetz (EEG) bereits im Jahr 2000 den Grundstein für die Dekarbonisierung des Energiesektors und den Ausbau erneuerbarer Energien legte, konnte vor allem seit dem beschlossenen Ausstieg aus der Kernenergie ein verstärkter struktureller Wandel im Energiesektor hin zu mehr erneuerbaren Energien beobachtet werden, in

der nun sowohl große als auch kleine Akteure an der Stromerzeugung beteiligt sind.³⁵ Die vormals übliche Struktur der Energieerzeugung und -verteilung, welche sich insbesondere im letzten Jahrhundert auf Grundlage der zentralen Produktion sowie der Gesetze der Physik etablierte, sah eine rein vertikale Fließrichtung des Stroms, also „downstream“ von der Quelle hin zum Konsumenten, vor. Aus dieser Struktur resultierten die heute existierenden großen Energieerzeuger, die Strom i.d.R. aus konventionellen Energieträgern wie Kohle, Kernenergie oder Erdgas zentral herstellen. Auch in der aktuellen Marktlage machten diese im 1. Halbjahr 2022 ca. 51,5 % der erzeugten Strommenge aus. Eine andere Struktur zeigt sich bei den Produzenten erneuerbarer Energien, bspw. aus Windkraft, Biogas oder Photovoltaik. Die Anbieterstruktur ist hier viel kleinteiliger und dezentraler und reicht bis hin zu den „Prosumenten“, also Energieverbrauchern wie Haushalten und Unternehmen, die gleichzeitig auch Energie erzeugen (bspw. über Photovoltaikanlagen auf dem Dach) und überschüssige Energie in das allgemeine Stromnetz einspeisen. Erneuerbare Energieträger zusammen erreichten dabei im betrachteten Zeitraum einen Marktanteil von ca. 48,5%.³⁶

Die beschriebene Dezentralität der Erzeugung erneuerbarer Energien ist ein wichtiger Ansatzpunkt für die potenzielle Anwendung der Blockchain-Technologie im Energiesektor, da diese Eigenschaft eine Vernetzung aller am Energiemarkt beteiligten Akteure, also der Verbraucher, Erzeuger, Versorger, Netzbetreiber sowie Speicher erforderlich macht, um den Energieverbrauch intelligent an die ins Netz eingespeiste Menge erneuerbarer Energien anzupassen.³⁷ Dies ist notwendig, da ein Auseinanderfallen von Angebot und Nachfrage die Netzwerkstabilität gefährdet, weshalb es eine entscheidende Aufgabe des Energiemarktes darstellt, eine passende Allokation der benötigten Energie sicherzustellen. Dies geschieht im klassischen Energiemarkt durch das Ausnutzen der steigenden Sicherheit des prognostizierten Energieverbrauchs mit näher rückendem Liefertermin. Jenes erlaubt einen stufenweisen Handel vom Forward-Markt bis hin zum Regelenergiemarkt und eine

³⁵ Vgl. BMWK (2021).

³⁶ Vgl. Destatis (2022b).

³⁷ Vgl. bspw. edna (o.A.) sowie BMBF (o.A.).

³⁴ Vgl. Smoot (o.A.).

daraus resultierende Allokation steuerbarer konventioneller Energieträger. Durch die potenzielle Einspeisung fluktuierender erneuerbarer Energien liegt jedoch eine größere Unsicherheit bzgl. der notwendigen Verteilung vor.³⁸

In der Literatur³⁹ werden der Blockchain-Technologie Potenziale zur Anwendung im Energiesektor vor allem in folgenden Bereichen zugemessen:

- ▶ Anreize für einen nachhaltigen Energieverbrauch,
- ▶ Monitoring und Nachverfolgung von Energie aus nachhaltiger Erzeugung,
- ▶ Anreize, selbst als Energieerzeuger tätig zu werden,
- ▶ P2P-Energiehandel.

Diese Anwendungsbereiche werden im Folgenden kurz skizziert.

Blockchain schafft Anreize für einen nachhaltigen Energieverbrauch

Als Basisanwendung der Blockchain-Technologie im Energiebereich gilt die blockchainbasierte Abrechnung von Entgelten und Umlagen. Fortgeschrittene Anwendungen, die auf eine Integration erneuerbarer Energien in die veränderten Marktstrukturen zielen, wie bspw. dem P2P-Handel von Ökostrom, basieren auf dieser Basisanwendung. Den Ausgangspunkt für eine blockchainbasierte Abrechnung bildet dabei ein Smart-Meter-Gateway.⁴⁰ Über dieses wird der Stromverbrauch des Kunden kontinuierlich gemessen und auf eine Blockchain geschrieben, auf der außerdem Informationen des Energieanbieters bzw. Netzbetreibers zum entsprechenden Kostenmodell des Stromverbrauchs hinterlegt sind. Über Smart Contracts werden diese Informationen zusammengeführt, ausgewertet und anschließend eine automatisierte Abrechnung erstellt, deren Begleichung ebenfalls über die Blockchain abgewickelt werden kann.⁴¹

38 Vgl. Schweizerische Normen-Vereinigung (2021), S. 18.

39 Vgl. bspw. Schweizerische Normen-Vereinigung (2021), dena (2019) sowie OSTP (2022).

40 Auch im Rahmen des Entwurfs eines Gesetzes zum Neustart der Digitalisierung der Energiewende wird eine beschleunigte Verbreitung von Smart-Meter-Gateways anvisiert: vgl. BMWK (2022b).

41 Vgl. Märkel et al. (2022), Kap. 4.2.

Neben der Reduktion von Transaktionskosten bietet diese Lösung den Vorteil, dass der Energieverbrauch für den Konsument in Echtzeit transparent dargestellt werden kann. Die Potenziale der Blockchain-Technologie in diesem Kontext steigen mit der Komplexität des Energienetzes sowie mit einer steigenden Dynamik der Netzentgelte.⁴²

Die oben beschriebene blockchainbasierte Nutzung von Smart-Meter-Gateways, um die Erzeugung und den Verbrauch transparent darstellen zu können und darauf basierend die Abrechnung vorzunehmen, stellt auch die Grundlage für das Projekt FlexChain dar, dessen Ziel eine auf Blockchain basierende intelligente Aktivierung von Kleinstflexibilitäten im Prosumer-Bereich zur Stabilisierung des Stromnetzes ist.⁴³ Für ein weiteres Projekt, dass auf dieser Basisanwendung aufbaut, sei an dieser Stelle bspw. auf „Brooklyn Microgrid“ verwiesen. Hierbei handelt es sich um eine blockchainbasierte Plattform für New York, über die überschüssige Solarenergie von Prosumern verkauft werden kann.⁴⁴ Für weitere Informationen zum erstgenannten Projekt sei an dieser Stelle auf umseitige Info-box verwiesen. Darüber hinaus hat sich die Deutsche Energie-Agentur (dena) in ihrem Pilotprojekt "Blockchain Machine Identity Ledger" (BMIL) mit dem Thema digitaler Identitäten für Energieanlagen unter Verwendung von Smart-Meter-Gateways beschäftigt.⁴⁵

Einsatz der Technologie, um das Monitoring und die Nachverfolgung einer dezentralen, sauberen Energieversorgung zu vereinfachen

Um erzeugten Strom als Strom aus erneuerbaren Energien zu kennzeichnen, müssen bislang für die entsprechende Menge an geliefertem Strom Herkunftsnachweise im Herkunftsnachweisregister (HKNR) des Umweltbundesamts entwertet werden, die aber auch von der dena als „unscharfe Zertifikate im Nachhinein“⁴⁶ bezeichnet werden. Grund dafür ist die Tatsache, dass die Zertifikate, die europaweit im Gegenzug für eine Megawattstunde an erzeugter erneuerbarer Energie ausgegeben werden, unabhängig vom erzeugten Strom gehandelt werden können. So ist es

42 Vgl. dena (2019), S. 54 – 58.

43 Zum Projekt Flexchain, siehe Torabi-Gourdazi / Alt(2021).

44 Für weitere Infos dazu vgl. <https://www.brooklyn.energy/>.

45 Vgl. dena (2022).

46 Vgl. dena (2019), S. 51.

Infobox: Use Case FlexChain

Das Projekt „FlexChain“ ist ein vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz gefördertes Forschungsprojekt, an dem mehrere Konsortialpartner unter Koordination des August-Wilhelm Scheer Instituts seit 2021 beteiligt sind. Die Praxisphase des Projekts, welches als Nachfolger nahtlos an das Projekt „Designnetz“ anschließt, startete 2022.¹ Es geht der Frage nach, wie auch kleinere Verbrauchs-, Speicher- und Erzeugerkapazitäten in einem marktorientierten Prozess wirtschaftlich und technisch sinnvoll aktiviert werden können und greift hierzu auf die Blockchain-Technologie zurück. Ziel ist es, potenzielle Lösungsvorschläge für das derzeit vorliegende Planungsproblem, das aufgrund der Dezentralität erneuerbarer Energien besteht, zu erarbeiten. Dieses Allokationsproblem äußert sich dadurch, dass im Falle einer drohenden Überlastung (bspw. an windreichen Tagen) Produzenten erneuerbarer Energien aufgrund von Spannungsbandverletzungen teilweise von der Netzeinspeisung getrennt werden müssen, während im Falle eines drohenden Spannungsabfalls Strom aus konventionell erzeugten Energieträgern in das Netz eingespeist wird. Im Rahmen des Projekts sollen bspw. Haushalte und Kleinunternehmen dazu angeregt werden, Flexibilitäten wie Wärmepumpen und Ladestationen für einen netzdienlichen Einsatz bereitzustellen, um die Stabilisierung lokaler Verteilernetze zu ermöglichen. In der konkreten Ausgestaltung bedeutet dies mit Blick auf die Prosumenten, dass der wirtschaftliche Anreiz gesetzt werden soll, die Spannung des Netzes zu „glätten“, um so ein Abschalten erneuerbarer Energieerzeuger oder ein Zuschalten fossiler Energieerzeuger zu vermeiden. Grundlage für diese Anwendung ist, dass die Art des verbrauchten Stroms fälschungssicher und transparent nachvollzogen werden kann.²

Durch den Einsatz der Blockchain-Technologie sollen in dem beschriebenen Projekt niedrige Verwaltungskosten, eine hohe Ausführungsgeschwindigkeit sowie Transparenz und Sicherheit gewährleistet werden. Insbesondere ist eine Nutzung von Smart-Contracts angedacht, um automatisierte Transaktionen von Haushalten bzw. Kleinunternehmen und Netzbetreibern abzuwickeln, die die Produktion, die Speicherung und den Verbrauch im Sinne der Netzauslastung dynamisch regeln.³

1 Für weitere Informationen zum Vorgängerprojekt siehe <https://www.designnetz.de/>.

2 Für weitere Infos zu dem Projekt, vgl. „FlexChain“, abrufbar unter: <https://www.aws-institut.de/research/netzstabilisierung-mittels-blockchain/>.

3 Vgl. „Gemeinsam zum Stromnetz der Zukunft“, abrufbar unter: https://www.imittelstand.de/themen/presse_software.html?boxid=1061908.

möglich, in Deutschland erzeugte konventionelle Energie, durch den Kauf und die entsprechende Entwertung von Herkunftsnachweisen, die bspw. für erzeugten Strom in norwegischen Wasserkraftwerken ausgestellt wurden, als erneuerbar zu deklarieren.⁴⁷ Die Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V. spricht sogar in diesem Zusammenhang von einer möglichen „Doppelverwendung der regenerativ erzeugten Energiemenge [aus Marketingsicht]“⁴⁸, da auch der norwegische Energieversorger mit Strom aus Wasserkraftwerken werben könne, auch wenn die entsprechenden Herkunftsnachweise anderweitig verwendet wurden.

Das größte Potenzial bietet die Blockchain-Technologie im Hinblick auf die Zertifizierung im Energiemarkt durch potenzielle Peer-to-Peer Herkunftsnachweise. Ähnlich wie im Transparenzmanagement von Lieferketten wird dazu die Eigenschaft der Blockchain zum „Tracking und Tracing“ genutzt. Die Kennzeichnung des Stroms stellt dabei einen iterierenden Prozess dar, der eine untrennbare Verbindung von bilanziellen

Herkunftsnachweisen und tatsächlicher Stromlieferung schafft, wodurch eine trennscharfe Unterscheidung zwischen Ökostrom und konventionell erzeugtem Strom ermöglicht wird. Durch diese verlässlicheren und transparenteren Herkunftsnachweise sollen Verbraucher im Hinblick auf die eigene Kaufentscheidung bessere Anreize sowie Informationen besitzen, auf Ökostrom zu setzen. Außerdem schafft diese Anwendung in Kombination mit einem Smart Meter einen Überblick über die zeitliche Verfügbarkeit grüner Energie, was in Kombination mit Smart Contracts bspw. die Möglichkeit schafft, das Laden eines e-Autos an das Vorhandensein von Ökostrom zu koppeln. Darüber hinaus kann dieser Anwendungsfall dazu dienen, die Dezentralisierung der Marktstrukturen durch eine Teilbarkeit der Herkunftsnachweise in beliebig kleine Einheiten besser abzubilden und damit die Einstiegsbarriere für kleine Produzenten zu verringern. Bislang ist eine Ausstellung von entsprechenden Nachweisen nur in Einheiten von je einer Megawattstunde möglich.⁴⁹

47 Auffallend ist, dass im europäischen Vergleich in Staaten, in denen aufgrund der fast ausschließlichen Erzeugung von Energie durch erneuerbare Energieträger, keine Produktdifferenzierung notwendig ist, wie bspw. Norwegen, ein starker Export von Herkunftsnachweisen stattfindet, um diese in anderen Staaten zur Produktdifferenzierung zu nutzen: vgl. Deutsche Umwelthilfe (2021).

48 Vgl. Zeiselmair et al. (2018), S.2.

Prototypische Anwendung in der Praxis fand der blockchainbasierte Herkunftsnachweis von Strom

49 Vgl. Zeiselmair et al. (2018).

bereits im Forschungsprojekt „Pebbles“. Auf Grundlage des oben beschriebenen Einsatzes eines Smart-Meter-Gateways, konnte der Nachweis des verbrauchten Stroms über einen blockchainbasierten Token erbracht werden.⁵⁰ Weitere Informationen zu diesem Use Case finden sich in nachfolgender Infobox.

Blockchain schafft Anreize, selbst als Energieerzeuger tätig zu werden

Die aus der Energiewende resultierende steigende Anzahl an Akteuren, insbesondere an dezentralen Prosumenten, führt dazu, dass noch mehr Daten vorliegen bzw. erhoben werden müssen, um eine optimale Allokation der Energie ohne die Entstehung von Netzproblematiken zu ermöglichen. Bei den entsprechenden Daten wird in der Literatur zwischen Basisdaten und dynamischen Daten unterschieden. Im deutschen Energiemarkt sind die erstgenannten Daten, die generelle Vertragsparameter enthalten, in einem zentralen „Marktdatenstammregister“ hinterlegt, in welchem „alle aktiven, ans Netz angeschlossenen Anlagen zur Erzeugung von Strom“⁵¹ registriert sein müssen. Die dynamischen Daten, die größtenteils über Sensoren ermittelt werden, werden für Abrechnungs- und Meldezwecke genutzt. Dabei handelt es sich bspw. um Messdaten zum tatsächlichen

Leistungsfluss oder verarbeitete Daten zur Überlastungsüberwachung. Neben der Zunahme dezentraler Erzeuger wird erwartet, dass sich auch die Menge der letztgenannten Datenart aufgrund der einfacheren Erfassung durch neue sensorbasierte Technologien wie IoT erhöhen wird. Sowohl die Tatsache, dass es sich bei den entsprechenden Daten i.d.R. um Pflichtangaben handelt, die auch kleine dezentrale Erzeuger erfassen und austauschen müssen, als auch die Problematik, dass die Energieversorger im konkreten Geschäftsfall oftmals mit einem eigenen Datenbestand bzw. -system hinsichtlich der dynamischen Daten arbeiten, lassen potenzielle Markteintrittsschranken bzw. Wechselbarrieren für kleine dezentrale Erzeuger vermuten. Hier kann die Nutzung von blockchainbasierten Netzwerken den Registrierungsprozess durch eine vertrauenswürdige Automatisierung vereinfachen. Diese Vereinfachung könnte den mit der Registrierung im Marktdatenstammregister verbundenen Fixkostenblock reduzieren und somit die Attraktivität, selbst als Energieerzeuger tätig zu werden, insbesondere für kleine Einheiten, steigern. Weiterhin kann die durch Blockchain erforderliche Standardisierung der Erfassung und Verarbeitung der dynamischen Daten dazu führen, dass der Aufwand für dezentrale Erzeuger sinkt, selbst als Akteur auf dem Markt aufzutreten und damit die Abhängigkeit von einem Energieversorger reduziert wird.⁵²

⁵⁰ Siehe hierzu www.pebbles.projekt.de.

⁵¹ Siehe dazu die Ausführungen im Marktdatenstammregister, abrufbar unter: <https://www.marktstammdatenregister.de/MaStRHilfe/subpages/faq.html>.

⁵² Vgl. Schweizerische Normen-Vereinigung, S.38 – 41.

Infobox: Use Case Pebbles

Das BMWK-Forschungsprojekt Pebbles, welches im März 2018 initiiert und im November 2021 abgeschlossen wurde, entwickelte und testete einen Demonstrator für ein intelligentes Stromversorgungssystem im Hinblick auf den P2P-Handel.¹

Um den regionalen Energieversorger als klassischen Intermediär zu ersetzen, nutzte das Projekt die Blockchain-Technologie. Als Ergebnis wurde festgestellt, dass der P2P-Energiehandel erfolgreich durch einen blockchainbasierten Prozess abgebildet werden kann. Auch konnten die Stärken der Technologie, insbesondere im Hinblick auf die Aufweichung der üblichen Betrachtung von Strom als homogenes Gut aufgezeigt werden. So wurde festgestellt, dass die Nutzung der Blockchain-Technologie in Verbindung mit einem Smart-Meter-Gateway als Oracle in der Tat dazu befähigt trennscharf zwischen konventionellem Strom und Ökostrom unterscheiden zu können. Dies ist auf die Eigenschaften der Technologie zurückzuführen, die in diesem Anwendungsfall zu einer transparenten Nachvollziehbarkeit der Erzeugung und des Verbrauchs der beiden Strommengen führt. Weiterer Entwicklungsbedarf wurde jedoch bei den blockchainbasierten Smart-Metern hinsichtlich der Analyse des Netzzustandes festgestellt. Dies sei insbesondere die geringe Verbreitung der Smart-Meter-Gateways und die damit verbundene fehlende Anzahl an Sensoren zurückzuführen. Auch im Rahmen des Entwurfs eines Gesetzes zum Neustart der Digitalisierung der Energiewende wird eine beschleunigte Verbreitung dieser Gateways anvisiert.²

¹ Vgl. dazu: <https://pebbles-projekt.de/projekt/>.

² Vgl. Tran (2021) sowie BMWK (2022b).

Praxisbeispiele für die tokenbasierte Anreizsetzung, selbst als Energieerzeuger aufzutreten, sind die Projekte SolarCoin und GrünstromBonus. Dort werden Verbraucher mit blockchainbasierten Token belohnt, wenn diese nachhaltig erzeugten Strom verbrauchen (GrünstromBonus) oder selbst nachhaltig erzeugte Energie ins Netz einspeisen (SolarCoin). Für weitere Informationen zu den beiden genannten Use Cases sei auf die unten stehende Infobox verwiesen.

Blockchainbasierter P2P-Handel zahlt auf Ziele der Energiewende ein

Weiteres Potenzial der Blockchain-Technologie im Energiebereich resultiert aus der Möglichkeit, zwischen den Marktteilnehmern den direkten Handel von Energie ohne Einbindung eines Intermediärs, der im konkreten Fall der Energieversorger ist, zu ermöglichen. Dabei spielt die Größe der Marktteilnehmer keine Rolle. Somit können auch Prosumenten mit Verbindung zum öffentlichen Verteilernetz Energie über ein blockchainbasiertes Netzwerk mit allen Konsumenten handeln, die ebenfalls an das öffentliche Netz angeschlossen sind. Der konkrete Handel kann dabei automatisiert durch Smart Contracts übernommen und die zu handelnde Menge, also der Überschuss an erzeugter (erneuerbarer) Energie,

durch KI-basierte Algorithmen prognostiziert werden. Als dezentral aufgebaute Technologie wird Blockchain im Zusammenspiel mit KI-Komponenten dem immer dezentraler werdenden Energiemarkt gerecht.⁵³ Auch wenn derzeit die Versorgungs- und Preisstabilität über die Kontrolle der Energieversorger durch die BNetzA sichergestellt wird, muss der Wegfall des Intermediärs nicht zum Kontrollverlust führen. Vielmehr wird es darauf ankommen, die Gewährleistungsverantwortung des Staates neu zu justieren.

Ein solches blockchainbasiertes dezentrales Netzwerk im Energiemarkt kann darüber hinaus Synergieeffekte mit anderen oben genannten Anwendungsszenarien, wie bspw. dem „Tracking und Tracing“ der Herkunft der erzeugten Energie erzeugen. So könnte die Kombination des oben beschriebenen P2P-Handels mit den beschriebenen blockchainbasierten Herkunftsnachweisen dem Verbraucher die Möglichkeit eröffnen, einen bewussten Einfluss auf die Herkunft des von ihm verbrauchten Stroms zu nehmen. Dies könnte u.a. bewusstere Kaufentscheidungen der Konsumenten fördern.⁵⁴ Weitere Synergiepotenziale sind auch im Hinblick auf die zunehmende Relevanz der e-Mobilität vorstellbar. Dabei können bspw. die

⁵³ Vgl. dena (2019), S.66-69.
⁵⁴ Vgl. Burges et al. (2022).

Infobox: Use Cases Solar Coin & GrünstromBonusToken

Solar Coin

2014 hat sich die SolarCoin Foundation die 40-jährige Mission gesetzt, Anreize für die Produktion von Solarstrom zu schaffen. Dies geschieht, indem Produzenten mit Solar-Coins für den von ihnen produzierten Solarstrom belohnt werden. Ein Produzent registriert seine Solaranlage bei der SolarCoin Foundation und erhält daraufhin 1 SolarCoin pro 1 MWh verifizierten Solarstroms, den er produziert. Das Ziel ist es, die Kosten für die Produktion von grüner Energie so weit zu senken, dass sie kostenlos wird, was dann der Fall ist, wenn der Wert eines SolarCoin die Kosten der Stromproduktion übersteigt. Die Nutzer erhalten laufend SolarCoins, solange sie Energie produzieren, und sie können SolarCoins nach Belieben sparen, tauschen oder ausgeben. Die dem SolarCoin zugrunde liegende Blockchain-Infrastruktur ist die Energy Web Chain.¹

GrünstromBonusToken

Die blockchainbasierte Lösung der StromDAO GmbH wurde entwickelt, um Transparenz in den Zertifizierungsprozess von erzeugter Energie zu schaffen. So werden die Informationen der Einspeisung von Ökostrom manipulationssicher in einer Blockchain gespeichert. Grundlage dafür sind geeichte digitale Messsysteme/Sensoren, die an die produzierenden Anlagen angebracht wurden. Mit Hilfe dieser Daten ist es den Kunden möglich, den Anteil an Ökostrom zum Zeitpunkt des eigenen Verbrauchs einzusehen oder auch bis zu 24h im Voraus zu prognostizieren. Kunden können damit bewusst eine möglichst große Menge an regionalem Ökostrom verbrauchen und die Menge des konventionell erzeugten Stromverbrauchs reduzieren. Dies belohnt der Anbieter über sogenannte GrünstromBonus Token. Je mehr Grünstrom verbraucht wird, desto mehr Token erhält der Kunde. Mit diesen Token können Anteile an Photovoltaikanlagen erworben werden. Anteilig wird der Kunde dann über seine Stromrechnung für den von den Photovoltaikanlagen eingespeisten Strom entlohnt.²

¹ Für weitere Informationen zu SolarCoin, vgl. <https://solarcoin.org/>.

² Vgl. dazu <https://www.stromdao.de/stromdao-news/blockchain-in-der-energiewende>.

Akkus der Elektrofahrzeuge im P2P-Handel als Speicher genutzt werden, um so auch zur Netzwerkstabilität beitragen zu können.⁵⁵ Die konkrete Anwendung der Kombination von Elektrofahrzeugen und des Energienetzes mit Hilfe der Blockchain-Technologie kann im „Vehicle-to-Grid“-Konzept des Unternehmens blox.move beobachtet werden. Die Akkus der Fahrzeuge werden dort anhand eines Blockchain-Netzwerks an das Stromnetz gekoppelt, um die Netze für erneuerbare Energien zu stabilisieren. Dabei wird die Blockchain-Technologie dazu genutzt, dass sich der Speicher basierend auf dem Herkunftsnachweis des Stroms automatisiert über Smart-Contracts lädt oder entlädt, wenn ein Überschuss oder ein Mangel an (nachhaltig erzeugtem) Strom im Netz vorhanden ist.⁵⁶ Der volkswirtschaftliche Impact solcher Lösungen hängt dabei maßgeblich davon ab, wie sich die Zahl der E-Fahrzeuge entwickelt.

3.3 Potenziale der Blockchain im Transparenz- und Nachhaltigkeitsmanagement

Während das in Kapitel 3.1 thematisierte blockchainbasierte Emissionsmanagement sowie das in Kapitel 3.2 thematisierte Energiemanagement zumeist *unmittelbar* auf die Verfolgung der Ziele des Klimaschutzes sowie der Energiewende einzahlen können, wird in diesem Unterkapitel mit dem blockchainbasierten Transparenz- sowie Nachhaltigkeitsmanagement ein Themenfeld adressiert, welches eher *mittelbar* auf die Verfolgung der Ziele einwirkt. Im Vordergrund beim Transparenz- und Nachhaltigkeitsmanagement steht dabei, wie durch Blockchain der Nachweis der Nachhaltigkeit von Produkten und Prozessen erleichtert bzw. verifiziert werden kann. Das Ziel ist, dass durch den Einsatz von Blockchain die „Tragedy of the Commons“ („Allmendeproblematik“) gemildert werden kann und der Gefahr der *adversen Selektion* und des *Greenwashings* vorgebeugt werden kann, so dass es in der Folge zu einem nachhaltigeren Ressourceneinsatz kommt. Somit wird mittelbar zum Erreichen der Ziele des Klimaschutzes und der Energiewende beigetragen.

⁵⁵ Vgl. Schweizerische Normen-Vereinigung (2022), S. 42ff.

⁵⁶ Für weitere Details zu diesem Use-Case, vgl. <https://bloxmove.com/vehicle-to-grid>.

Die „**Tragedy of the Commons**“⁵⁷ beschreibt das Problem der Übernutzung von öffentlichen Gütern. Durch fehlende Internalisierung von negativen externen Effekten kann es zu einer Übernutzung des öffentlichen Gutes kommen. Im Kontext der vorliegenden Kurzstudie sind hier bspw. die Erdatmosphäre bzw. das Klima als öffentliches Gut zu nennen, welches durch die übermäßige Emission von Treibhausgasen Schaden nimmt, bspw. im Energiebereich durch die übermäßige Nutzung fossiler Energieträger, wie Kohle. Ein weiteres Beispiel ist die übermäßige Rodung von Waldflächen, wovon ebenfalls ein negativer Effekt auf das Klima ausgeht. Notwendige Voraussetzung für die Internalisierung der negativen externen Effekte ist dabei die Transparenz über die Verursacher in Kombination mit einer gleichzeitigen Verpflichtung dieser, den bereits verursachten Schaden, gemessen in monetären Einheiten, zu begleichen und auch in Zukunft dafür aufkommen zu müssen.

Die **adverse Selektion**⁵⁸ bezeichnet einen Prozess, in dem es aufgrund von Intransparenzen und daraus resultierenden Informationsasymmetrien zwischen potenziellen Transaktionspartnern vor Vertragsabschluss zu einer Negativauslese kommt. Im Kontext der Nachhaltigkeitsthematik kann die adverse Selektion darin bestehen, dass sich bei fehlender Transparenz im Markt für den Käufer das tatsächliche Nachhaltigkeitsniveau eines Produkts nicht erkennen lässt. Diese fehlende Information kann dazu führen, dass der Käufer also nicht bereit ist, einen Aufschlag für ein Produkt mit einem potenziell höheren Nachhaltigkeitsniveau zu zahlen, was letztlich dazu führen kann, dass sich die Produkte mit den niedrigsten Nachhaltigkeitsniveaus durchsetzen, da diese am kostengünstigsten angeboten werden können. Der glaubhafte Nachweis des Nachhaltigkeitsniveaus durch Transparenz ist damit notwendige Voraussetzung, damit nachhaltige Produkte im Markt bestehen können.

⁵⁷ Die „Tragedy of the Commons“ oder „Allmendeproblematik“ geht auf Hardin (1968) zurück. Lösungsstrategien auf Basis der Institutionenökonomik wurden von Elinor Ostrom (1990) entwickelt, welche hierfür 2009 den Wirtschaftsnobelpreis erhielt.

⁵⁸ Zum Prozess der adversen Selektion siehe Akerlof (1970), welcher in seinem „Markets for Lemons“-Artikel am Beispiel des Gebrauchtwagenmarkts die Wirkungsweise aufzeigt und hierfür im Jahr 2001 mit dem Wirtschaftsnobelpreis ausgezeichnet wurde.

Greenwashing⁵⁹ bezeichnet den Versuch, für Produkte oder Prozesse den Eindruck von Nachhaltigkeit zu erzeugen, ohne dass dieses de facto der Fall ist. Es handelt sich hierbei also um suggerierte Nachhaltigkeit, um ein grünes Image zu erlangen.⁶⁰ Grundlage von Greenwashing sind wiederum Intransparenzen, die es den Akteuren ermöglichen, den wahren ökologischen Fußabdruck ihrer Produkte und Prozesse zu verschleiern. Erst durch mangelnde Nachprüfbarkeit wird Greenwashing ermöglicht.

Es wird deutlich, dass sowohl für die Allmendeproblematik also auch bei der adversen Selektion und beim Greenwashing die **mangelnde Transparenz** die Basis bildet. Bestehende Informationsasymmetrien sind der Nährboden für diese drei Problematiken. Genau hier ergibt sich der Ansatzpunkt für den Einsatz der Blockchain-Technologie: Durch ihre Eigenschaften der Transparenz in Form von Rückverfolgbarkeit sowie der Irreversibilität hat die Blockchain großes Potenzial, zum **Abbau der Informationsasymmetrien** beizutragen und damit dem Entstehen der Allmendeproblematik als auch der adversen Selektion und dem Greenwashing vorzubeugen.

Plakativ gesprochen, ermöglicht die Blockchain den „**Proof of Green**“⁶¹ von Produkten und Prozessen und vereinfacht damit die Grundlagen für Geschäftsmodelle, die auf der Nachhaltigkeit von Produkten und Prozessen basieren. Kann durch die Blockchain der Nachhaltigkeitsnachweis erbracht werden, trägt die Technologie direkt zur **Wertgenerierung** bei, indem durch den glaubhaften Nachweis der Nachhaltigkeit eine Differenzierung der Produkte nach Grad der Nachhaltigkeit ermöglicht wird und somit Marktsegmente für nachhaltige Produkte entstehen, für die Verbraucher bereit sind einen Preisaufschlag zu zahlen.

Da sich die Blockchain-Technologie für den Einsatz zum Nachweis der Nachhaltigkeit bzw. des ökologischen Fußabdrucks eines Produkts eignet, bietet sich die Technologie auch für den Einsatz im Kontext des

Digitalen Produktpasses (DPP) an.⁶² Die Einführung des DPP wird auf der europäischen Ebene vorangetrieben. Erste Schlüsselanforderungen an den DPP können dem Entwurf der Ökodesign-VO vom 30. März 2022 entnommen werden: Gemäß des Entwurfs ist es vorgesehen, sowohl Nachweispflichten über die Energie- und Ressourceneffizienz als auch über den ökologischen Fußabdruck einzuführen.⁶³ Die Blockchain-Technologie hat das Potenzial, diesen geplanten Nachweispflichten des Gesetzgebers gerecht zu werden und damit gleichzeitig die Informationsasymmetrien in Bezug auf die Nachhaltigkeit der Produkte so weit abzubauen, dass die Grundlage für auf nachhaltige Produkte basierende Geschäftsmodelle geschaffen wird. Das Konzept eines blockchainbasierten DPP wird bspw. vom Dortmunder Unternehmen *Spherity* verfolgt.⁶⁴

Dem Themenfeld Transparenz- und Nachhaltigkeitsmanagement werden in der vorliegenden Kurzstudie ebenfalls blockchainbasierte Ansätze zugeordnet, die insbesondere der Finanzierung von *Climate Tech*⁶⁵ oder anderen Nachhaltigkeitsprojekten dienen. In Anlehnung an den Begriff DeFi (Decentralized Finance) werden diese Ansätze dabei inzwischen unter dem Begriff **Regenerative Finance (ReFi)**⁶⁶ subsumiert.

Gemäß des Reports des UN-Sonderberichterstatter für Menschenrechte und Umweltschutz, David Boyd, ist einer der Hauptgründe für die gegenwärtige Untererfüllung der von der UN definierten SDGs (siehe Kapitel 2) die Unterfinanzierung der Investments in die Ziele.⁶⁷ Die OECD hat diese jährliche Finanzierungslücke zuletzt auf 4.2 Billionen US-Dollar beziffert.⁶⁸ Gemeinsam mit der in Kapitel 3.1 beschriebenen Generierung von Vertrauen in die Produkte der Kompensationsmärkte, können die

62 Zur Diskussion des Einsatzes der Blockchain-Technologie im Kontext des Digitalen Produktpasses siehe auch die bereits im Rahmen des Fachdialogs Blockchain erschienene Studie zum Thema Nachhaltigkeit: Culotta et al. (2021).

63 Vgl. Entwurf „Ecodesign for Sustainable Products Regulation“ (‘Ökodesign-VO’): EU-Kommission (2022).

64 Siehe hierzu <https://www.spherity.com/digital-product-passport>

65 Unter Climate Tech versteht man neuartige Technologien, die dem Klimaschutz dienen. Siehe PWC (2021) für einen Überblick.

66 Für einen Überblick über den gegenwärtigen Entwicklungsstand von ReFi siehe bspw. Schletz (2022). Für eine Einführung in das Thema ReFi siehe bspw. Prados (2022).

67 Vgl. Boyd (2022).

68 Vgl. OECD (2021).

59 Für einen Überblick über die Konzepte und die Formen von Greenwashing, siehe De Freitas Netto et al. (2020).

60 Vgl. Lin-Hi (2022).

61 Zum blockchainbasierten „Proof of Green“ siehe bspw. United Nations Environment Programme, & Social Alpha Foundation (2022), Kapitel 2.2.

blockchainbasierten ReFi-Ansätze dabei zum Schließen der Finanzierungslücke beitragen. Die Vision von ReFi besteht darin, über die entsprechende anreizbasierte Ausgestaltung der Governance der Blockchain-Lösungen (Stichwort Tokenomics), Incentivierungen für ein nachhaltiges Investieren zu schaffen.⁶⁹ Über ReFi-Ansätze kann Blockchain somit dazu beitragen, dass das Investieren in Nachhaltigkeit für individuelle Akteure kein selbstloser „Charity“-Akt ist, sondern rationales wirtschaftliches Kalkül. Auf diesem Weg können DeFi-Ansätze wesentlich dazu beitragen, nachhaltige Geschäftsmodelle zu skalieren.

Einen ambitionierten Ansatz verfolgt dabei das kalifornische Start-up *Bitgreen*.⁷⁰ Das im Jahr 2021 gegründete Startup ist dabei, eine Layer-1 Blockchain aufzubauen, die eine blockchainbasierte Plattform für ReFi-Dienste werden soll. Die Bitgreen-Blockchain wird als Parachain im Polkadot-Ökosystem aufgebaut. Es handelt sich um eine *open permissionless Blockchain*⁷¹, welche auf den Proof-of-Stake Konsensmechanismus setzt. Das Ziel von Bitgreen ist,

im Laufe der nächsten Dekade nachhaltige Investments in Form von Security Tokens („Digital Green Bonds“) und Carbon Credit Tokens⁷² in Höhe von mindestens 1 Billion US-Dollar über die blockchainbasierte Plattform abzuwickeln und auf diesem Weg zum Schließen der oben genannten Finanzierungslücke im Bereich Nachhaltigkeit beizutragen.⁷³

Nachdem im vorliegenden Kapitel die Potenziale der Blockchain-Technologie zum Erreichen der Ziele des Klimaschutzes und der Energiewende auf theoretischer Basis erörtert wurden, erfolgt im folgenden Kapitel ein empirischer Blick in die Praxis: Wie schätzen Führungskräfte mit Blockchain-Erfahrung aus deutschen Unternehmen die Potenziale der Blockchain-Technologie im Bereich des Energie-, des Emissions- und des Transparenz- und Nachhaltigkeitsmanagements ein? Dazu werden die Ergebnisse einer eigens für den Fachdialog Blockchain von der IT Universität Kopenhagen durchgeführten Umfrage unter 200 deutschen Unternehmen aus energieintensiven Branchen präsentiert.

69 Zur Incentivierung zu nachhaltigem Verhalten via der Ausgestaltung der Blockchain-Lösung siehe Smajgl / Schweik (2022).

70 Siehe www.bitgreen.org [zuletzt abgerufen am 11.12.2022].

71 Zur Klassifizierung der Blockchain-Formen siehe die im Rahmen von ISO entwickelte Taxonomie: ISO/TS 23635:2022 „Blockchain and distributed ledger technologies – Guidelines for governance“.

72 Siehe hierzu auch Kapitel 3.2.

73 Vgl. Carver (2022).

4 UNTERNEHMENSUMFRAGE ZUR EINSCHÄTZUNG DER POTENZIALE DER BLOCKCHAIN-TECHNOLOGIE ZUM ZWECKE DES KLIMASCHUTZES UND DER ENERGIEWENDE

4.1 Aufbau der Umfrage und Beschreibung der Stichprobe

4.1.1 Zielsetzung und Strukturierung der Umfrage

Mit diesem empirischen Teil wird das Ziel verfolgt, die Einstellungen deutscher Unternehmen zu den Potenzialen der Blockchain-Technologie für den Klimaschutz und die Energiewende zu erfassen. Im Zentrum der Umfrage stehen die Einschätzungen von Entscheidungstragenden in den befragten Unternehmen zur Verwendung von Blockchain-Technologien in den drei in Kapitel 3 bereits skizzierten Einsatzbereichen **Emissionsmanagement**, **Energiemanagement** sowie **Transparenz- und Nachhaltigkeitsmanagement**. Zunächst ermittelt die Umfrage auf deskriptiver Ebene die Einschätzung der Einsatzpotenziale von Blockchain in diesen Bereichen aus der Unternehmenssicht (Kapitel 4.2), um dann mögliche Auswirkungen der Realisierung dieser Potenziale auf das **ökologisch nachhaltige Handeln** der Unternehmen

statistisch aufzuzeigen (Kapitel 4.3). Dazu wurden die Unternehmen gebeten, Auskunft über den aktuellen Grad ökologisch nachhaltigen Wirtschaftens ihrer Organisation zum Zeitpunkt der Datenerhebung zu geben. Um Ansätze für effektive ordnungs- und wirtschaftspolitische Handlungsoptionen zu erlangen, die der Förderung des Klimaschutzes und der Energiewende mittels Blockchain dienen, widmet sich Kapitel 4.4 der Frage, wie mögliche staatliche Maßnahmen durch die Unternehmen eingeschätzt werden. Um auch die Effekte solcher Maßnahmen statistisch in den Kontext zu setzen, werden diese auf ihre mögliche Auswirkung auf die drei Einsatzbereiche Emissionsmanagement, Energiemanagement sowie Transparenz- und Nachhaltigkeitsmanagement durch Blockchain-Technologie evaluiert. Auf Basis dieser statistisch ermittelten Zusammenhänge folgt in Kapitel 4.5 eine **Zusammenfassung der Ergebnisse** der vorangegangenen Analyseschritte, die der Überleitung zur Definition und Diskussion von Handlungsfeldern für staatliche Institutionen in Kapitel 5 dient.

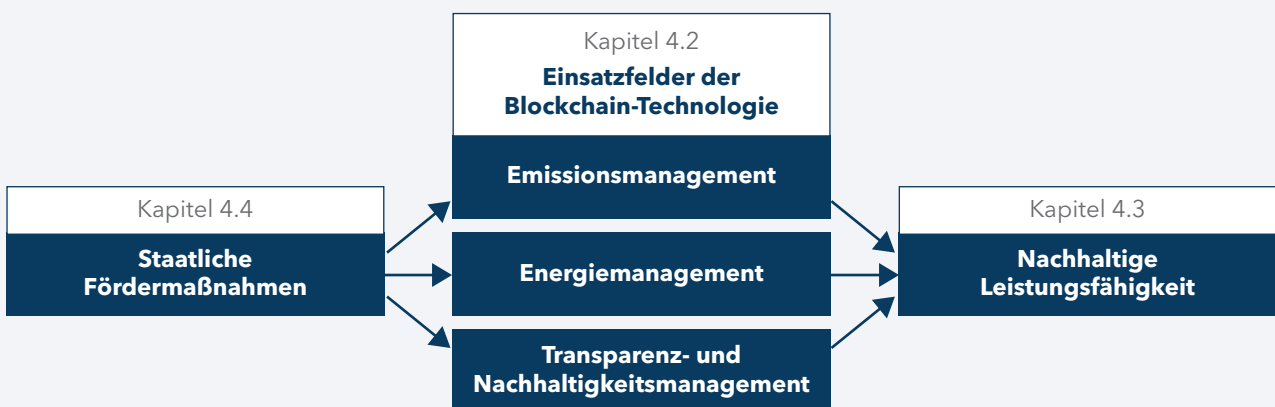


Abbildung 2: Aufbau der Unternehmensumfrage

Im folgenden Unterkapitel wird die Unternehmensstichprobe näher beschrieben. Dazu wird in den folgenden Teilen des ersten Kapitels zunächst die Auswahl und Zusammenstellung der empirischen Stichprobe im Detail vorgestellt, dessen Wissensstand und Implementierungsgrad von Blockchain-Technologien analysiert und Einblick in die angewandten statistischen Methodiken zur Gestaltung und Auswertung der Umfrage gegeben.

4.1.2 Die Unternehmensstichprobe und deren Auswahlkriterien

Die finale Stichprobe der Unternehmensumfrage, durchgeführt im Herbst 2022 als Online-Befragung, umfasst **200 Beantwortungen durch Führungskräfte Blockchain-erfahrener deutscher Unternehmen mit mehr als zehn Beschäftigten, welche in energieintensiven Branchen wirtschaftlich tätig sind**. Im Folgenden werden die Auswahlkriterien für die Umfrage näher erläutert:

Fokus auf Führungsebene

Die Befragung richtete sich ausschließlich an Führungskräfte in Unternehmen, um zu gewährleisten, dass die Befragten über das nötige Überblickswissen und die Erfahrung verfügen, um Fragen von unternehmensstrategischer Tragweite fundiert beantworten zu können. Die berücksichtigten betrieblichen Positionen umfassten Geschäftsführerinnen und

Geschäftsführer sowie Eigentümerinnen und Eigentümer, das C-Level-Management sowie die mittlere Führungsebene, wie etwa Abteilungsleitende.

Fokus auf energieintensive Branchen

Um die Relevanz der Umfrage für Fragen des Klimaschutzes und der Energiewende zu erhöhen, zielt die Umfrage auf Unternehmen aus **energieintensiven Branchen** ab.⁷⁴

Zu den adressierten Branchen zählen u.a. Energieerzeuger und Versorgungsunternehmen in den Bereichen Elektrizität, Gas, Wasser und Abfall sowie die Erdöl- und Petrochemie, Unternehmen aus der industriellen Fertigung, der Bauwirtschaft sowie der Automobilwirtschaft und der Luftfahrt, ergänzt um Unternehmen aus dem Bereich Transport und Logistik sowie der Landwirtschaft. Die Zusammensetzung der Stichprobe nach Branchen ist in Abb. 3 dargestellt. Stark vertreten sind vor allem Versorgungsunternehmen aus dem Bereich Energie, Gas und Wasser (n = 43), Unternehmen aus der Automobilwirtschaft und Luftfahrt (n = 38) sowie Unternehmen aus der industriellen Fertigung (n = 34).

⁷⁴ Bei der Auswahl energieintensiver Branchen wurden sowohl die Klassifizierungen des BAFA bzgl. des Energiekostendämpfungsprogramms (abrufbar unter: https://www.bafa.de/SharedDocs/Downloads/DE/Energie/ekdp_merkblatt.pdf;jsessionid=1D0E8EC767D2002BD6E2AC874B612BB2.intranet671?__blob=publicationFile&v=3), als auch die Definitionen von Destatis (abrufbar unter: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Industrie-Verarbeitendes-Gewerbe/produktionsindex-energieintensive-branchen.html#629666>) berücksichtigt.

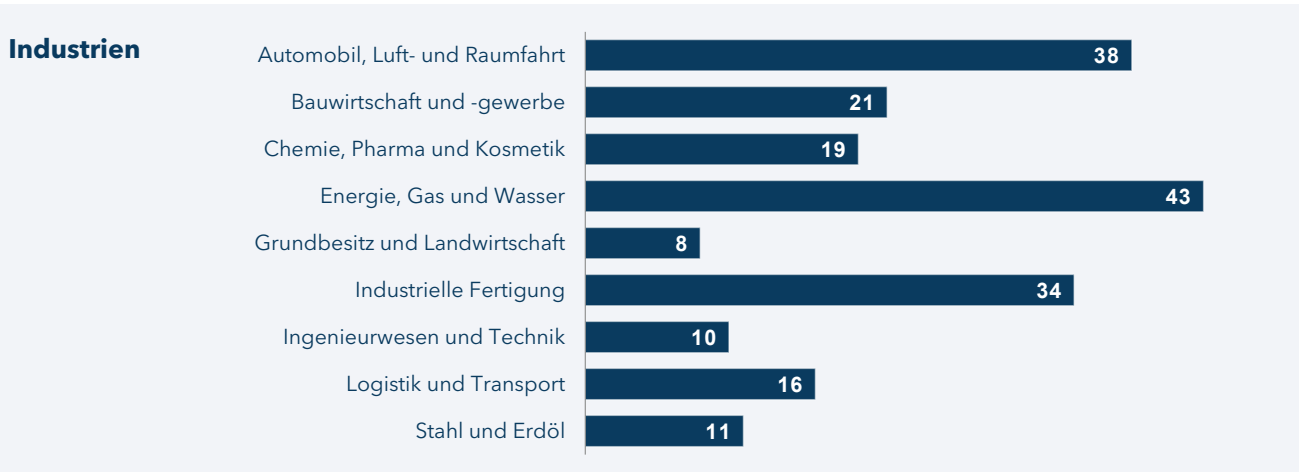


Abbildung 3: Zusammensetzung der Unternehmensumfrage nach Branchen (n = 200)

Mindestgröße der befragten Unternehmen

Um eine gewisse Bedeutsamkeit für klimarelevanten Handeln sicherzustellen, wurden in der Umfrage Unternehmen ab einer Größe von zehn Beschäftigten berücksichtigt. Ca. 1/5 der Unternehmen in der Stichprobe sind dem Mittelstand zuzuordnen (bis 250 Beschäftigte). Knapp die Hälfte der Stichprobe machen mittelgroße Unternehmen aus (251 bis 2500 Beschäftigte). Bei ca. 1/3 der Unternehmen handelt es sich um Großunternehmen mit mehr als 2500 Beschäftigten. Im Durchschnitt beschäftigt ein Unternehmen der Stichprobe 19946 Personen, was deutlich macht, dass auch Großkonzerne in der Stichprobe enthalten sind. Der Median der Stichprobe beträgt 810 Beschäftigte.

Blockchain-Wissen und -Assimilierungsgrad als Auswahlkriterium

Wesentliches Auswahlkriterium für die Umfrage war das im Unternehmen vorhandene Wissen über Blockchain-Technologie. Die befragten Führungskräfte wurden hierzu zu einer entsprechenden Selbsteinschätzung aufgefordert. Dazu standen vier Auswahlmöglichkeiten zur Verfügung. Die Befragten konnten angeben, ob das Unternehmen mit Blockchain [1] überhaupt nicht, [2] zu einem geringen Maß, [3] zu einem gewissen Maß oder [4] zu einem hohen Maß vertraut ist. Eingang in die finale Stichprobe fanden nur diejenigen Befragten, die ihrem Unternehmen mindestens ein gewisses Maß an Vertrautheit mit der Blockchain-Technologie attestiert haben (Antwortmöglichkeiten [3] und [4]). Wie in Abb. 4 ersichtlich,

setzt sich die finale Stichprobe aus knapp 60% an Unternehmen mit einem hohen Maß an Blockchain-Wissen und gut 40% mit gewissem Blockchain-Wissen zusammen.

Beim Blick in die Daten zeigt sich, dass jüngere Unternehmen in der durchgeführten Untersuchung ein tendenziell höheres Blockchain-Wissen als früher gegründete Unternehmen aufweisen, was sich in einer schwachen Korrelation von +0.16 niederschlägt. Zudem zeigt sich, dass das Ausmaß des Blockchain-Wissens mit der allgemeinen strategischen Bedeutung, die der Digitalisierung im Unternehmen zugeordnet wird, korreliert: In der Tendenz gilt, dass das Blockchain-Wissen umso ausgeprägter ist, desto höher der strategische Stellenwert der Digitalisierung im Unternehmen bewertet ist.

Neben dem Wissen über Blockchain wurden die Befragten ebenfalls aufgefordert anzugeben, inwieweit ihre Organisation Blockchain-Anwendungen plant oder bereits im Einsatz hat. Für eine strukturierte Abfrage wird dabei auf eine validierte Skala zur Messung der Durchdringung einer digitalen Innovation in Unternehmen zurückgegriffen. Diese siebenstufige sogenannte „Guttman“-Skala erfasst das aktuelle Stadium der Blockchain-Assimilierung im jeweiligen Unternehmen zum Zeitpunkt der Umfrage (Herbst 2022). Assimilierung beschreibt im Allgemeinen das Ausmaß, in dem eine Organisation den Lebenszyklus von der anfänglichen Sensibilisierung bis zur

Blockchain-Wissen im Unternehmen

Inwieweit ist Ihr Unternehmen mit Blockchain vertraut?

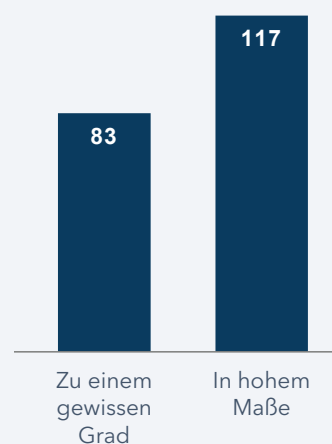


Abbildung 4: Verteilung des Blockchain-Wissens der Unternehmen in der Stichprobe (n = 200)

Blockchain-Assimilierungsgrad der befragten Unternehmen

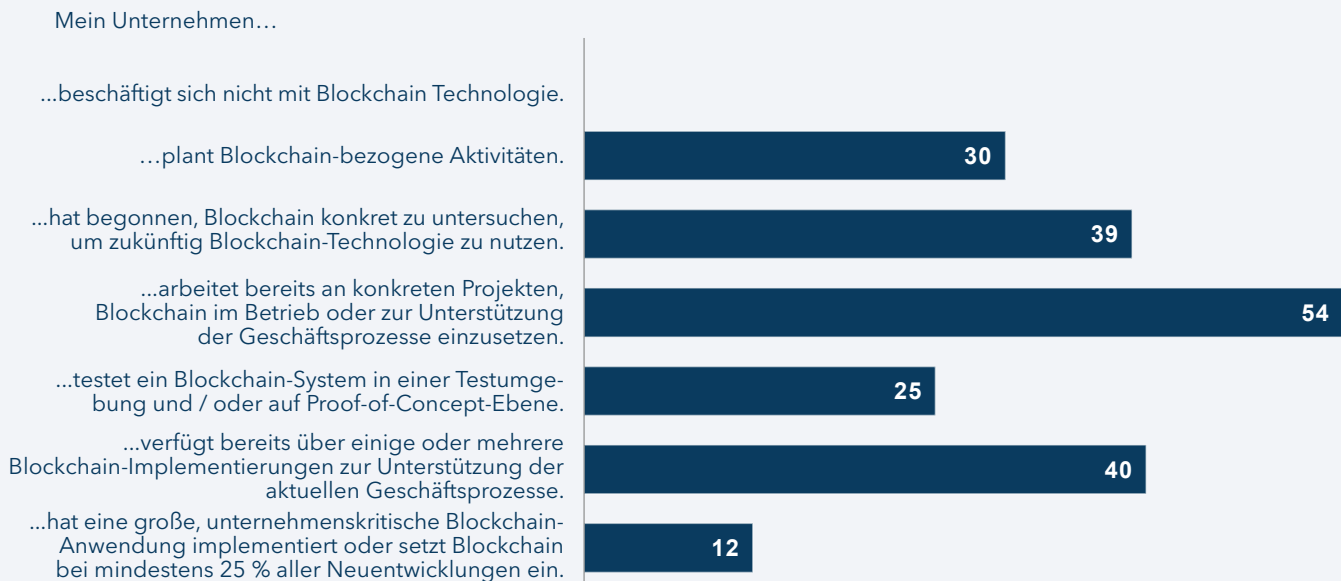


Abbildung 5: Blockchain-Assimilierungsgrad der befragten Unternehmen (n = 200)

vollständigen institutionellen Implementierung einer Innovation durchläuft. Die verwendete Skala beruht auf früheren wissenschaftlichen Untersuchungen zur Assimilierung von Software-Prozessinnovationen und elektronischen Beschaffungslösungen im Bereich der Informationssysteme.⁷⁵

Die Befragten wurden also gebeten, den aktuellen Stand der Blockchain-Implementierung im eigenen Unternehmen auf der siebenstufigen Skala einzuordnen, wobei hier von Planungen über begonnene Aktivitäten und Projekte bis zu ersten Prozessimplementierungen und kritischen geschäftstragenden Anwendungen unterschieden wird. Unternehmen, die durch die jeweiligen Führungskräfte auf der niedrigsten Assimilierungsstufe ([1] „Mein Unternehmen beschäftigt sich nicht mit der Blockchain-Technologie“) eingeordnet wurden, haben keinen Eingang in die finale Stichprobe gefunden. Durch die gleichzeitige Berücksichtigung des Assimilierungsgrades der Blockchain-Technologie sowie des Blockchain-Wissens wird sichergestellt, dass in der Stichprobe nur Unternehmen vertreten sind, die fundiert zum Thema

Blockchain Stellung nehmen können. Wie Abb. 5 zeigt, haben von den 200 Unternehmen, die Berücksichtigung in der finalen Stichprobe gefunden haben, ca. 1/4 bereits Blockchain-Lösungen implementiert (Assimilierungsgrad [6] und [7]), während ca. 40% Blockchain-Lösungen im Testbetrieb haben oder damit konkret planen (Assimilierungsgrad [4] und [5]). Ein gutes Drittel der befragten Unternehmen verfolgt die Absicht, auf Blockchain zu setzen und steht am Beginn erster Planungen [Assimilierungsgrad [2] und [3]].

Da die Befragten im Rahmen der Umfrage Auskunft darüber gegeben haben, seit wann sich das Unternehmen mit dem Thema Blockchain beschäftigt, lässt sich anhand der Daten zeigen, dass ein früher begonnenes Auseinandersetzen mit der Blockchain-Technologie tendenziell mit einem höheren Blockchain-Assimilierungsgrad zum Zeitpunkt der Studie einhergeht (Korrelation von +0.18).

Im Durchschnitt beschäftigen sich die Unternehmen in der finalen Stichprobe seit 2017 mit der Blockchain-Technologie. Während sich ca. 15% bereits seit 2012 oder früher mit der Technologie auseinandersetzen, hat sich ein knappes Drittel erst seit 2020 oder später mit der Technologie befasst.

⁷⁵ Siehe Fichman (2001). The Role of Aggregation in the Measurement of IT-Related Organizational Innovation. *MIS Quarterly* 25 (4), 427-455.

Generierung der Stichprobe und Sicherstellung der Antwortqualität

In der technischen Umsetzung der Umfrage wurden zur Berücksichtigung der Auswahlkriterien entsprechende Filterfragen in den Fragebogen eingefügt. Mit der Akquirierung potenzieller geeigneter Teilnehmer wurde ein internationales Marktforschungsinstitut beauftragt. Von den insgesamt 1008 Teilnehmern wurden alle aussortiert, die mindestens eins der oben erläuterten Auswahlkriterien nicht erfüllt haben. Darüber hinaus wurden mehrere Plausibilitätsprüfungen durchgeführt, um die Datenqualität und -konsistenz zu kontrollieren. Als Resultat der Auswahlkriterien und der Qualitätsmaßnahmen umfasst die auszuwertende Stichprobe schlussendlich 200 Teilnehmer.

4.1.3 Statistische Auswertungsmethodik

Die erhobenen Umfragedaten wurden mit statistischen Verfahren und entsprechender Software ausgewertet. Die inhaltlichen Fragemodule wurden durch die Befragten anhand einer fünfstufigen Likert-Skala bewertet. Die Beschreibung der Skala war wie folgt gestaltet: [1] *trifft voll und ganz zu*; [2] *trifft eher zu*; [3] *neutral*; [4] *trifft weniger zu*; [5] *trifft gar nicht zu*. Die im Textteil gezeigten oder diskutierten Korrelationen sind sämtlich auf statistische Signifikanz getestet worden. Der Anhang (A1 – A6) der vorliegenden Kurzstudie gibt Auskunft über die Stärke der gemessenen Zusammenhänge der einzelnen Variablen. Bei Korrelationen ab einem Wert von 0,3 wird in der vorliegenden Kurzstudie von einem nennenswerten Zusammenhang ausgegangen. Werte ab 0,5 stellen einen statistisch hohen Zusammenhang dar und werden als starker Zusammenhang interpretiert.

Auf Basis der Korrelationsanalyse zwischen den Variablen werden inhaltliche Ableitungen getroffen. Die einzelnen Fragen aus der Umfrage (Items) werden im Rahmen der Zusammenhangsanalyse zu inhaltlich homogenen Blöcken (Konstrukten) zusammengefasst und anhand von Strukturgleichungsmodellen ausgewertet. In der Analyse wird anschließend zwischen den Zusammenhängen zwischen den aggregierten inhaltlichen Blöcken (Konstruktebene) und den Zusammenhängen zwischen einzelnen Fragen (Itemebene) differenziert. Allgemein zu beachten ist,

dass die gewählte Methodik keine statistisch abgesicherten Aussagen über die Kausalität zulässt. Zum Teil können aber auf der Basis von theoretischer Plausibilität sowie Expertenwissen aus der Praxis Annahmen über die Wirkrichtungen getroffen werden.

4.2 Einschätzung der Potenziale der Blockchain-Technologie für den Klimaschutz und die Energiewende

Im vorliegenden Kapitel werden die deskriptiven Ergebnisse präsentiert, wie die befragten Unternehmen die Potenziale der Blockchain-Technologie für ökologisch nachhaltiges Handeln im Sinne der Klimaschutz- und Energiewendeziele einschätzen.

Die Präsentation der Umfrageergebnisse erfolgt dabei entlang der drei in Kapitel 3 bereits skizzierten potenziellen Einsatzbereiche:

- ▶ Das **Emissionsmanagement**⁷⁶ umfasst, wie Unternehmen den Einsatz von Blockchain-Technologien bezüglich der Erfassung von Treibhausgasen sowie dem Handel von Zertifikaten einschätzen.
- ▶ Das **Energiemanagement**⁷⁷ betrachtet die mögliche Nutzung von Blockchain-Technologien für die Erzeugung, den Bezug sowie den Verbrauch von Energie, um die Ziele der Energiewende zu erreichen und den Umstieg auf erneuerbare Energien zu befördern.
- ▶ Das **Transparenz- und Nachhaltigkeitsmanagement**⁷⁸ beinhaltet, wie Unternehmen die Bedeutung von Blockchain-Technologien in Bezug auf erhöhte Transparenz zur Unterstützung von klimarelevantem nachhaltigen Handeln beurteilen.

Im Folgenden wird für jedes dieser drei Felder die Einschätzung der befragten Unternehmen zum potenziellen Einsatz der Blockchain-Technologie präsentiert.

⁷⁶ Siehe Kapitel 3.1 für eine ausführlichere Skizzierung des Themenfelds „Emissionsmanagement“.

⁷⁷ Siehe Kapitel 3.2 für eine ausführlichere Skizzierung des Themenfelds „Energiemanagement“.

⁷⁸ Siehe Kapitel 3.3 für eine ausführlichere Skizzierung des Themenfelds „Transparenz- und Nachhaltigkeitsmanagement“.

Emissionsmanagement

Die Blockchain-Technologie ermöglicht unserem Unternehmen...

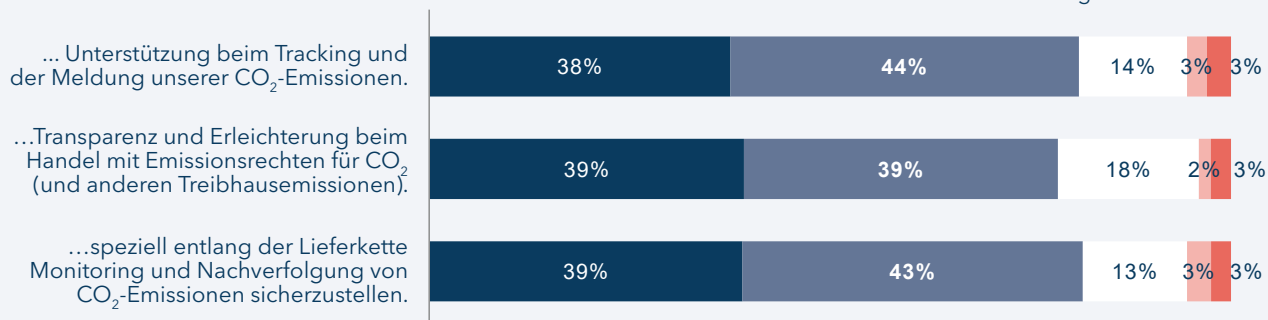


Abbildung 6: Bewertung des möglichen Einsatzes von Blockchain für das Emissionsmanagement (n = 200)

4.2.1 Potenziale im Emissionsmanagement

Die Relevanz des Managements der eigenen Treibhausgasemissionen ist für Unternehmen in den letzten Jahren zunehmend gestiegen, zum einen durch strenger werdende regulatorische Vorgaben, zum anderen aber auch durch ein gestiegenes Bewusstsein bei den Verbrauchern, wodurch sich die Klimaneutralität von Produkten und Dienstleistungen zum Kaufaspekt entwickelt. Dementsprechend steigt der Bedarf an leistungsfähigen Tools zur exakten, verlässlichen und standardisierten Abbildung der CO₂-Emissionen von Unternehmen in Deutschland.

Wie die Ergebnisse der Unternehmensbefragung zum Einsatzfeld Emissionsmanagement in Abbildung 6 zeigen, sehen die Befragten große Potenziale des Blockchain-Einsatzes in diesem Bereich. Insbesondere für das Tracking der unternehmensinternen CO₂-Emissionen sowie für das unternehmensübergreifende Nachverfolgen und das Monitoring von CO₂-Emissionen entlang der Supply Chains erkennen jeweils 82%⁷⁹ der Führungskräfte Potenziale. Beide Einsatzszenarien sind dem in Kapitel 3.1 beschriebenen **Carbon-Insetting** zuzuordnen.

⁷⁹ Hier und im Folgenden ergeben sich die Werte der Zustimmung aus der Addition der Werte für die Kategorien „trifft voll und ganz zu“ sowie „trifft eher zu“.

Ebenfalls auf breite Zustimmung stoßen bei 78% der befragten Unternehmen die Potenziale der Blockchain-Technologie beim **Carbon-Offsetting** und im **Emissionshandel**.

4.2.2 Einschätzung der Potenziale im Energiemanagement

Angesichts der aktuellen Energiekrise und der damit einhergehenden Preisentwicklungen an den Energiemärkten hat das Energiemanagement in der deutschen Wirtschaft stark an Bedeutung gewonnen. Die Unternehmen setzen sich intensiv mit den Möglichkeiten für Energieeinsparungen sowie der Umstellung auf regenerative Energiequellen auseinander. Die Energiekrise hat also in gewisser Weise den Druck zur Umsetzung der Ziele der Energiewende erhöht. Vor diesem Hintergrund ist es besonders interessant zu sehen, wie die Unternehmen die Potenziale der in Kapitel 3.2 skizzierten Anwendungsfelder der Blockchain-Technologie im Energiemanagement einschätzen.

Mit 82% der Befragten bestätigt die überwiegende Mehrheit, dass die Blockchain-Technologie grundsätzlich dazu geeignet sei, einen Beitrag zur Umsetzung der Ziele der Energiewende auf Unternehmensebene leisten zu können, also zur Reduktion des Energieverbrauchs sowie zu einer Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energien. Mit Blick auf die konkreten Potenziale, die die Blockchain-Technologie für

diese Zielstellung bieten kann, sehen die befragten Führungskräfte die größten Potenziale im Monitoring und der Nachverfolgung einer dezentralen sauberen Energieversorgung: Dies bestätigten 83% der Befragten. Durch die der Technologie inhärenten Eigenschaft der Fälschungssicherheit ermöglicht die Verbindung mit einem Smart-Meter-Gateway, die nachhaltig erzeugte Energie von der Entstehung bis zum Verbrauch nachzuverfolgen. Weiteres Potenzial sehen 76% der befragten Personen darin, durch den Einsatz der Blockchain im Energiemanagement zu einem nachhaltigeren Energieverbrauch zu gelangen, wobei hier nachhaltig sowohl in der ökonomischen Dimension (Effizienzvorteile durch Blockchain) als auch in der ökologischen Dimension (Herkunftsnachweis für grünen Strom) verstanden werden kann.

Die wenigsten Befragten, aber mit 73% ein noch immer hoher Anteil, bestätigen, dass Blockchain das Potenzial hat, es Unternehmen zu ermöglichen, selbst als Energieerzeuger tätig zu werden. Mit 12% erfuhr dieses Item in diesem Fragenbereich zudem eine höhere Ablehnung. Ein möglicher Erklärungsansatz dafür könnte darin gesehen werden, dass die Befragten dieses Item aus einer technischen Perspektive beurteilten: In der Tat ist es auch bereits in der

aktuellen Situation ohne den Einsatz der Blockchain möglich, durch den Erwerb dezentraler Erzeugungsanlagen als Erzeuger tätig zu werden. Dadurch könnte Blockchain-Technologie im Hinblick auf die technische Erzeugung hierfür weniger als Enabler gesehen werden. Aus ökonomischer Sicht aber könnte der Einsatz zu einer Vereinfachung des Handels sowie zum Abbau von Transaktionskosten führen.

4.2.3 Einschätzung der Potenziale im Transparenz- und Nachhaltigkeitsmanagement

Der Bedarf zum Nachweis der Nachhaltigkeit von Produkten und Prozessen ist in der letzten Zeit stark gestiegen, sei es durch zunehmende Regulierung im Bereich des Corporate Responsibility Reportings (Stichwort Produktpass) oder auch durch ein gestiegenes Bewusstsein für Nachhaltigkeitsfragen bei den Konsumenten. Dies erhöht den Druck für die Unternehmen, geeignete Tools und Technologien zu implementieren, die diesen gestiegenen Nachweispflichten gerecht werden. Wie in Kapitel 3.3 erläutert, kann sich hier die Blockchain als mögliche Technologie für ein verbessertes Nachhaltigkeitsmanagement anbieten, da sie durch die ihr inhärenten Eigenschaften die Transparenz erhöht und somit geeignet scheint,

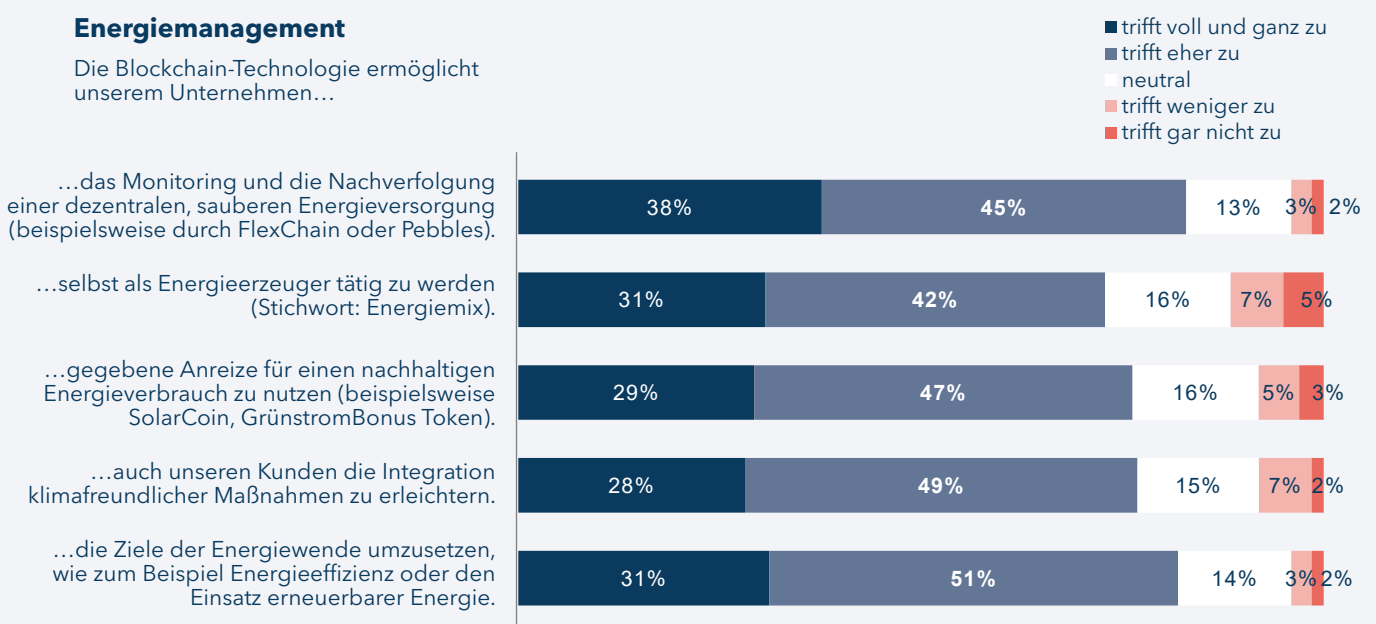


Abbildung 7: Bewertung des möglichen Einsatzes von Blockchain für das Energiemanagement (n = 200)

Transparenz- und Nachhaltigkeitsmanagement

Die Blockchain-Technologie ermöglicht unserem Unternehmen...

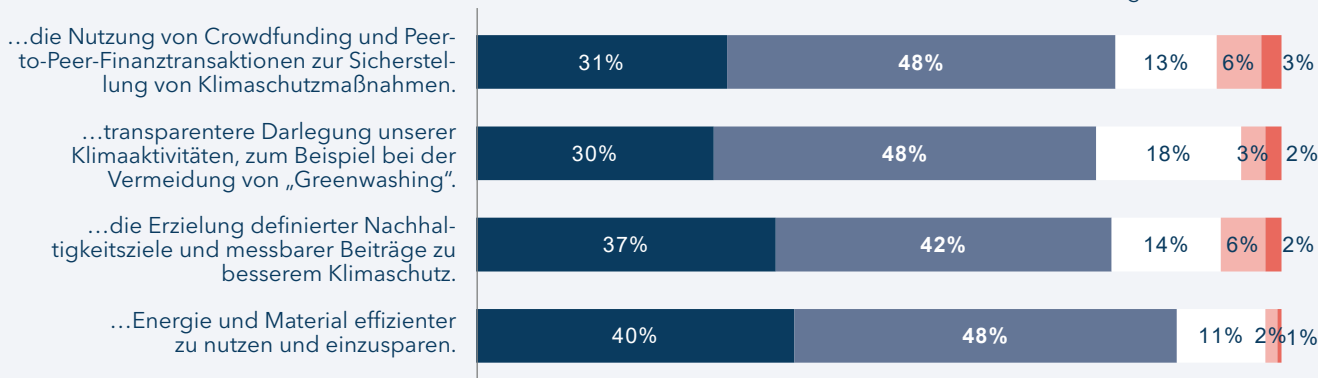
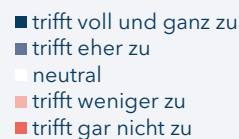


Abbildung 8: Bewertung des möglichen Einsatzes von Blockchain für das Transparenz- und Nachhaltigkeitsmanagement (n = 200)

Greenwashing und der adversen Selektion vorbeugen zu können. Wie die Ergebnisse der Umfrage zu diesem möglichen Einsatzbereich in Abb. 8 zeigen, stößt die Eignung der Blockchain-Technologie für dieses Einsatzfeld auf breite Zustimmung durch die befragten Führungskräfte: Knapp 80% der Befragten sehen Potenzial in der transparenteren Darlegung der Klimaaktivitäten bzw. der Nachhaltigkeit als „Proof of Green“ für ihr eigenes Unternehmen. Bemerkenswert ist, dass ein noch größerer Anteil (88%) der Befragten Potenziale zur Ressourceneffizienz im eigenen Unternehmen durch den Einsatz von Blockchain erkennt. Hier zeigt sich, dass sich der Einsatz der Blockchain-Technologie in diesem Kontext im Schnittpunkt ökologischer und ökonomischer Nachhaltigkeit bewegt: Die Unternehmen sehen die Potenziale der Technologie nicht nur im Signaling der Nachhaltigkeit nach außen, sondern auch für unternehmensinterne Vorteile in Form von Ressourceneinsparungen durch verbessertes Tracking und damit verbundener Effizienzsteigerungen durch gesteigerte Transparenz.

Das Potenzial von blockchainbasierten Finanzierungsinstrumenten zur Unterstützung von Nachhaltigkeitsprojekten erzielt zwar insgesamt auch hohe Zustimmungswerte (79%), allerdings erhält diese Frage im Durchschnitt die geringste Zustimmung in diesem Themenfeld. Diese Einschätzung zeigt sich auch darin,

dass der Anteil der Unternehmen, die eine negative Einschätzung zu diesem Aspekt haben, mit 9% am höchsten ausfällt. Dies kann als Indikator verstanden werden, dass noch nicht alle Unternehmen, die prinzipiell Einsatzpotenziale der Technologie im Nachhaltigkeitsmanagement sehen, auch tatsächlich Blockchain-Lösungen zur Finanzierung von nachhaltigen Investitionen in Betracht ziehen. Ein Grund hierfür kann darin liegen, dass im Finanzierungsbereich die regulativen Vorschriften für die Unternehmen steigen, wodurch hier stärkere Hemmnisse für die Integration von Blockchain-Lösungen erwachsen können als beim Einsatz als Nachhaltigkeitsnachweis.

4.3 Selbsteinschätzung der nachhaltigen Leistungsfähigkeit der Unternehmen mit Zusammenhangsanalyse zu den Einsatzfeldern der Blockchain-Technologie

Nachdem im vorangegangenen Kapitel 4.2 die Einschätzungen der Potenziale der Blockchain-Technologie durch die befragten Unternehmen in den Bereichen Emissionsmanagement, Energiemanagement und des Nachhaltigkeits- und Transparenzmanagements deskriptiv vorgestellt wurden, wird im nun folgenden Kapitel 4.3.1 zunächst die Selbsteinschätzung

der nachhaltigen Leistungsfähigkeit der Unternehmen deskriptiv beschrieben, wobei hierzu auf die ökologische Dimension der Nachhaltigkeit fokussiert wird. Mit dieser Betrachtung wird die Grundlage geschaffen, um in Kapitel 4.3.2 anhand des gewählten Strukturgleichungsmodells zu prüfen, wie die in Kapitel 4.2 beschriebenen drei Einsatzfelder der Blockchain-Technologie zu einer Stärkung des Klimaschutzes und der Umsetzung der Energiewende durch die Stärkung der nachhaltigen Leistungsfähigkeit der Unternehmen beitragen können.

4.3.1 Selbsteinschätzung der nachhaltigen Leistungsfähigkeit der Unternehmen

Eine Messung der nachhaltigen Leistungsfähigkeit der Unternehmen soll Auskunft darüber geben, inwiefern ökonomische und ökologische Nachhaltigkeit im Betrieb im Einklang stehen. Damit wird erfasst, in welchem Ausmaß die Unternehmen im Rahmen der Selbstoptimierung des Unternehmens auch ökologische Aspekte ins Kalkül nehmen. Es geht hier also nicht in erster Linie um altruistisches Verhalten der Unternehmen zugunsten der Umwelt, sondern darum, inwiefern ökologische Aspekte, die sich zugleich

positiv auf das Betriebsergebnis auswirken können, auch im strategischen Kalkül der Unternehmen Beachtung finden, als möglicher Gleichklang von ökologischer und ökonomischer Nachhaltigkeit. Im Rahmen der Umfrage sollten die Befragten hierzu für bestimmte Entscheidungsgrößen bewerten, inwiefern diese in ihren Unternehmen bei der Evaluation von Geschäftspraktiken Berücksichtigung finden. Dabei handelt es sich um Entscheidungsgrößen, die sich positiv auf die ökologische und ökonomische Nachhaltigkeit auswirken können.

Die in Abb. 9 illustrierten Ergebnisse zeigen, dass insbesondere die Kapazitätsauslastung als Entscheidungsgröße bei den Unternehmen hohe Berücksichtigung genießt. Knapp die Hälfte der Unternehmen stimmen hier voll und ganz zu. Bei nur 3% der Unternehmen findet die Kapazitätsauslastung als Entscheidungsgröße keine Berücksichtigung.

Ebenfalls hohe Bedeutung erfährt die effizientere Nutzung bzw. die Einsparung von Ressourcen als Entscheidungsgröße in den befragten Unternehmen. Über 80% der befragten Organisationen berücksichtigen dies zu einem hohen oder einem gewissen

Nachhaltige Leistungsfähigkeit der Unternehmen

Bei der Auswahl neuer und Überprüfung bestehender Geschäftspraktiken beachtet unser Unternehmen als Entscheidungsgrößen...

- trifft voll und ganz zu
- trifft eher zu
- neutral
- trifft weniger zu
- trifft gar nicht zu

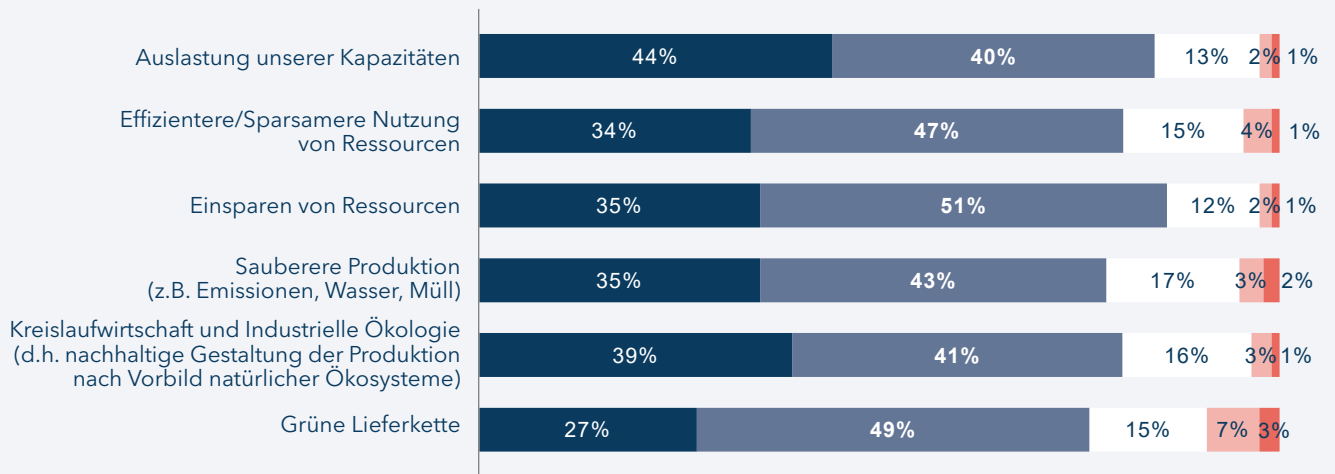


Abbildung 9: Selbsteinschätzung der nachhaltigen Leistungsfähigkeit durch die Unternehmen (n=200)

Grad bei der Evaluierung von Geschäftsprozessen. Ähnlich wie schon bei der Kapazitätsauslastung liegt hier der Mehrwert für die Unternehmen auf der Hand: Ökonomische Anreize im Sinne eines Gewinnoptimierungskalküls unterstützen dieses Verhalten. Während eine höhere Auslastung die schnellere Amortisierung von Investitionen ermöglicht, kann Ressourceneffizienz über einen geringeren Ressourceneinsatz zu geringeren Stückkosten beitragen.

Unter allen abgefragten Entscheidungsgrößen findet der ökologische Fußabdruck von Vorprodukten und vorgelagerten Dienstleistungen (Stichwort „grüne Lieferkette“) gegenwärtig am wenigsten Berücksichtigung unter den befragten Unternehmen. Nur ein gutes Viertel der Unternehmen stimmt voll und ganz zu, dass die Aspekte der grünen Lieferkette entscheidungsrelevante Variablen bei der Evaluation von Geschäftspraktiken seien. Immerhin 49% der Unternehmen attestieren dem Konzept der grünen Lieferkette jedoch eine immerhin schwächere Entscheidungsrelevanz. Für 10% der Unternehmen spielt der ökologische Fußabdruck von bezogenen Produkten und Dienstleistungen keine oder nur eine sehr untergeordnete Rolle. Ein Erklärungsansatz für die geringere Beachtung der grünen Lieferkette im Vergleich zu den anderen abgefragten Entscheidungsgrößen kann sein, dass es hier vom jeweiligen Geschäftsmodell des Unternehmens abhängt, ob die ökologische und ökonomische Nachhaltigkeit im Einklang zu bringen sind. Ist der Nachweis der Nachhaltigkeit von Produkten oder Prozessen für das Geschäftsmodell wichtig, ist der Einklang tendenziell gegeben. Spielt der Nachweis keine oder eine untergeordnete Rolle, trägt dieser nicht zur Wertgenerierung für das Unternehmen bei und wird so zu einem Kostenfaktor ohne direkte Kompensation für das Unternehmen. Dies weist auf die mögliche Relevanz von Maßnahmen des Gesetzgebers mit Lenkungswirkung hin: Sollen die Ziele des Klimaschutzes und der Energiewende erreicht werden, ist es essentiell, dass die Anreize bei den Unternehmen so akzentuiert werden, dass ökologische und ökonomische Nachhaltigkeit für die Unternehmen keinen Trade-off darstellen, sondern im Einklang stehen können. Mit dem zu Jahresbeginn 2023 in Kraft getretenen Lieferkettensorgfaltspflichtengesetz (LkSG) ist der Gesetzgeber im Bereich der Lieferketten bereits tätig geworden. Der Fokus liegt hier

allerdings insbesondere auf der sozialen Dimension der Nachhaltigkeit, indem Unternehmen ab 3000 Beschäftigten (ab 2024: ab 1000 Beschäftigten) menschenrechtliche Sorgfaltspflichten auferlegt werden.

4.3.2 Wirkung der Einsatzfelder der Blockchain-Technologie auf die nachhaltige Leistungsfähigkeit der Unternehmen

Im vorliegenden Unterkapitel werden auf der Grundlage eines Strukturgleichungsmodells die deskriptiven Ergebnisse zur Einschätzung der Potenziale der Blockchain-Technologie in den drei Einsatzfeldern Emissionsmanagement, Energiemanagement und Transparenz- und Nachhaltigkeitsmanagement (Kapitel 4.2) in Beziehung zu den deskriptiven Ergebnissen der Selbsteinschätzung der nachhaltigen Leistungsfähigkeit (Kapitel 4.3.1) gesetzt. Das gewählte Auswertungsdesign erlaubt es, statistisch belastbare Aussagen darüber abzuleiten, welche Zusammenhänge zwischen den drei definierten Einsatzfeldern der Blockchain-Technologie und der nachhaltigen Leistungsfähigkeit der Unternehmen bestehen. Auf Basis eingehender Korrelationsanalysen können für die jeweiligen Einsatzfelder (Emissionsmanagement, Energiemanagement, Transparenz- und Nachhaltigkeitsmanagement) Zusammenhänge gezielt herausgestellt und diskutiert werden, die auf einen besonders hohen oder aber auch niedrigen Wirkungsgrad auf die nachhaltige Leistungsfähigkeit der Unternehmen schließen lassen.

Für das zugrundeliegende Strukturmodell werden die Fragen zu den einzelnen Einsatzfeldern in Blöcken (Konstrukten) zusammengefasst. Die so entstehenden drei Konstrukte bilden folglich die aggregierte Metaebene der einzelnen Fragen im Themenblock. Ebenso werden die Fragen zur nachhaltigen Leistungsfähigkeit zu einem Konstrukt zusammengefasst. Die drei Konstrukte zu den möglichen Einsatzfeldern werden dabei mit dem Konstrukt zur nachhaltigen Leistungsfähigkeit statistisch in Beziehung gesetzt. Wie in Abb. 10 erkennbar, wird dabei die Wirkrichtung von den Konstrukten der Einsatzfelder der Blockchain-Technologie zum Zwecke des Klimaschutzes und der Energiewende auf die nachhaltige Leistungsfähigkeit der Unternehmen unterstellt. Die Grundlage für diese theoretisch motivierte Annahme ist, dass es

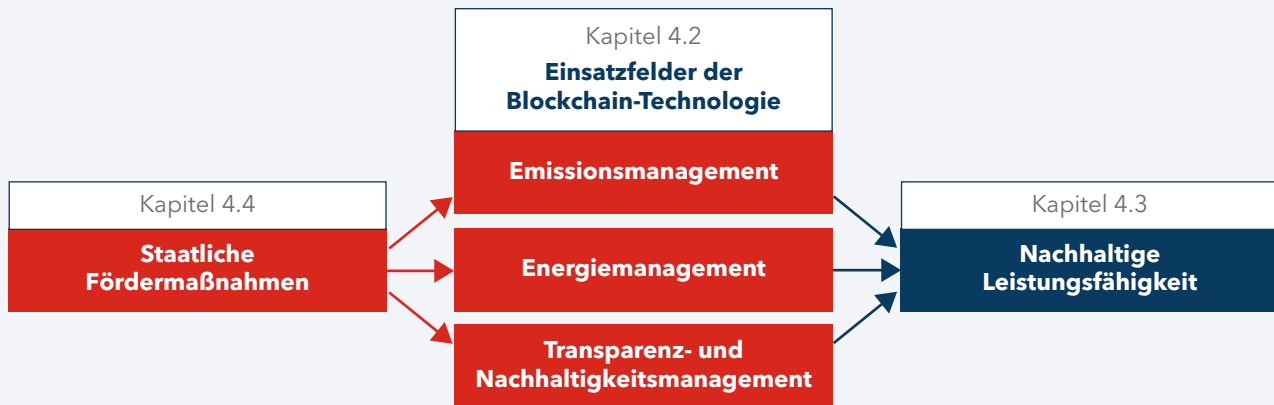


Abbildung 10: Wirkung der Einsatzfelder der Blockchain-Technologie auf die nachhaltige Leistungsfähigkeit der Unternehmen

plausibel ist, dass sich die Potenziale, die die Blockchain-Technologie im Bereich Klimaschutz und Energiewende bietet, auf die nachhaltige Leistungsfähigkeit der Unternehmen auswirken, sobald diese realisiert werden. Es wird getestet, inwieweit ein verstärkter Blockchain-Einsatz in den drei Feldern zu einem höheren Nachhaltigkeitsbeitrag der Unternehmen führen könnte. Die gemessenen Wirkungen sind hypothetischer Natur, da die Unternehmen den *möglichen* Einsatz von Blockchain in den jeweiligen Feldern evaluierten. Aufgrund der noch frühen Implementierungsphase der Blockchain-Technologie ist die Darstellung des möglichen Einsatzes, also der Einsatzpotenziale, im Rahmen einer statistischen Abschätzung dem tatsächlichen Einsatz vorzuziehen. Die Messung nur unter Unternehmen mit tatsächlichem Einsatz in den drei Feldern hätte aufgrund der frühen Implementierungsphase der Technologie keine statistisch tragfähigen Rückschlüsse erlaubt.

Die umgekehrte Wirkrichtung, also die Wirkung der nachhaltigen Leistungsfähigkeit der Unternehmen auf den möglichen Technologieeinsatz, ist hingegen wenig plausibel: Nachhaltige Leistungsfähigkeit ist als Ergebnis entsprechender Handlungen und Maßnahmen der Unternehmen zu verstehen, wie etwa des wirkungsvollen Einsatzes von Blockchain in den drei skizzierten Managementbereichen.

Wie die in Abb.11 dargestellten Ergebnisse der statistischen Auswertung des Unternehmenssamples zeigen, bestehen auf Konstruktebene statistisch signifikante positive Wirkungen des Einsatzes der Blockchain-Technologie auf die nachhaltige Leistungsfähigkeit der Unternehmen. Der potentiell positivste Einfluss auf die nachhaltige Leistungsfähigkeit der Unternehmen geht dabei vom Einsatz der Blockchain im Energiemanagement aus (Korrelationskoeffizient: + 0.416).

	Emissionsmanagement	Energiemanagement	Transparenz- und Nachhaltigkeitsmanagement
Nachhaltige Leistungsfähigkeit	+ 0.403 $p < 0.001$	+ 0.416 $p < 0.001$	+ 0.342 $p < 0.001$

Abbildung 11: Korrelationen zwischen den drei Einsatzfeldern der Blockchain-Technologie und die nachhaltige Leistungsfähigkeit der Unternehmen (Konstruktebene)

Eine klar positive Wirkung auf die nachhaltige Leistungsfähigkeit der Unternehmen zeigt ebenfalls das blockchainbasierte Emissionsmanagement (+ 0.403). Eine etwas geringere positive Wirkung ergibt sich für das blockchainbasierte Transparenz- und Nachhaltigkeitsmanagement. Mit einem Korrelationskoeffizienten von +0.342 liegt der Zusammenhang im nennenswert mittleren Bereich. Eine Erklärungsansatz kann hierfür sein, dass das Transparenz- und Nachhaltigkeitsmanagement, wie in Kapitel 3.3 erläutert, eher mittelbar auf die ökologischen Ziele einzahlt, während das Energie- und Emissionsmanagement direktere Wirkungen zeigen.

Nach diesem aggregierten Blick auf Konstruktebene wird im Folgenden unter Rückgriff auf etabliertes Vorgehen in Korrelationsanalysen⁸⁰ ein detaillierterer Blick in die einzelnen Konstrukte des Emissions-, Energie- sowie des Transparenz- und Nachhaltigkeitsmanagements und deren möglicher Wirkung auf die nachhaltige Leistungsfähigkeit der Unternehmen geworfen. Dabei wird auf auffällige Korrelationen einzelner Fragen aus den Konstrukten zu den drei Einsatzfeldern mit Fragen zum Konstrukt der nachhaltigen Leistungsfähigkeit eingegangen. Es kann sich sowohl um auffällig hohe als auch um auffällig schwache Korrelationen handeln.

Mögliche Wirksamkeit von blockchainbasiertem Emissionsmanagement auf die nachhaltige Leistungsfähigkeit von Unternehmen

Die Korrelationsanalyse zeigt, dass die größte Wirkung der abgefragten Items im Bereich des Emissionsmanagements auf die nachhaltige Leistungsfähigkeit der Unternehmen von der blockchainbasierten Nachverfolgung und dem entsprechenden Reporting der Treibhausgasemissionen ausgeht. Dies kann daraus abgeleitet werden, dass die Einschätzung der Unternehmen zu diesen Items durchgängig positiv mit der entsprechenden Einschätzung sämtlich abgefragter Items der nachhaltigen Leistungsfähigkeit korreliert. Besonders stark wirken sich die blockchainbasierten Aktivitäten im Bereich der Treibhausgasemissionen auf die Realisierung einer saubereren Produktion, der Etablierung einer Kreislaufwirtschaft

sowie auf die Realisierung der grünen Lieferkette aus. Damit bestätigt das Unternehmenssample, dass das blockchainbasierte Management von Treibhausgasemissionen ein wichtiges Fundament zur Umsetzung des European Green Deals sowie zur Etablierung einer europäischen Kreislaufwirtschaft bilden kann.

Mögliche Wirksamkeit von blockchainbasiertem Energiemanagement auf die nachhaltige Leistungsfähigkeit von Unternehmen

Durch einen Blick auf die einzelnen Items des Konstrukts „Energiemanagement“ lässt sich die angeführte aggregierte Wirkung dieses Konstrukts auf die ökologische Nachhaltigkeitsleistung spezifizieren. Im Hinblick auf die in Kapitel 3.2 definierten Ziele der Energiewende lässt sich erkennen, dass das blockchainbasierte Energiemanagement vor allem einen nachhaltigen Energieverbrauch bewirkt. Hieraus kann geschlussfolgert werden, dass blockchainbasiertes Energiemanagement Anreize setzt, verstärkt auf grüne Energiequellen zu setzen. Hierdurch trägt der Einsatz von Blockchain mindestens mittelbar auf das Teilziel der Energiewende, der Erhöhung der Erzeugung von nachhaltiger Energie, bei.

Eine geringe Wirksamkeit ist im Hinblick auf das Einsparen von Ressourcen, was auch die Dimension der Energie umfasst, zu erkennen. Mit diesem Item aus dem Bereich der nachhaltigen Leistungsfähigkeit korrelieren die Items des Energiemanagement nur in einem vergleichsweise niedrigen Ausmaß. Daraus kann gefolgert werden, dass die Blockchain-Technologie zwar einen Beitrag zum Teilziel der Steigerung der nachhaltigen Energieproduktion leisten kann, jedoch nicht unmittelbar zum Teilziel der Reduktion des Energieverbrauchs beitragen kann.

Mögliche Wirksamkeit von blockchainbasiertem Transparenz- und Nachhaltigkeitsmanagement auf die nachhaltige Leistungsfähigkeit von Unternehmen

Wie bereits obenstehend erwähnt, weist auf aggregierter Ebene das Transparenz- und Nachhaltigkeitsmanagement im Vergleich zum Emissions- und Energiemanagement die geringste positive Wirkung auf die nachhaltige Leistungsfähigkeit der Unternehmen

⁸⁰ Im Anhang sind die Korrelationstabellen (A1 – A3), die der folgenden Analyse zugrunde liegen, zu finden.

auf. Betrachtet man die Ergebnisse der einzelnen Items innerhalb der Konstrukte detaillierter, dann zeigt sich, dass vor allem mit Blick auf den Ressourcenverbrauch und die Kapazitätsauslastung in den Unternehmen nur geringe positive Effekte des blockchainbasierten Transparenz- und Nachhaltigkeitsmanagements zu verzeichnen sind. Dem gegenüber stehen jedoch verhältnismäßig starke positive Effekte auf die Implementierung einer Kreislaufwirtschaft und des Konzepts der grünen Lieferkette. Diese Erkenntnisse bestärken den Eindruck, dass vom blockchainbasierten Transparenz- und Nachhaltigkeitsmanagement ein eher mittelbarer Effekt auf das ökologisch nachhaltige Wirtschaften der Unternehmen ausgeht. Das blockchainbasierte Transparenz- und Nachhaltigkeitsmanagement dient in erster Linie dazu, Informationsasymmetrien über den ökologischen Fußabdruck von Prozessen und Produkten abzubauen. Damit wird Blockchain ein wichtiges Instrument bei der Umsetzung der grünen Lieferkette und der Kreislaufwirtschaft. Das Bewusstsein für Nachhaltigkeitsaspekte wird auf diesem Weg gestärkt, wodurch der Druck bei den Unternehmen für ökologisch nachhaltigeres Wirtschaften steigt (mittelbare Wirkungsweise).

4.4 Einschätzung öffentlicher Fördermaßnahmen und Ordnungsanreize mit Zusammenhangsanalyse zu den Einsatzfeldern der Blockchain-Technologie

Die Einschätzung der Potenziale der Blockchain-Technologie zum Zwecke des Klimaschutzes und der Energiewende (Kapitel 4.2) sowie die Analyse deren positiver Wirkung auf die nachhaltige Leistungsfähigkeit der Unternehmen (Kapitel 4.3) durch die befragten Unternehmen in Kapitel 4.2 haben gezeigt, dass der Einsatz von Blockchain-Technologie ein bedeutsamer Faktor sein kann, um die definierten Ziele des Klimaschutzes und der Energiewende⁸¹ zu erreichen. Um diese Potenziale zu realisieren, nähern wir uns im Folgenden der Frage, wie die Diffusion von Blockchain-Lösungen zum Emissions-, Energie- sowie Transparenz- und Nachhaltigkeitsmanagement in die Breite der Wirtschaft gefördert werden kann.

⁸¹ Für die auf politischer Ebene formulierten Klimaschutz- und Energiewendeziele siehe Kapitel 2.

Eignung öffentlicher Fördermaßnahmen und Ordnungsanreize

Unser Unternehmen würde folgende Maßnahmen willkommen heißen...

■ trifft voll und ganz zu
 ■ trifft eher zu
 □ neutral
 ■ trifft weniger zu
 ■ trifft gar nicht zu

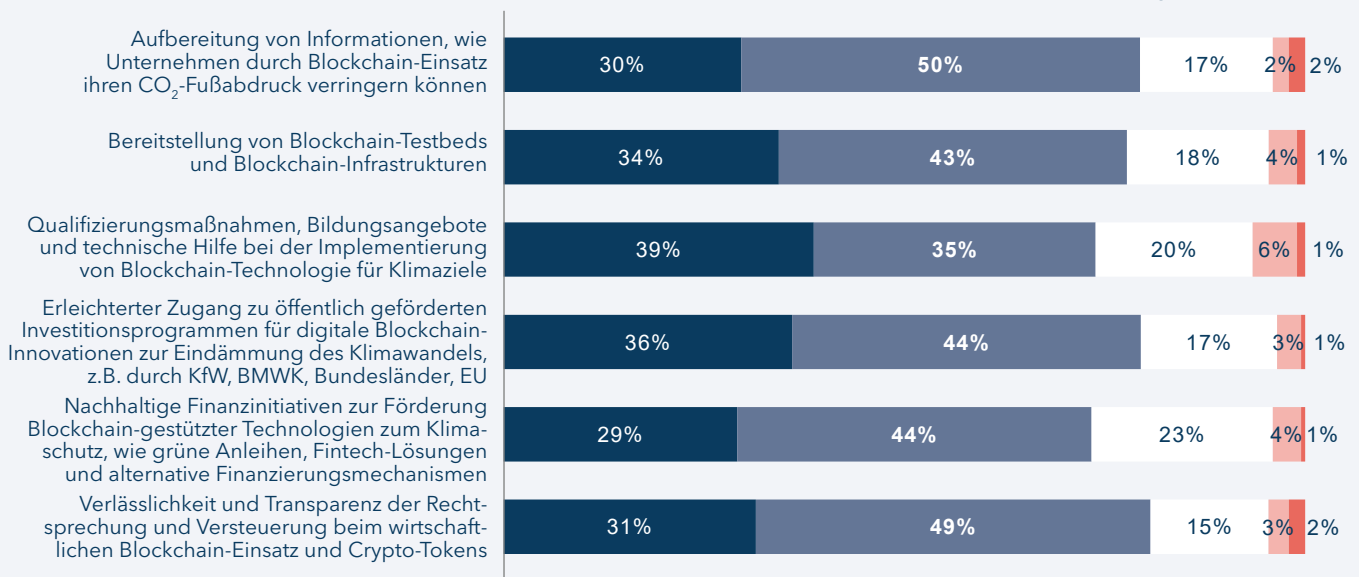


Abbildung 12: Einschätzung von öffentlichen Fördermaßnahmen durch die Unternehmen (n = 200)



Abbildung 13: Befähigungskette der Unternehmen zur Implementierung von technologischen Innovationen (eigene Darstellung in Anlehnung an Märkel et al. (2022))

4.4.1 Einschätzung der Eignung öffentlicher Fördermaßnahmen und Ordnungsanreize zur stärkeren Verbreitung blockchainbasierter Lösungen zum Zwecke des Klimaschutzes und der Energiewende

Die befragten Führungskräfte wurden gebeten, die Eignung einer Auswahl an möglichen öffentlichen Maßnahmen und Ordnungsanreizen zum Zwecke der Stärkung des Klimaschutzes und der Energiewende einzuschätzen (Kapitel 4.4.1). Die Ergebnisse sind in Abb. 12 illustriert.

Es zeigt sich, dass Unterstützungsmaßnahmen von den Unternehmen auf allen Stufen der Blockchain-Implementierung bzw. des Assimilierungsgrades⁸² als sinnvoll erachtet werden. So erachten 80% der befragten Unternehmen eine stärkere öffentliche Aufbereitung von Informationen über die Potenziale der Blockchain-Technologie zur Steigerung der nachhaltigen Leistungsfähigkeit als hilfreich. Diese Maßnahme setzt bereits bei der **Sensibilisierung**, also zu Beginn der Befähigungskette der Unternehmen an.

Es treffen Maßnahmen aus dem Bereich der **Qualifizierung** auf fast ebenso breite Zustimmung: Knapp drei von vier Befragten (74%) halten Fortbildungsangebote für Beschäftigte sowie technische Unterstützung für sinnvoll. Vier von fünf Befragten (80%) sprechen sich zudem für Investitionszuschüsse für blockchainbasierte grüne Lösungen aus. Da Investitionszuschussprogramme der Stufe „**Umsetzung**“ der Befähigungskette zugeordnet werden können, kann geschlussfolgert werden, dass auf allen Stufen der Befähigungskette Maßnahmen als wirkungsvoll erachtet werden.

Neben Maßnahmen zur direkten Befähigung der einzelnen Unternehmen werden durch die Befragten auch **ordnungspolitische Maßnahmen** begrüßt. 80% der befragten Führungskräfte sprechen sich dafür aus, im Rechtsrahmen für mehr Klarheit zum Einsatz von Blockchain-Lösungen zu schaffen. Unsicherheiten bestehen beispielsweise mit Blick auf die Besteuerung von Tokens.⁸³ Ebenso unterstützen 73% der Befragten, in der Finanzmarktordnung Voraussetzungen zu schaffen, die **blockchainbasierte Finanzierungsformen** von nachhaltigen Investitionen bzw. tokenbasierten grünen Geschäftsmodellen zu erleichtern.

77% der Befragten halten zudem die Einrichtung von Testumgebungen und die **öffentliche Bereitstellung von Blockchain-Infrastrukturen** für sinnvoll, auf die die Unternehmen mit ihren Lösungen aufsetzen können. Ausgangsbasis könnte hierfür bspw. die European Blockchain Services Infrastructure (EBSI) sein, die sich bisher allerdings auf Public Services fokussiert hat und sich für die umrissenen Zwecke im unternehmerischen Einsatz stärker für B2B-Anwendungen öffnen müsste.

Die durchgängig hohe Zustimmung zu allen abgefragten möglichen öffentlichen Unterstützungsmaßnahmen unterstreicht, dass unter den befragten Unternehmen großer Bedarf gesehen wird, von staatlicher Seite aktiv zu werden, um die Diffusion von Blockchain-Lösungen im Emissions-, Energie- sowie Nachhaltigkeits- und Transparenzmanagement zu erleichtern und auszuweiten.

⁸² Zum Assimilierungsgrad der Blockchain-Implementierung siehe Kapitel 4.1.

⁸³ Siehe hierzu auch Diskussion in Kapitel 5.1.

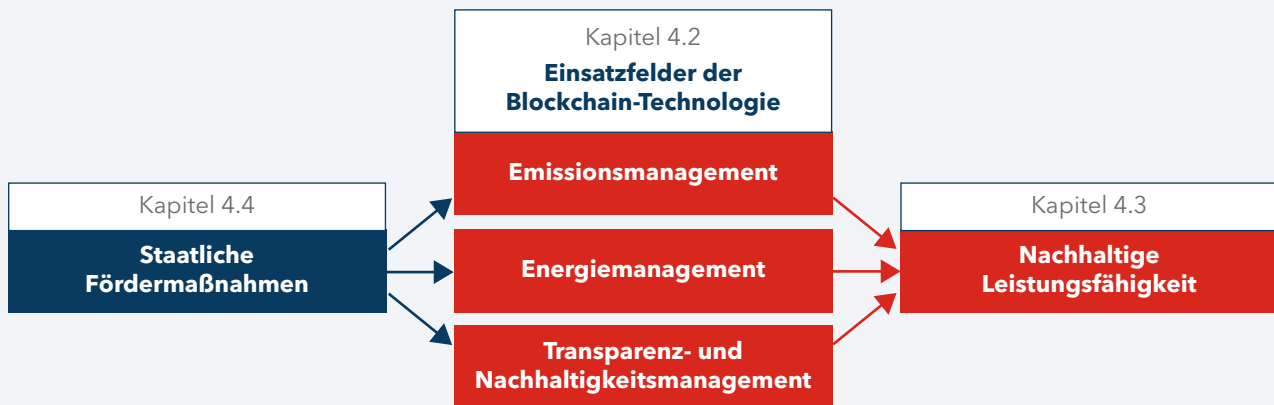


Abbildung 14: Zusammenhang zwischen der Einschätzung der staatlichen Fördermaßnahmen sowie der Einsatzpotenziale der Blockchain-Technologie

4.4.2 Der Zusammenhang zwischen der Einschätzung öffentlicher Fördermaßnahmen und der Einschätzung der Einsatzfelder der Blockchain-Technologie

Ziel des nachfolgenden Kapitels ist es, Zusammenhänge zwischen der im vorangegangenen Unterkapitel präsentierten Einschätzung der möglichen öffentlichen Maßnahmen und der Einschätzung der in Kapitel 4.2 definierten Einsatzfelder der Blockchain-Technologie aufzuzeigen. Um zu detaillierteren Aussagen zu gelangen, werden im Rahmen eines Strukturgleichungsmodells sowie einer Analyse auf Itemebene die deskriptiven Ergebnisse zum Emissions-, Energie sowie Nachhaltigkeits- und Transparenzmanagement in Beziehung zu den deskriptiven Ergebnissen zu den möglichen öffentlichen Maßnahmen gesetzt. Das so gewählte Auswertungsdesign erlaubt es, auf der Basis eingehender Korrelationsanalysen statistisch belastbare Aussagen zu den Zusammenhängen zu treffen. Das Vorgehen ist dabei analog zur Analyse des Zusammenhangs zwischen den drei Einsatzfeldern der Blockchain-Technologie und der nachhaltigen Leistungsfähigkeit in Kapitel 4.3.2 zu verstehen. Da die gewählten statistischen Methoden, wie bereits erwähnt, keine abgesicherten Aussagen über die Kausalität zulassen, sind wie in Kapitel 4.4 die dargelegten Wirkrichtungen theoretisch motiviert: Die Auswertung der Angaben der Unternehmen schätzt die dargelegten Effekte der Fördermaßnahmen auf die drei Einsatzfelder statistisch bestmöglich ab. Dabei

wird getestet, inwieweit mögliche Fördermaßnahmen den Blockchain-Einsatz in den drei Managementfeldern anregen könnten. Anhand dieses Vorgehens lassen sich auf Basis der Korrelationskoeffizienten deutbare Erkenntnisse aus den Einschätzungen ableiten.

Zusammenhänge auf aggregierter Ebene (Konstruktebene)

Für die Analyse werden, analog zum Vorgehen in Kapitel 4.4, die abgefragten möglichen öffentlichen Maßnahmen zunächst zu einem inhaltlichen Block („Konstrukt“) zusammengefasst und dann mit den Konstrukten des Emissions-, Energie- sowie des Transparenz- und Nachhaltigkeitsmanagements in Beziehung gesetzt. Die Ergebnisse dieser statistischen Zusammenhanganalyse auf der Konstruktebene, also einer aggregierten Metaebene, ist in Abb. 14 dargestellt. Dieser ist zu entnehmen, dass zwischen der Einschätzung der öffentlichen Maßnahmen und der jeweiligen Einschätzung der Potenziale der Blockchain-Technologie im Emissions-, Energie- sowie Transparenz- und Nachhaltigkeitsmanagement ein jeweils positiver Zusammenhang besteht, der statistisch hoch signifikant ist. Dies bedeutet, dass in der Tendenz diejenigen befragten Unternehmen, die von der Notwendigkeit staatlicher Maßnahmen zur Förderung der Diffusion von Blockchain-Lösungen im Bereich der Nachhaltigkeit überzeugt sind, auch den jeweiligen Einsatzfeldern ein hohes Potenzial attestiert haben. Bemerkenswert ist, dass dieser Zusammenhang mit einem Koeffizienten

von über +0.5 besonders zwischen dem Transparenz- und Nachhaltigkeitsmanagement und der Einschätzung der öffentlichen Fördermaßnahmen hervorsticht. In Kapitel 4.3 war jedoch festgestellt worden, dass der aufgezeigte Zusammenhang zwischen Transparenz- und Nachhaltigkeitsmanagement von den drei Einsatzfeldern am geringsten ausfällt. Dies kann als weiteres Indiz dafür interpretiert werden, dass mit Blick auf die Blockchain-Lösungen im Transparenz- und Nachhaltigkeitsmanagement die ökologische und ökonomische Nachhaltigkeit aus der Sicht der Unternehmen nicht immer verträglich sind. Anders ausgedrückt kann man sagen, dass in diesem Bereich individuell rationales Verhalten auf Geschäftsebene und wünschenswertes volkswirtschaftliches bzw. gesellschaftliches Ergebnis nicht in Einklang stehen und auseinanderfallen. Sollen die Potenziale, die im blockchainbasierten Transparenz- und Nachhaltigkeitsmanagement zum Erreichen der Nachhaltigkeitsziele bestehen, realisiert werden, deutet der starke positive Zusammenhang (+0.512) darauf hin, dass die Unternehmen hier den Staat stärker in der Pflicht sehen, über öffentliche Maßnahmen und die damit verbundene Anreizsetzung für jenen Einklang von ökologischer und ökonomischer Nachhaltigkeit auf diesem Gebiet zu sorgen.

Zusammenhänge auf Ebene der einzelnen öffentlichen Maßnahmen mit den potenziellen Einsatzfeldern der Blockchain-Technologie (Item-Ebene)

Nach dem aggregierten Blick auf Konstruktebene wird im Folgenden unter Rückgriff auf etabliertes Vorgehen in Korrelationsanalysen⁸⁴ ein detaillierterer Blick auf den Zusammenhang der Einschätzung einzelner

⁸⁴ Im Anhang sind die Korrelationstabellen (A4-A6), die der folgenden Analyse zugrunde liegen, zu finden.

öffentlicher Maßnahmen durch die Befragten mit deren Einschätzung der Potenziale des Blockchain-Einsatzes im Emissions-, Energie- sowie Nachhaltigkeits- und Transparenzmanagement geworfen.

Hierbei ist auffällig, dass über die Einschätzung zum potenziellen Einsatz in allen drei Managementbereichen hinweg nur ein verhältnismäßig schwacher positiver Zusammenhang mit der Einschätzung zur Notwendigkeit von **Anpassungen im Rechtsrahmen** zu erkennen ist. Diejenigen Befragten, die die Potenziale der Blockchain-Technologie in den jeweiligen Einsatzfeldern hoch einschätzen, sehen folglich beim Rechtsrahmen in der Tendenz weniger staatlichen Handlungsbedarf als in Bezug auf andere öffentliche Maßnahmen. Ein möglicher Erklärungsansatz hierfür ist, dass die befragten Führungskräfte, die von den Potenzialen überzeugt sind, die Implementierung der Blockchain-Lösungen auch im bestehenden Rechtsrahmen bereits für möglich halten.⁸⁵ Ein anderer Erklärungsansatz ist, dass den Befragten etwaige offene Rechtsfragen bzw. -lücken ggf. nicht bewusst sind. Ferner wurden in der Vergangenheit zahlreiche umweltbezogene und vormals ordnungsrechtliche Pflichten auf die Unternehmen übertragen (d.h. privatisiert), so dass neue Anforderungen an die Unternehmen entstanden sind (z.B. mit Blick auf die Kreislaufwirtschaft, Etablierung eines Umweltmanagement, Öko-Audit, Emissionshandel usw.), deren Umsetzung die Unternehmen schon gut gemeistert haben. In der Stichprobe sind zudem überwiegend größere Unternehmen vertreten, welche entsprechende Kapazitäten in den Rechtsabteilungen mitbringen dürften, den aus den umweltbezogenen Pflichten resultierenden Anforderungen gerecht zu werden. Dies könnte

⁸⁵ Im Anhang sind die Korrelationstabellen (A4-A6), die der folgenden Analyse zugrunde liegen, zu finden.

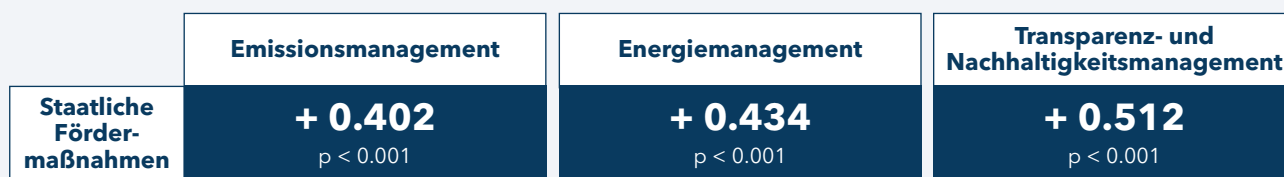


Abbildung 15: Korrelationen zwischen der Einschätzung der öffentlichen Maßnahmen und der Einschätzung der Potenziale der drei Einsatzfelder der Blockchain-Technologie auf Konstruktebene

eine zusätzliche Erklärung sein, warum sich im Sample nur ein verhältnismäßig geringer Zusammenhang mit dem Rechtsrahmen zeigt. In mittelständischen Unternehmen hingegen, mit begrenzteren Kapazitäten in Rechtsabteilungen, könnte hier ggf. eine andere Einschätzung bestehen.

Mit Blick auf die **öffentliche Bereitstellung von Blockchain-Infrastruktur** als öffentliche Maßnahme ist auffällig, dass der stärkste positive Zusammenhang hier mit der Potenzialeinschätzung des Blockchain-Einsatzes zur Umsetzung der Ziele der Energiewende (+0.420) sowie mit dem Einsatz der Blockchain-Technologie für den Handel mit Emissionsrechten für Treibhausgase besteht (+0.348). Dies kann so interpretiert werden, dass die diejenigen, die der Blockchain-Technologie hohe Potenziale im Bereich des P2P-Energiehandels sowie im Emissionshandel attestieren, eine höhere Erwartung haben, dass der Staat die hierfür notwendige Blockchain-Infrastruktur bereitstellen sollte.

Hinsichtlich der **Einrichtung bzw. Ausweitung von Investitionsprogrammen** als öffentliche Maßnahme sind die ausgeprägtesten Zusammenhänge mit der Einschätzung des Transparenz- und Nachhaltigkeitsmanagements als Einsatzfelder zu verzeichnen. Dies ist konsistent mit der bisherigen Analyse: Da in diesem Einsatzfeld ökologisches und ökonomisches Handeln aus der Sicht der Unternehmen am ehesten auseinanderzufallen drohen, sind hier durch den Gesetzgeber Anreize zu ökologisch nachhaltigem Handeln zu schaffen, wie bspw. über Investitionszuschussprogramme.

Ähnlich kann im Hinblick auf den Zusammenhang zwischen der Einschätzung von **Fortbildungs- bzw. Qualifizierungsmaßnahmen** als staatliche Handlungsoption und den potenziellen Einsatzfeldern argumentiert werden. Auch hier besteht der stärkste positive Zusammenhang mit dem Transparenz- und Nachhaltigkeitsmanagement: Befragte, die diesem Einsatzfeld große Potenziale attestieren, sehen tendenziell eine stärkere Notwendigkeit von Fortbildungsmaßnahmen in den Unternehmen. Dies kann so verstanden werden, dass die Vorteile, die für die Unternehmen im Transparenz- und Nachhaltigkeitsmanagement nicht so intuitiv ersichtlich bzw. einfach

umzusetzen sind wie in den anderen beiden Einsatzfeldern (wie bspw. zur Energie- bzw. Ressourceneffizienz). Im Transparenz- und Nachhaltigkeitsmanagement geht es im Vergleich zu den anderen beiden Einsatzfeldern weniger um die Veränderung von Prozessen, sondern mehr um die Anpassung des Geschäftsmodells in Richtung einer Wertgenerierung durch Nachhaltigkeit. Aus diesem Grund könnten die Unternehmen hier eine stärkere Unterstützung beim Wissenstransfer als notwendig erachten.

Mit Blick auf **Anpassungen in der Finanzmarktordnung** zur Vereinfachung der Integration von Finanzströmen in Blockchain-Lösungen, sei es als alternative Finanzierungsmethode oder als tokenbasiertes Geschäftsmodell, besteht der stärkste positive Zusammenhang mit dem Einsatzfeld Energiemanagement. Dies ist wenig überraschend, da es insbesondere im P2P-Energiehandel essentiell ist, dass die Finanzströme zur automatisierten Abrechnung in die Lösungen passend integriert werden können. Dementsprechend ist es plausibel, dass die Befragten, die insbesondere diesem Bereich hohes Potenzial zuschreiben, tendenziell auch höheren Anpassungsbedarf bei der Finanzmarktordnung zum vermehrten Einsatz von Blockchain in diesem Bereich sehen.

4.5 Fazit zur Unternehmensumfrage

Die Umfrage unter 200 Führungskräften Blockchain-erfahrener deutscher Unternehmen aus energieintensiven Branchen zeigt, dass die Blockchain-Technologie nach Einschätzung der Unternehmen in allen drei identifizierten Einsatzfeldern der Blockchain-Technologie im Kontext von Klimaschutz und Energiewende, dem [1] *Emissions-*, [2] *Energie-*, sowie dem [3] *Transparenz- und Nachhaltigkeitsmanagement* große Potenziale bietet. Dabei zahlen die Blockchain-Lösungen im Emissions- und Energiemanagement eher unmittelbar auf die Klimaschutz- und Energiewendeziele ein, während vom Transparenz- und Nachhaltigkeitsmanagement tendenziell ein eher mittelbarer Effekt ausgeht.

Die Datenauswertung deutet darauf hin, dass die nachhaltige Leistungsfähigkeit der Unternehmen, definiert als ökonomisch rationales, ökologisches

Handeln, durch den Einsatz der Blockchain-Technologie gestärkt werden kann. Insbesondere gilt dies in den Einsatzbereichen Emissions- und Energiemanagement, da hier die Unternehmen durch Blockchain-Lösungen Effizienzgewinne sowohl bei der eigentlichen wirtschaftlichen Aktivität (bspw. im dezentralen Energiehandel) als auch beim Erfüllen regulatorischer Bestimmungen (bspw. im Zertifikatehandel) erzielen können und ökonomische und ökologische Nachhaltigkeit damit stärker im Einklang stehen. Demgegenüber lässt sich aus den Daten schließen, dass das Transparenz- und Nachhaltigkeitsmanagement weniger eine effizientere Verwendung von Ressourcen bewirkt. Im Vordergrund steht

hier in erster Linie der Nachweis der Nachhaltigkeit von Produkten oder Prozessen („Proof of Green“). Setzt das Unternehmen in seinem Geschäftsmodell nicht auf Wertgenerierung durch Nachhaltigkeit, können aus Unternehmensperspektive hier ökonomische und ökologische Nachhaltigkeit stärker auseinanderfallen. Hierzu passt, dass die Befragten den größten Bedarf an staatlichen Maßnahmen in diesem Bereich sehen. Durch den Gesetzgeber ist hier eine stärkere Anreizsetzung gefragt, um ökonomische und ökologische Nachhaltigkeit in Einklang zu bringen. Dies leitet hin zur Diskussion des Handlungsbedarfs seitens staatlicher Institutionen im folgenden Kapitel 5.

5 HANDLUNGSFELDER UND DARAUS ABGELEITETE HANDLUNGSOPTIONEN

Sowohl im theoretischen Part (Kapitel 3) als auch im empirischen Part (Kapitel 4) der vorliegenden Kurzstudie wurde deutlich, dass durch den Einsatz der Blockchain-Technologie ein essentieller Beitrag zum Erfüllen der gesetzten Ziele im Klimaschutz und bei der Energiewende geleistet werden kann. Die Ergebnisse zeigen, dass dies in allen drei identifizierten Einsatzfeldern im Kontext von Klimaschutz und Energiewende der Fall ist, das bedeutet im:

- ▶ Emissionsmanagement,
- ▶ Energiemanagement,
- ▶ Transparenz- und Nachhaltigkeitsmanagement.

Die Resultate der Unternehmensumfrage zeigen aber auch, dass staatlicher Handlungsbedarf besteht, um die Potenziale, die aus der Blockchain-Technologie resultieren, auch im größeren Umfang realisieren zu können. In Kapitel 4.4 wird deutlich, dass sich dieser Bedarf sowohl auf den **ordnungspolitischen Rahmen** aber auch auf **anwendungsorientierte Maßnahmen** erstreckt. Diese Notwendigkeit an öffentlichen Maßnahmen kann auch daran abgelesen werden, dass erst gut 25% der im Sample vertretenen Unternehmen, die sich bereits intensiver mit Blockchain auseinandersetzen, Blockchain-Lösungen implementiert haben (siehe Blockchain-Assimilierungsgrad in Kapitel 4.1), obwohl die Potenziale der Technologie in so gut wie allen abgefragten Anwendungsszenarien in den drei Einsatzfeldern von jeweils mehr als 75% - 80% der Unternehmen gesehen werden (siehe Kapitel 4.2).

Es stellt sich daher die Frage, wie bestehende Hemmnisse zum Einsatz geeigneter blockchainbasierter Anwendungen für den Klimaschutz und die Energiewende abgebaut werden können. Hierzu wurden drei Handlungsfelder definiert, die in einem ganztägigen onlinebasierten Workshop im Januar 2023 mit

ca. 50 Blockchain-Expertinnen und Experten aus Wissenschaft, Wirtschaft und Verwaltung diskutiert wurden und mögliche Handlungsoptionen zur Stärkung der Implementierung von Blockchain-Lösungen zum Zwecke des Klimaschutzes und der Energiewende innerhalb dieser Handlungsfelder entwickelt wurden. Die folgenden Inhalte basieren dabei auf den Ergebnissen des Workshops, ergänzt um Recherchen und Einschätzungen des mit der Durchführung des Fachdialogs Blockchain beauftragten Projektteams.

5.1 Handlungsfeld I: Verbraucher & Unternehmen sensibilisieren und unterstützen, um Anreize für blockchainbasierte Lösungen mit dem Ziel der Nachhaltigkeitssteigerung zu schaffen

Eine der größten Stärken der Blockchain-Technologie im Kontext von Klimaschutz und Energiewende stellt das vereinfachte Tracking & Tracing dar. Dies gilt für alle Einsatzfelder: Im Emissionsmanagement kann dies das Nachverfolgen und Reporting der Treibhausgasemissionen erleichtern, was sowohl für das Offsetting als auch das Insetting von Emissionen einen kritischen Faktor darstellt. Im Nachhaltigkeits- und Transparenzmanagement kann das vereinfachte Tracking & Tracing zum „Proof of Green“ beitragen, also zum Nachweis der Nachhaltigkeit von Prozessen und Produkten. Diese Eigenschaft ist auch im Energiemanagement von Relevanz beim Nachweis grüner Energie, was dort sowohl die Erzeugung als auch den Verbrauch betrifft.

Voraussetzung für die breite Verankerung solcher Lösungen in der Wirtschaft ist allerdings, dass die Verbraucher für das Thema Nachhaltigkeit stark sensibilisiert sind. Wenn der ökologische Fußabdruck eines Produkts oder einer Dienstleistung zu einem wichtigen Kaufkriterium wird, wächst am Markt der

Bedarf an nachhaltigen Produkten. In mehrstufigen Lieferketten kann der Einsatz von Blockchain-Lösungen zu Transparenzgewinnen führen und Unternehmen ein effizientes und sicheres Tool zur Erbringung des Nachhaltigkeitsnachweises an die Hand geben. Der Demand-Pull („Nachfragesog“) für nachhaltige Produkte stellt somit eine wichtige Voraussetzung für die starke Verbreitung von „Blockchain for Good“-Lösungen in der Wirtschaft dar.

Im Workshop wurde festgestellt, dass es sowohl bei privaten Verbrauchern als auch bei gewerblichen Anwendern an Wissen über potenzielle Blockchain-Lösungen mangelt. Um einen Demand-Pull zu erzeugen, ist eine Aufklärungskampagne notwendig. In diesem Zusammenhang ist es auch wichtig, dass sich öffentliche Akteure, darunter auch Bundesministerien, hinter die Blockchain-Technologie stellen und so zu mehr Vertrauen in die Technologie beitragen. Wichtig bei der Aufklärung ist die Darstellung des Nachhaltigkeitsnutzens, um das Interesse an „Blockchain for Good“ zu wecken bzw. zu stärken. Die Workshop-Teilnehmer betonten zudem die wichtige Rolle der Medien: Aufklärung entfaltet dann ihre Wirkung, wenn die Medien und deren Journalisten im Rahmen einer sachlichen Öffentlichkeitsarbeit aktiv angesprochen werden.

Ein Demand-Pull-Effekt wird keine Wirkung zeigen, wenn nicht gleichzeitig die Unternehmen die notwendigen Voraussetzungen (Wissen, digitaler Reifegrad, Investitionsmittel) zur Implementierung der Blockchain-Lösung mitbringen. Hier hat die Unternehmensumfrage gezeigt, dass sich die Unternehmen mit Blick auf die Implementierung blockchain-basierter nachhaltiger Tools über alle Stufen der Befähigungskette (Sensibilisieren / Qualifizieren / Umsetzen) hinweg Unterstützung durch staatliche Fördermaßnahmen wünschen (siehe Kapitel 4.4.1). Dies gilt für alle drei potenziellen Einsatzfelder, wobei der Unterstützungsbedarf im Transparenz- und Nachhaltigkeitsmanagement und hier insbesondere im Sensibilisierungs- und Qualifizierungsbereich besonders ausgeprägt zu sein scheint (siehe Kapitel 4.4.2). Dies lässt darauf schließen, dass es in Bezug auf blockchainbasierte Lösungen eine **Lücke im anwendungsorientierten Wissenstransfer** gibt.

Im Workshop mit den Blockchain-Expertinnen und -Experten wurden die Ergebnisse in Bezug auf die Lücken im Wissenstransfer bestätigt. Insgesamt beschäftigen sich zu wenige Unternehmen mit den Möglichkeiten der Blockchain-Technologie. Dies beruht unter anderem auf einem zu niedrigen allgemeinen digitalen Reifegrad der Unternehmen, insbesondere im Mittelstand.

Damit sich Unternehmen für die Implementierung einer Blockchain-Lösung entscheiden, müssen sie des Weiteren von deren wirtschaftlichen Nutzen überzeugt sein, etwa zur Senkung von Transaktionskosten. Der Emissionshandel ist ein Beispiel dafür, wie Transaktionskosten durch die Vermeidung von Zwischenhändlern und zentralen Plattformen gesenkt werden können. Die Wirtschaftlichkeit kann auch erhöht werden, in dem Unternehmen fertige „Plug-and-Play-Lösungen“ zur Verfügung gestellt werden. Durch diese Fertiglösungen entfällt ein Großteil der Kosten bei der Implementierung mit kürzerem Return-on-Invest als Folge. Damit „Blockchain-for-Good-Projekte“ und Lösungen für mehr Nachhaltigkeit implementiert werden, ist dementsprechend die Erarbeitung und zur Verfügungstellung von Blockchain-Lösungen, die ohne viel Aufwand von Unternehmen implementiert werden können, essentiell. Dies gilt für den Emissionshandel und die Tokenisierung von Emissionen, für den Energiehandel, den Produktpass, die Nachverfolgung der Lieferketten, etc.

Die Workshopteilnehmer haben betont, dass bereits viele Use Cases in verschiedenen F&E-Projekten entwickelt wurden. Statt weitere grundlegende F&E-Projekte zu Konzepten für Blockchain-Lösungen zu fördern, ist es wichtig, dass die geförderten Projekte zur Marktreife geführt werden, die von Unternehmen mit wenig Aufwand übernommen werden können (Plug-and-Play-Lösungen) bzw. an denen die Unternehmen sich im Wirkbetrieb beteiligen können. Für die Implementierung von Blockchains, die in den Wirkbetrieb gehen können, müssen sich mehrere Unternehmen zusammenschließen, entweder in dem sie neue Konsortien bilden oder bereits bestehende weiterentwickeln. Hier kann zum Beispiel Unterstützung der Öffentlichen Hand bei der Vernetzung und Matchmaking von Unternehmen helfen.

Mögliche Handlungsoptionen im Handlungsfeld I: „Verbraucher & Unternehmen sensibilisieren und unterstützen, um Anreize für blockchainbasierte Lösungen mit dem Ziel der Nachhaltigkeitssteigerung zu schaffen“:

- ▶ Für die weitere Verbreitung der Blockchain-Technologie bestehen Lücken im Wissenstransfermanagement, die durch Öffentlichkeitsarbeit und Informationskampagnen geschlossen werden können. Dabei sollten der Nutzen, die Wirtschaftlichkeit und die positiven Auswirkungen auf die Nachhaltigkeit im Vordergrund stehen. Wichtig ist dabei die Berücksichtigung der Befähigungskette, d.h. dass Unternehmen von der ersten Sensibilisierung für das Thema über Information und Qualifizierungsmaßnahmen bis hin zur Unterstützung bei der Umsetzung (z.B. finanzielle und operative Unterstützung) begleitet werden. Im Bereich Nachhaltigkeit sollen die Informationsangebote und Aufklärungsarbeit u.a. die Themen Emissionshandel, Energiemanagement, Energiehandel und Schaffung von Transparenz umfassen.
- ▶ Um die Hürden für die Implementierung von Blockchain-Lösungen zu senken, müssen die Anforderungen und der Aufwand für die Implementierung gesenkt werden, indem das Software-Ökosystem und die Standardisierung für bestimmte Anwendungen und Anwendungsfälle mit Public Blockchains vorangetrieben werden, wie dies derzeit beispielsweise bei EBSI der Fall ist. Diese Arbeiten können durch Fördermaßnahmen beschleunigt werden.
- ▶ Für die Umsetzung von Blockchain-Lösungen müssen mehrere Akteure zusammengebracht werden. Hier helfen Vernetzungsaktivitäten einschließlich Matchmaking. Eine Förderung dieser Aktivitäten ermöglicht die Initiierung neuer Konsortien und Partnerschaften zur Umsetzung von Blockchain-Lösungen für verschiedene Anwendungsfälle.
- ▶ Die Tokenisierung von Ressourcen spielt eine zentrale Rolle bei der Steigerung der Nachhaltigkeit mit Blockchain-Lösungen. Wenn die Tokenisierung standardisiert und von der Öffentlichkeit und den Gesetzgebern akzeptiert wird, wird sie

einen offizielleren Status erhalten und somit das Vertrauen der Verbraucher und gewerblichen Nutzenden gewinnen.

5.2 Handlungsfeld II: Qualitätsstandards und Rechtssicherheit sicherstellen, um Vertrauen in nachhaltige Blockchain-Lösungen zu schaffen

Wie in Kapitel 3.3 erläutert, können Blockchain-Lösungen aufgrund ihrer Transparenzeigenschaften dem sogenannten Greenwashing entgegenwirken. Sie bauen bestehende Informationsasymmetrien in der Wertschöpfungskette bzw. im Markt ab, was es den Greenwashing betreibenden Akteuren erschwert, den wahren ökologischen Fußabdruck von Produkten oder Prozessen zu verschleiern. Auf diesem Weg können Blockchain-Lösungen dazu beitragen, adversen Selektionsprozessen⁸⁶ auf Märkten vorzubeugen und damit das Fundament für einen Markt für nachhaltige Produkte stärken.

Allerdings sollte beachtet werden, dass durch Blockchain neue Quellen für Greenwashing entstehen können bzw. nicht alle bestehenden Quellen für Greenwashing per se abgebaut werden. Eine mögliche Quelle für Greenwashing im Rahmen von Blockchain-Lösungen ist Intransparenz bezüglich des Aufbaus bzw. der Governance der Lösung. So könnte Blockchain als Buzzword bzw. Label verwendet werden, ohne dass die Lösung tatsächlich als DLT-Lösung im engeren Sinne aufgebaut ist und somit auch die wesentlichen Charakteristika wie Dezentralität, Rückverfolgbarkeit und Irreversibilität nicht erfüllt.

Da es jedoch für Konsumenten nur schwer nachzuvollziehen ist, wann es sich um eine echte DLT-Lösung handelt, besteht die Gefahr der Täuschung durch die fälschliche Verwendung des Labels „Blockchain“: Es wird der Eindruck von Transparenz über den wahren ökologischen Fußabdruck eines Produkts oder Prozesses erweckt, wo in Wirklichkeit keine Transparenz herrscht.

⁸⁶ Siehe hierzu Kapitel 3.3.

Eine andere potenzielle Quelle für Greenwashing im Kontext von Blockchain sind Oracles. Oracles bilden die Schnittstelle zwischen der Blockchain und der Außenwelt. Die Oracles dienen der Verifikation externer Daten, auf deren Basis Smart Contracts Logiken in der Blockchain-Lösung exekutieren. Sind die Daten inkorrekt und werden von den Oracles nicht als falsch identifiziert, finden diese ihren Weg in die Blockchain (Garbage-in-Garbage-out-Problematik). Ähnliches gilt, wenn die Daten von schlechter Qualität sind, was beispielsweise bei ungenauen Messdaten der Fall sein kann. Zum Zwecke des Greenwashings und dem Verschleiern der schlechten Datenqualität könnten nun Blockchain-Lösungen bewusst so gestaltet werden, dass die falschen oder minderwertigen Daten, die von den Oracles nicht als solche identifiziert werden, einen nachhaltigen oder klimafreundlichen Eindruck vermitteln, obschon dies de facto nicht der Fall ist. Beispielsweise besteht eine solche Gefahr bei Angeboten zum Offsetting von Treibhausgasen: Die tatsächlich erfolgte Kompensation ist für die Nutzer nur schwer nachzuvollziehen.

Dies verdeutlicht, wie wichtig die Definition und Durchsetzung von Qualitätsstandards mit Bezug auf den Einsatz von Blockchain-Lösungen im Hinblick auf Klimaschutz und Energiewende sind. Eine Option kann darin bestehen, Zertifizierungsprogramme und Kennzeichnungssysteme für Blockchain-Lösungen einzuführen („Blockchain-TÜV“). Die Zertifizierungen sollten von unabhängigen, glaubwürdigen Dritten vergeben werden. Dabei ist zwischen dem Nachweis der Nachhaltigkeit der technischen Ausgestaltung der Blockchain-Lösung an sich (Stichwort Energieverbrauch) sowie dem Nachweis von nachhaltigen Prozessen unter dem Einsatz einer Blockchain-Lösung zu unterscheiden (Stichwort Datenqualität / Oracles). Für beide Dimensionen kommt die Entwicklung von adäquaten Zertifizierungen / Labels in Betracht. Zwingende Voraussetzung für eine solche Label-Lösung ist, dass die zertifizierenden Stellen das notwendige Know-how sowohl zum Thema Blockchain als auch zum Thema Nachhaltigkeit (bzw. Klimaschutz / Energiewende) mitbringen. Nur so kann die Transparenz und Glaubhaftigkeit der Lösung erreicht werden. Hier besteht folglich eine Verbindung zum Handlungsfeld I, da der Wissensaufbau sowohl zum Thema Blockchain als auch zum

Thema Klimaschutz/ Energiewende entscheidend ist, um eine Sensibilisierung für die Stärken und Schwächen (blockchainbasierter) Lösungen im Kontext von Klimaschutz und Energiewende zu schaffen.

Eine weitere Option zur Bekämpfung der Gefahr des Greenwashings besteht darin, die Bemühungen zur Entwicklung von (internationalen) Standards und Normen für Blockchain-Lösungen zu verstärken, insbesondere in Bereichen, die für den Einsatz der Technologie im Kontext von Klimaschutz und Energiewende von essentieller Bedeutung sind (bspw. Oracles, etc.). Dass diese Handlungsoption an Dringlichkeit gewonnen hat, zeigt sich auf daran, dass bei der ISO im November 2022 eine Arbeitsgruppe zum Thema „DLT and Carbon Markets“ ins Leben gerufen wurde (siehe hierzu auch Handlungsfeld III). Eine wichtige Rolle bei der Entwicklung von Standards kann auch Open-Source-Initiativen zukommen (wie bspw. dem Chainlink Network). Die Verbindlichkeit von Normen und Standards lässt sich maßgeblich dadurch erhöhen, dass eine Bezugnahme auf diese im allgemeinen Regulierungsrahmen erfolgt (bspw. im Lieferkettengesetz, etc.). Hierdurch kann der Gesetzgeber zum einen Mindeststandards für die Blockchain-Lösungen im Kontext von Klimaschutz und Energiewende definieren und bleibt zugleich hinreichend dynamisch, um weitere technologische Entwicklungen einzuschließen.

Ganz praktische Bedeutung erlangen die Standards zudem bei der Ausgestaltung der digitalen Identitäten von Endgeräten oder den Smart Meter, welche die Schnittstelle zwischen dem Smart Home bzw. Smart Enterprise und der Versorgungswirtschaft bilden.⁸⁷ Insbesondere bei den zunehmend automatisierten Abrechnungsmodellen verschiedener Versorger sind Nachvollziehbarkeit, Glaubwürdigkeit und Transparenz unverzichtbar, um (Verbraucher-) Vertrauen zu schaffen. Dies wird insbesondere durch die Standardisierung der „key-pairs“ ermöglicht, welche die sichere Koppelung zwischen Endgerät (bspw. Smart Meter), Blockchain und automatisiertem Bezahlssystem bilden und denen eine zentrale Rolle im

⁸⁷ Für eine ausführliche Auseinandersetzung mit dem Thema Blockchain-basierter digitaler Identitäten im Energiebereich siehe dena (2022): "Digitale Maschinen-Identitäten als Grundbaustein für ein automatisiertes Energiesystem - Aufbau eines Identitätsregisters auf Basis der Blockchain-Technologie".

Gesamtsystem zukommt. Eine standardisierte Blockchain-Lösung besitzt gegenüber den Alternativen wie zentralen Datenbank- oder Plattformlösungen den Vorteil, dass im Vergleich zu alternativen Lösungen auf Zwischenschritte bzw. Intermediäre verzichtet werden kann. Damit besteht zum einen eine geringere Fehleranfälligkeit. Zum anderen wird eine größere Flexibilität im Hinblick auf die Anpassung auf hochdynamische, flexible Märkte ermöglicht. Gerade im Zuge der Versorgungswirtschaft (Energie, Wasser), welche in den Bereich der Daseinsvorsorge fällt, muss dabei jedoch gewährleistet werden, dass Versorgungssicherheit nicht gefährdet ist und die Verantwortlichkeiten klar definiert sind (Stichwort: Kritische Infrastruktur (KRITIS)). Eine mögliche Option besteht darin, im Kontext von KRITIS durch Testbeds und Sandboxes einfache und pragmatische Strukturen bzw. Lösungen zu entwickeln, in denen das Zusammenspiel der involvierten Akteure erprobt werden kann.

Ein weiteres Hemmnis für die Implementierung von tokenbasierten Lösungen zum Zwecke des Klimaschutzes oder der Energiewende sind die bestehenden Unsicherheiten mit Blick auf die steuerliche Handhabung von Token und Kryptowährungen. Zur steuerlichen Handhabung sind zwischen 2019 und 2021 eine Reihe von divergierenden Entscheidungen ergangen, weshalb das BMF im Mai 2022 ein Schreiben an die obersten Finanzbehörden der Länder zu „Einzelfragen zur ertragsteuerrechtlichen Behandlung von virtuellen Währungen und von sonstigen Token“ versandt hat.⁸⁸ Darin wird in Anlehnung an die RL (EU) 2018/843 die Sicht der Finanzverwaltung auf die technischen Grundlagen und Begrifflichkeiten der Blockchain-basierten Technologie und deren steuerliche Behandlung in Zusammenhang mit diversen in Betracht kommenden Geschäftsvorfällen erläutert. Allerdings wird in dem Schreiben selbst mehrfach festgestellt, dass eine Einordnung von Tätigkeiten im Zusammenhang mit Einheiten einer virtuellen Währung/Token nach den **Umständen des Einzelfalls** erfolgen muss und anschließend zu entscheiden ist,

⁸⁸ Das Schreiben des Bundesfinanzministeriums aus dem Mai 2022 ist hier abrufbar: https://www.bundesfinanzministerium.de/Content/DE/Downloads/BMF_Schreiben/Steuerarten/Einkommensteuer/2022-05-09-einzelfragen-zur-ertragsteuerrechtlichen-behandlung-von-virtuellen-waehrungen-und-von-sonstigen-token.html.

ob es sich um Einkünfte aus Gewerbebetrieb, nicht-selbständiger Arbeit, aus Kapitalvermögen, aus privaten Veräußerungsgeschäften oder sonstige Einkünfte handelt (§§ 15 - 22 EStG). Es besteht somit noch keine Normenbestimmtheit und -klarheit. Die ertragsteuerliche Behandlung von virtuellen Währungen und sonstigen Token wird trotz der Veröffentlichung eines umfangreichen BMF-Schreibens auch weiter mit zahlreichen einzelfallbezogenen Fragen in der steuerpraktischen Anwendung verbunden sein. Mit dem nunmehr vorgelegten BMF-Schreiben können die Zweifel am Erfordernis einer für virtuelle Währungen und Token gesonderten steuergesetzlichen Regelung letztendlich nicht beseitigt werden; zahlreiche Detailfragen bleiben offen, wie bspw. die Behandlung von DAOs, NFTs, DeFi.⁸⁹ Von diesen Unsicherheiten sind daher auch die tokenbasierten Lösungen zum Zwecke des Klimaschutzes und der Energiewende betroffen, bspw. im Bereich des tokenbasierten Emissionshandels.

Da diese (steuerrechtlichen) Unsicherheiten den Einsatz von Blockchain-Lösungen im Kontext des Klimaschutzes, bspw. beim tokenbasierten Emissionshandel, hemmen können, ist es wichtig, dass der Gesetzgeber hier Klarheit schafft und sich von der Einzelfall-Praxis löst. Stattdessen sollten eindeutige Richtlinien und Vorschriften für die Besteuerung von Token festgelegt werden. Zum Aufstellen dieser steuerlichen Rahmenbedingungen sollte eine enge ressortübergreifende Abstimmung erfolgen, damit sichergestellt werden kann, dass die fiskalischen und wirtschaftspolitischen Ziele der Regelungen nicht konträr verlaufen, sondern im Einklang stehen.

Mögliche Handlungsoptionen im Handlungsfeld II: „Qualitätsstandards und Rechtssicherheit sicherstellen, um Vertrauen in nachhaltige Blockchain-Lösungen zu schaffen“:

- ▶ „Blockchain-TÜV“ als Maßnahme gegen Greenwashing: Ausstellung von Zertifizierungen bzw. Labeln durch glaubwürdige Dritte, sowohl für den technischen Aufbau der Blockchain als auch für

⁸⁹ Vgl. hierzu Knittel, ErbStB 2022, 271-279, Köster, DStZ 2022, 445 - 451 sowie Müller, BB 2022, 1687-1692.I.

den Dateninput der Blockchain (Stichwort Oracles), um Vertrauen in Lösungen zu erhöhen und somit adversen Selektionsprozessen vorzubeugen.

- ▶ Standardisierungs- und Normierungsbemühungen, insbes. bei den Oracles, vorantreiben, mit anschließender Bezugnahme auf die Standards im Regulierungsrahmen durch den Gesetzgeber.
- ▶ Bei Anwendungsszenarien im Kontext von KRITIS (bspw. Energieversorgung) ist über die Einrichtung von Sandboxes bzw. Testbeds nachzudenken, welche der Etablierung von neuen, pragmatischen Strukturen bzw. Verantwortlichkeiten zur Gewährleistung der Versorgungssicherheit dienen.
- ▶ Eindeutige, anreizkompatible (steuerrechtliche) Rahmenbedingungen für Token-basierte Lösungen schaffen, um Hemmnisse für deren Einsatz, bspw. im Kontext des Emissionshandels abzubauen.

5.3 Handlungsfeld III: Supranationale Strukturen und Zusammenarbeit stärken, um die Diffusion von blockchainbasierten Anwendungen für den Klimaschutz zu fördern und zu skalieren

Dem Thema Klimaschutz ist inhärent, dass diesem auf isolierter nationaler Ebene nur bedingt begegnet werden kann.⁹⁰ Notwendig ist eine Abstimmung idealerweise auf internationaler, zumindest aber supranationaler Ebene. Nach der Formulierung der Klimaschutz- und Nachhaltigkeitsziele auf UN-Ebene im Rahmen des Pariser Klimaabkommens und der Agenda 2030,⁹¹ ist auch bei der Umsetzung von Maßnahmen zum Erreichen der Ziele die internationale Abstimmung und Koordination ein kritischer Erfolgsfaktor. Ein mögliches Einsatzfeld für die Blockchain-Technologie ergibt sich in diesem Kontext durch Artikel 6.2 des Pariser Klimaabkommens. Dieser sieht einen Marktmechanismus vor, mit dem die Nationalstaaten zum Erreichen ihrer auf nationalstaatlicher

Ebene festgelegten Reduktionsziele für den Treibhausgasausstoß international übertragbare Kompensationsleistungen anderer Nationalstaaten erwerben können, welcher auf der Ebene der Nationalstaaten die Möglichkeit des direkten zwischenstaatlichen Ausgleichs von Kompensationsleistungen vorsieht. Für diesen in Artikel 6.2 formulierten dezentralen bottom-up P2P-Ansatz für den Emissionshandel zwischen den Nationalstaaten, könnte sich eine Blockchain-Lösung anbieten, die als Layer auf der aggregierten Metaebene („ledger of ledgers“) die heterogenen Emissionshandelssysteme verknüpfen könnte. Auf diesem Weg könnte das Double-Counting-Problem adressiert werden, welches gegenwärtig im Ausgleichssystem auf Basis von Artikel 6.2 eintreten kann: Durch den fehlenden „ledger of ledgers“ besteht zurzeit die Gefahr, dass eine CO₂-Kompensationsleistung an mehrere Akteure verkauft wird. Zusätzlich könnte die Blockchain-Lösung durch eine automatisierte Abrechnung die Transaktionskosten senken.⁹²

Voraussetzung für eine solche Lösung ist allerdings, dass die nationalstaatlichen Emissionshandelssysteme und -register interoperabel sind. Dass die Relevanz der Frage nach der Standardisierung von Emissionshandelslösungen, und insbesondere von blockchainbasierten Lösungen, gestiegen ist, zeigt sich auch daran, dass die ISO TC 307 im November 2022 eine Ad-hoc Arbeitsgruppe zum Thema „DLT and Carbon Markets“ eingerichtet hat, welche das Ziel verfolgt, Empfehlungen zu Standardisierungsbemühungen in Bezug auf Blockchain und Emissionshandelssysteme zu geben. Für die sich daraus ergebenden Standardisierungs- und Normungsverfahren gilt es aus nationalstaatlicher Sicht die Interessen der deutschen Volkswirtschaft adäquat zu deren wirtschaftlichem Gewicht zu vertreten und dort der Vorreiterrolle Deutschlands mit Blick auf die ökologische Nachhaltigkeit gerecht zu werden. Sowohl die rege Teilnahme der deutschen Regulatoren als auch entsprechender Expertinnen und Experten, insbesondere aus der IT-Wirtschaft muss sichergestellt werden, um auch die langjährigen Erfahrungen, die in Deutschland seit der Verabschiedung der nationalstaatlichen Blockchain-Strategie im Jahr 2019 mit der

⁹⁰ Ähnliches gilt für die Energiewende aufgrund der interdependenten Netzinfrastrukturen über Ländergrenzen hinweg.

⁹¹ Siehe hierzu auch Kapitel 2.

⁹² Vgl. Schletz et al. (2020).

Technologie gesammelt wurden, im Hinblick auf die Themen Klimaschutz und Energiewende mit einbringen zu können.

Darüber hinaus führt die rasante Entwicklung der Blockchain-Technologie dazu, dass es in aktuellen Standardisierungsfragen zu einer großen Diskrepanz zwischen Markt- und Standardisierungsgeschwindigkeiten kommt. Eine Möglichkeit dieses Problem anzugehen besteht darin, die der Standardisierung zugrunde liegenden Evaluationszeiträume aufgrund des bestehenden Handlungsdrucks Ergebnisse im Hinblick auf den Klimaschutz und die Energiewende zu erzielen, zu verkürzen. Dies könnte bspw. durch den Rückgriff auf Fast-Track-Verfahren, wie bspw. beim DIN Spec-Verfahren erreicht werden. Darüber hinaus böte dies den Vorteil, dass auch aktuelle technische Entwicklungen im Bereich DLT möglichst flexibel berücksichtigt werden können. In diesem Zusammenhang bietet es sich auch an, eine Standardisierung sowie Regulierung von Smart Contracts bereits möglichst früh anzustoßen, da aktuelle Erfahrungen zeigen, dass die Prozesse dazu viel Zeit in Anspruch nehmen können.

Weshalb auch eine rechtliche Harmonisierung mit Blick auf die Blockchain-Technologie in der Thematik Klimaschutz und Energiewende besonders sinnvoll scheint, lässt sich anhand des Beispiels der Strommärkte erkennen. Diese sind vor allem in der EU aufgrund der engen Verflechtung der entsprechenden Netze bereits supranational organisiert. Dennoch ist mit Blick auf diesen Markt eine fehlende Tokenisierung feststellbar, welche u.a. auf eine mangelnde Harmonisierung im rechtlichen Umgang mit Token auf europäischer Ebene zurückzuführen ist, was die Realisierung der in Kapitel 3.2 beschriebenen Potenziale der Blockchain-Technologie im Energiesektor erschwert.

Eine wichtige Rolle in der Bereitstellung supranationaler Blockchain-Infrastrukturen kann der European Blockchain Services Infrastructure (EBSI) beim Ausrollen von blockchainbasierten Anwendungsszenarien zum Zwecke des Klimaschutzes und der Energiewende zukommen. Bei der EBSI haben sich 30 europäische Staaten (EU-27 sowie Norwegen, und Liechtenstein und die Ukraine mit Beobachterstatus) zusammen-

geschlossen und eine EU-weite Blockchain-Infrastruktur unter Berücksichtigung der europäischen Werte und Vorschriften aufgebaut. Das Ziel ist die Nutzung der Infrastruktur für grenzüberschreitende Dienste. EBSI könnte den grenzüberschreitenden CO₂-Zertifikatehandel erleichtern, die Durchsetzung eines erweiterten Lieferkettengesetzes ermöglichen, ergänzt um einen "Proof of Green" oder aber die "Guarantee of Origin" für grüne Energie in Form von Strom oder Wasserstoff ermöglichen. Eine stärkere Interessenvertretung Deutschlands in der Europäischen Blockchain Partnerschaft (EBP), verantwortlich für EBSI, kann dabei nicht nur den Aufbau einer deutschen Blockchainindustrie flankieren, sondern auch dem Primat gesellschaftlicher und wirtschaftlicher Entwicklung unter Klimavorbehalt Ausdruck verleihen. Die EBSI wird voraussichtlich im Jahr 2023 in das European Digital Infrastructure Consortium (EDIC) übergehen, einer zentralen Instanz zur Weiterentwicklung der europäischen Digitalisierung. Das BMWK ist bereits heute in der EBP engagiert, was es auszubauen und zu akzentuieren gilt. Dies gilt insbesondere im Hinblick auf eine verstärkte Beteiligung an der EBSI-Infrastruktur.

Eine weitere Option, die Bedeutung der EBSI bei der Diffusion von blockchainbasierten Anwendungen zum Zwecke des Klimaschutzes und der Energiewende zu steigern, besteht darin, eine Nutzbarkeit dieser in der Art eines Multichain-Systems auch für privatwirtschaftliche (Test-)Zwecke zu ermöglichen. Dadurch könnte zum einen die Herausforderung der Interoperabilität verschiedener Netzwerke adressiert werden, was die Schaffung supranationaler Strukturen vereinfachen könnte und zum anderen können durch die Freigabe für privatwirtschaftliche Testzwecke Bedenken von Seiten der Unternehmen in Bezug auf die Nutzung der Blockchain abgebaut werden. Darüber hinaus könnte die EBSI auch in diesem Sinne als „ledger of ledgers“ dazu genutzt werden, den zu Beginn des Kapitels erwähnten blockchainbasierten Emissionshandel zwischen Nationalstaaten im Sinne von Artikel 6.2 des Pariser Klimaabkommens zu ermöglichen.

Parallel zu den Initiativen auf europäischer Ebene und zur Sicherstellung von Interoperabilität von staatlichen und föderalen Instanzen innerhalb Deutsch-

lands einerseits, sowie zwischen Deutschen und europäischen Instanzen andererseits, ist über den Aufbau einer der EBSI angelehnten „Deutschland-Chain“ nachzudenken, wie dies bspw. bereits Länder wie Spanien mit Alastria oder Italien mit IBSI demonstrieren. Hier könnte Deutschland als Vorreiter über die bislang von der EU geplanten EBSI-Aktivitäten hinaus gehen, indem eine Art Miniatur-EBSI aufgesetzt wird, welche sich zunächst auf Deutschland mit seinen Bundesländern beschränkt. Basierend auf dieser Blockchain-Infrastruktur könnten Pilotprojekte und Anwendungsfälle für Unternehmen und Verbraucher entwickelt werden, welche zum Klimaschutz und zur Energiewende beitragen. Das BMWK könnte einen Wettbewerb ausschreiben mit dem Ziel, Klimaschutzprojekte auf dieser Deutschland-Chain zu implementieren, etwa aus der Baubranche, oder der Solar- und Windenergieindustrie. Bei Erfolg könnten diese dann europaweit als Innovationsbeitrag Made in Germany über EBSI ausgerollt werden.

Mögliche Handlungsoptionen im Handlungsfeld III: „Supranationale Strukturen und Zusammenarbeit stärken, um die Diffusion von blockchainbasierten Anwendungen für den Klimaschutz zu fördern und zu skalieren“:

- ▶ Intensivierung der Beteiligung deutscher Regulatoren und (IT-)Expertinnen und -Experten an internationalen Standardisierungsprozessen und Normungsverfahren der Blockchain-Technologie.
- ▶ Verkürzung der der Standardisierung zugrunde liegenden Evaluationszeiträume, aufgrund der rasanten Technologieentwicklung und des bestehenden Handlungsdrucks, Ergebnisse im Hinblick auf den Klimaschutz und die Energiewende zu erzielen.
- ▶ Harmonisierung von Rechtsstandards in Bezug auf Token, um dort blockchainbasierte Anwendungen für den Klimaschutz zu fördern, wo bereits supranationale Zusammenarbeit stattfindet (wie bspw. im europäischen Strommarkt).
- ▶ Einführung einer „ledger of ledgers“ zur Verknüpfung der heterogenen staatlichen Emissionshandelssysteme im Sinne von Artikel 6.2 des Pariser Klimaabkommens prüfen, bspw. basierend auf EBSI als europäische Vorreiterlösung.
- ▶ Aufbau einer „Deutschland-Chain“ im Sinne einer Miniatur-Version der EBSI als europäischer Vorreiter, auf der u.a. Pilotprojekte und Anwendungsfälle für Klimaschutz & Energiewende implementiert werden können.

6 FAZIT

Will Deutschland die selbstgesteckten Ziele für das Jahr 2030 im Klimaschutz und der Energiewende erreichen, sind innovative Ansätze erforderlich. Die „Eröffnungsbilanz Klimaschutz“ des BMWK hat gezeigt, dass die bisher getroffenen Maßnahmen und eingeschlagenen Wege nicht ausreichend waren.

Es braucht innovative Lösungen, wie die Effektivität von Maßnahmen erhöht werden kann und wie Herausforderungen, welche durch die Transition zu einer klimaneutralen Wirtschaft entstehen, wie bspw. die Organisation eines dezentralen Energiemarkts, gelöst werden können. Dies ist eine Voraussetzung dafür, dass die im European Green Deal formulierte Vision einer nachhaltigen, resilienten und wettbewerbsfähigen Wirtschaft Wirklichkeit werden kann.

Durch ihre dezentrale Architektur, der Möglichkeit zu einem verbesserten Tracking und Tracing sowie der automatisierten Abwicklung von Transaktionen hat die Blockchain-Technologie das Potenzial, zum Erreichen der Ziele im Klimaschutz sowie der Energiewende beizutragen.

Die Einsatzfelder der Technologie liegen dabei sowohl im Emissions-, im Energie- als auch im Transparenz- und Nachhaltigkeitsmanagement. Die Auswertung der Unternehmensfrage unter 200 Führungskräften deutscher Unternehmen mit Blockchain-Erfahrung zeigt, dass die Unternehmen in allen drei Einsatzfeldern hohe Potenziale der Technologie sehen. Die Umfrage verdeutlicht, dass durch den Einsatz von Blockchain die nachhaltige Leistungsfähigkeit der Unternehmen, definiert als ökonomisch rationales, ökologisches Handeln, gestärkt werden kann. Insbesondere gilt dies in den Einsatzbereichen Emissions- und Energiemanagement, da hier die Unternehmen durch Blockchain-Lösungen Effizienzgewinne sowohl bei der eigentlichen wirtschaftlichen Aktivität (bspw. im dezentralen Energiehandel) als auch beim Erfüllen regulatorischer Bestimmungen (bspw. im Zertifikatehandel) erzielen können und ökonomische und ökologische Nachhaltigkeit damit stärker im Einklang stehen. Demgegenüber lässt sich

aus der Umfrage schließen, dass das Transparenz- und Nachhaltigkeitsmanagement weniger eine effizientere Verwendung von Ressourcen bewirkt. Im Vordergrund steht hier in erster Linie der Nachweis der Nachhaltigkeit von Produkten oder Prozessen („Proof of Green“).

Die Resultate der Unternehmensumfrage zeigen aber auch, dass staatlicher Handlungsbedarf besteht, um die Potenziale, die der Einsatz der Blockchain-Technologie für den Klimaschutz und die Energiewende bietet, auch im größeren Umfang realisieren zu können. Dieser Handlungsbedarf erstreckt sich sowohl auf den ordnungspolitischen Rahmen als auch auf anwendungsorientierte Maßnahmen.

Letztere sollten vor allem dazu dienen, die bestehende Lücke im Wissenstransfer an Verbraucher und Unternehmen zu schließen. Über die Blockchain-Technologie befinden sich viele Vorurteile im Umlauf, die den Einsatz im Nachhaltigkeitskontext hemmen (wie bspw. das Vorurteil des per se hohen Energieverbrauchs). Durch eine breit angelegte Aufklärungs- und Unterstützungskampagne können die Verbraucher und Unternehmen daher über die Potenziale der Technologie für den Klimaschutz informiert werden und bei der Implementierung von blockchainbasierten Lösungen unterstützt werden.

Eine weitere Handlungsoption besteht darin, über ein Zertifizierungssystem für Blockchains („Blockchain-TÜV“) Qualitätsstandards zu setzen, um so das Vertrauen in die Lösungen zu erhöhen und Greenwashing zu vermeiden. Über die Entwicklung eines einheitlichen, einfachen Rahmens zur (steuer-)rechtlichen Handhabung von Token in Deutschland bzw. Europa, lassen sich zudem Hemmnisse zur Nutzung Token-basierter Lösungen abbauen, bspw. im Kontext des Emissionshandels.

Da dem Klimawandel nur durch internationale Zusammenarbeit begegnet werden kann, sollten zudem die supranationalen Strukturen ausgebaut und gestärkt werden. Ein Ansatzpunkt besteht bspw. da-

rin, eine blockchainbasierte „Ledger of Ledgers“ zu schaffen zur Verknüpfung der bisher heterogenen nationalstaatlichen Emissionshandelssysteme im Sinne von Artikel 6.2 des Pariser Klimaabkommens. Auf diese Weise könnte mittels Blockchain dem Problem des „Double Countings“ von Emissionszertifikaten vorgebeugt werden.

Zusammenfassend lässt sich konstatieren, dass von der Blockchain-Technologie ein essentieller Beitrag zum Erreichen der Klimaschutz- und Energiewende-

ziele ausgehen kann. Der Einsatz der Technologie stellt dabei einen Baustein von vielen dar, der aber nicht vernachlässigt werden sollte. Nur durch Innovation lässt sich dem bestehenden Handlungs- und Zeitdruck zum Erreichen der Klimaschutzziele begegnen. Voraussetzung hierfür ist, dass die Politik zeitnah die Weichen richtig stellt, damit die Potenziale, die von der Blockchain-Technologie zur Unterstützung des Klimaschutzes und der Energiewende ausgehen können, möglichst umfassend ausgeschöpft werden können.

7 LITERATURVERZEICHNIS

- Accenture (2016): How Blockchain can bring Greater Value to Procure-to-Pay Processes, abrufbar unter <https://www.slideshare.net/accenture/how-blockchain-can-bring-greater-value-to-procure-to-pay-processes>, zuletzt abgerufen am 1.3.2022.
- Akerlof, G. (1970): "The Market for Lemons: Quality Uncertainty and the Market Mechanism. Quarterly Journal of Economics, Vol. 84, S.488-500.
- Baydakova, A. (2021): „Inside China's Effort to Create a Blockchain it can control"; abrufbar unter: <https://www.coindesk.com/markets/2021/03/16/inside-chinas-effort-to-create-a-blockchain-it-can-control/>; letzter Aufruf: 27.02.2022.
- Beck, R. (2018): Beyond bitcoin: The rise of blockchain world. Computer, 51(2), 54-58.
- BNetzA (2021): Die Blockchain-Technologie - Grundlagen, Potenziale und Herausforderungen, abrufbar unter: https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Fachthemen/Digitalisierung/Technologien/Blockchain/Links_Dokumente/einfuehrung_bc.pdf?__blob=publicationFile&v=12, zuletzt abgerufen am 18.12.2022.
- Bova, S. et al. (2021) Seasonal origin of the thermal maxima at the Holocene and the last inter-glacial. Nature 589, 548-553 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41586-020-03155-x>.
- Boyd, C. (2022): The human right to a clean, healthy and sustainable environment: a catalyst for accelerated action to achieve the Sustainable Development Goals; Report of the Special Rapporteur on the issue of human rights obligations relating to the enjoyment of a safe, clean, healthy and sustainable environment; Drucksache A/77/284*.
- Bundesministerium für Bildung und Forschung [BMBF] (o.A.): Energiewende, abrufbar unter: https://www.bmbf.de/bmbf/de/forschung/energiewende-und-nachhaltiges-wirtschaften/energiewende/energiewende_node.html, zuletzt abgerufen am 18.12.2022.
- Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz [BMWK] (2021): Infografiken Energie, abrufbar unter: https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Infografiken/Energie/fakten-aus-eroeffnungsbilanz-marginal.pdf?__blob=publicationFile&v=2, zuletzt abgerufen am 18.12.2022.
- Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz [BMWK] (2022): „Eröffnungsbilanz Klimaschutz"; abrufbar unter: https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/Energie/220111_eroeffnungsbilanz_klimaschutz.pdf?__blob=publicationFile&v=22 [zuletzt aufgerufen am 23.12.2022]
- Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz [BMWK] (2022a): Neue EU-Klimapolitik steht: Politische Verständigung zum Abschluss des „Fit for 55"-Klimapaket, abrufbar unter: <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Pressemitteilung/2022/12/20221218-neue-eu-klimapolitik.html>, zuletzt abgerufen am 19.12.2022.
- Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz [BMWK] (2022b): Entwurf eines Gesetzes zum Neustart der Digitalisierung der Energiewende, abrufbar unter: <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Artikel/Service/Gesetzesvorhaben/neustart-der-digitalisierung-der-energiewende.html>, zuletzt abgerufen am 21.12.2022.
- Bundesregierung (2019): Blockchain-Strategie der Bundesregierung - Wir stellen die Weichen für die Token-Ökonomie".
- Bundesregierung (2022a): Mehr Energie aus erneuerbaren Quellen, abrufbar unter: <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/klimaschutz/energiewende-beschleunigen-2040310>, zuletzt abgerufen am 18.12.2022.
- Bundesregierung (2022b): Energieeffizienz - Unverzichtbar für das Gelingen der Energiewende, abrufbar unter: <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/klimaschutz/energieeffizienz-1755970>, zuletzt abgerufen am 18.12.2022.
- Bundesregierung (2022c): Weniger Energieverbrauch, mehr Sicherheit, abrufbar unter: <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/klimaschutz/energie-sparen/energieeffizienz-bundesregierung-2042178>, zuletzt abgerufen am 24.03.2023.
- Bundesregierung (2022d): EU-Klimaschutzpaket: Fit For 55, abrufbar unter: <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/europa/fit-for-55-eu-1942402>, zuletzt abgerufen am 30.03.2023.
- Burges, K., Creutzburg, P., Maas, N. und C. Nabe (2022): Netzdienliche Flexibilitätsmechanismen, abrufbar unter: https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Sinteg/synthesebericht-2-netzdienliche-flexibilitatsmechanismen.pdf?__blob=publicationFile&v=6, zuletzt abgerufen am 18.12.2022.
- Bushnell, JB. (2011): The Economics of Carbon Offsets, abrufbar unter: <https://www.nber.org/system/files/chapters/c12156/c12156.pdf>, zuletzt abgerufen am 18.12.2022.
- Carver, A. (2022): "The Platform for Decentralized Sustainability", Vortrag im Rahmen von "Polkadot Decoded" am 29.Juni 2022 in New York (US); abrufbar unter: <https://www.youtube.com/watch?v=gw0ryjw3rxE> [zuletzt aufgerufen am 11.12.2022].
- Chen, D.B. (2018): Utility of the Blockchain for Climate Mitigation, abrufbar unter: <https://jbba.scholasticahq.com/article/3577.pdf>, zuletzt abgerufen am 18.12.2022.
- CoinMarketCap (2022): Historical Snapshot - 14 December 2022, abrufbar unter: <https://coinmarketcap.com/historical/20221214>, zuletzt abgerufen am 18.12.2022.
- Crypto Carbon Ratings Institute (2022a): Energy Efficiency and Carbon Footprint of PoS Blockchain Protocols, abrufbar unter: <https://carbon-ratings.com/dl/pos-report-2022>, zuletzt abgerufen am 18.12.2022.

- Crypto Carbon Ratings Institute (2022b): The Merge - Implications on the Electricity Consumption and Carbon Footprint of the Ethereum Network, abrufbar unter: <https://carbon-ratings.com/dl/eth-report-2022>, zuletzt abgerufen am 18.12.2022.
- Culotta, C., Schulte, AT., Beck, R., Gesmann-Nuissl, D. und R. Koller (2021): Token-Ökonomie in Deutschland – Potenziale, Hemmnisse und Handlungsfelder, abrufbar unter: <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Digitale-Welt/blockchain-kurzstudie.html>, zuletzt abgerufen am 18.12.2022.
- De Freitas Netto et al. (2020): "Concepts and forms of greenwashing: a systematic review"; in: *Environ Sci Eur* 32, 19 (2020). <https://doi.org/10.1186/s12302-020-0300-3>.
- Deutsche Energie-Agentur (Hrsg.) (dena) (2022): Digitale Maschinen-Identitäten als Grundbaustein für ein automatisiertes Energiesystem - Aufbau eines Identitätsregisters auf Basis der Blockchain-Technologie ((Pilot: Blockchain Machine Identity Ledger)
- Deutsche Energie-Agentur [dena] (2019): Blockchain in der integrierten Energiewende, abrufbar unter: https://www.dena.de/fileadmin/user_upload/dena-Studie_Blockchain_Integrierte_Energiewende_DE4.pdf, zuletzt abgerufen am 18.12.2022.
- DeutscheUmwelthilfe (2021): Befragung der Deutschen Umwelthilfe deckt auf, wie Unternehmen in Deutschland Greenwashing bei Ökostrom betreiben, abrufbar unter: <https://www.duh.de/presse/pressemitteilungen/pressemitteilung/befragung-der-deutschen-umwelthilfe-deckt-auf-wie-unternehmen-in-deutschland-greenwashing-bei-oekost/>, zuletzt abgerufen am 18.12.2022.
- Edna (o.A.): Energiewirtschaft im Wandel, abrufbar unter: <https://edna-bundesverband.de/marktthemen/energiewirtschaft-wandel/>, zuletzt abgerufen am 18.12.2022.
- Edwards, R. (2019): Harnessing Private Investor 'Willingness-to-Pay' for Climate Change Mitigation, abrufbar unter: https://www.forest-trends.org/wp-content/uploads/2019/05/doc_5752.pdf, zuletzt abgerufen am 18.12.2022.
- EnBW (2021): Blockchain: Wissen, woher der Ökostrom stammt, abrufbar unter: <https://www.enbw.com/unternehmen/eco-journal/herkunftsnachweis-per-block-chain.html#:~:text=Der%20digitale%20Herkunftsnachweis%20der%20Zukunft,Code%20also%2C%20nur%20noch%20f%C3%A4lschungssicherer>, zuletzt abgerufen am 18.12.2022.
- EU-Kommission (2019): The European Green Deal, abrufbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1576150542719&uri=COM%3A2019%3A640%3AFIN>, zuletzt abgerufen am 30.03.2023.
- EU-Kommission (2022): "Proposal for a REGULATION OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL establishing a framework for setting ecodesign requirements for sustainable products and repealing Directive 2009/125/EC"; 2022/0095 (COD).
- EU-Kommission (o.A.): EU-EHS-Emissionen – Überwachung, Berichterstattung und Überprüfung, abrufbar unter: https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets/monitoring-reporting-and-verification-eu-ets-emissions_de, zuletzt abgerufen am 18.12.2022.
- Fichman, R. G. (2001). The Role of Aggregation in the Measurement of IT-Related Organizational Innovation. *MIS Quarterly* 25 (4), 427-455.
- Hake, J-F., Fischer, W., Venghaus, S. und C. Weckenbrock (2015): The German Energiewende – History and status quo, abrufbar unter: <https://www.researchgate.net/publication/277937823>, zuletzt abgerufen am 18.12.2022.
- Hardin, G. (1968): „The Tragedy of the Commons“, in: *Science, New Series*, Vol. 162, No. 3859 (Dec. 13, 1968), pp. 1243-1248.
- Jackson, R. (2022): "Newer Blockchains are Overcoming Energy Consumption Limitations of Earlier Models"; abrufbar unter <https://www.nasdaq.com/articles/newer-blockchains-are-overcoming-energy-consumption-limitations-of-earlier-models> [zuletzt aufgerufen am 10.01.2023].
- King, S. und S. Nadal (2012): PPCoin: Peer-to-Peer Cryptocurrency with Proof-of-Stake, abrufbar unter: <https://bitcoin.peryaudo.org/vendor/peercoin-paper.pdf>, zuletzt abgerufen am 18.12.2022.
- Lin-Hi, N. (2022): "Greenwashing"; Gabler Wirtschaftslexikon; <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/greenwashing-51592/version-384777>; letzter Aufruf 08.12.2022.
- Märkel, C., Simons, M., Stronzik, M., Papen, M.C., Lundborg, M., Gesmann-Nuissl, D. und R. Beck (2022): Blockchain im Mittelstand, abrufbar unter: https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Mittelstand/blockchain-im-mittelstand.pdf?__blob=publicationFile&v=8, zuletzt abgerufen am 18.12.2022.
- Märkel, C., Stronzik, M., Simons, M., Wissner, M. und M. Lundborg (2021): Einsatz von Blockchain in KMU: Chancen & Hemmnisse, abrufbar unter: https://www.wik.org/uploads/media/WIK_Diskussionsbeitrag_Nr_477.pdf, zuletzt abgerufen am 18.12.2022.
- OECD (2021): "Closing the SDG Financing Gap in the COVID-19 era"; scoping note prepared at the request of the Italian G20 Presidency by the OECD and UNDP as background information for discussions in the 1st G20 Development Working Group meeting on 24-25 February 2021.
- Ostrom, E. (1990): "Governing the Commons: The evolution of institutions for collective action"; Cambridge University Press.
- Pan, Y., Zhang, X., Wang, Y., Yan, J., Zhou, S., Li, G., und J. Bao (2019): Application of Blockchain in Carbon Trading, abrufbar unter: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610219305338/pdf?md5=78f277683fdc30abb94b9b7c7e54915c&pid=1-s2.0-S1876610219305338-main.pdf>, zuletzt abgerufen am 18.12.2022.
- Prados, L. (2022): "What is Regenerative Finance (ReFi) – Exploring Regenerative Tokenomics"; abrufbar auf Medium unter <https://medium.com/regenliving/what-is-regenerative-financing-refs-8bebf2e0a4d> [letzter Aufruf am 11.12.2022].

- PWC (2021): "State of Climate Tech 2021 - Scaling breakthroughs for net zero".
- Sayeed, S. und H. Marco-Gisbert (2019): Assessing Blockchain Consensus and Security Mechanisms against the 51% Attack, abrufbar unter: <https://www.mdpi.com/2076-3417/9/9/1788/pdf>, zuletzt abgerufen am 18.12.2022.
- Schletz, M. (2022): "Current state of ReFi: a Litepaper exploring how to create interoperability in the ecosystem", Open Earth Foundation; abrufbar unter: <https://www.openearth.org/blog/current-state-of-refi-a-litepaper-exploring-how-to-create-interoperability-in-the-ecosystem> [letzter Aufruf am 11.12.2022].
- Schletz, M., Franke, L. und S. Salomo (2020): Blockchain Application for the Paris Agreement Carbon Market Mechanism—A Decision Framework and Architecture, abrufbar unter: <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/12/5069>, zuletzt abgerufen am 23.12.2022.
- Schweizerische Normen-Vereinigung (2021): DLT-for-Power - Guide on transforming Electricity Market processes using DLT, supporting Energy, abrufbar unter: <https://connect.snv.ch/de/sng-75075-2021>, zuletzt abgerufen am 18.12.2022.
- Sipthorpe, A., Brink, S., Van Leeuwen, T. und I. Staffell (2022a): Blockchain solutions for carbon markets are nearing maturity, abrufbar unter: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590332222003256/pdf?md5=c31027eec97eedba631270517d5e20d&pid=1-s2.0-S2590332222003256-main.pdf>, zuletzt abgerufen am 18.12.2022.
- Sipthorpe, A., Brink, S., Van Leeuwen, T. und I. Staffell (2022b): Blockchain solutions for carbon markets are nearing maturity - Supplemental Information, abrufbar unter: <https://www.cell.com/cms/10.1016/j.oneear.2022.06.004/attachment/43ab791c-7e9a-4c20-8812-68126195909c/mmc1>, zuletzt abgerufen am 18.12.2022.
- Smajgl, A. / Schweik, C. (2022): "Advancing sustainability with blockchain-based incentives and institutions", *Front. Blockchain* 5:963766. doi: 10.3389/fbloc.2022.963766.
- Smoot (o.A.): Carbon Offsets vs Carbon Insets: What's the Difference?, abrufbar unter: <https://impactful.ninja/carbon-offsets-vs-carbon-insets-differences/>, zuletzt abgerufen am 18.12.2022.
- Statistisches Bundesamt [Destatis] (2022a): CO₂-Emissionsintensität der deutschen Wirtschaft 2020 weiterhin rückläufig, abrufbar unter: https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2022/10/PD22_437_43.html, zuletzt abgerufen am 18.12.2022.
- Statistisches Bundesamt [Destatis] (2022b): Pressemitteilung Nr. 374 vom 7. September 2022, abrufbar unter: https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2022/09/PD22_374_43312.html, zuletzt abgerufen am 18.12.2022.
- Torabi-Goudarzi, S. / Alt, S. (2021): FlexChain - Intelligente Aktivierung von Kleinstflexibilitäten, in: *Informatik Spektrum*, 44, S.324-326; <https://doi.org/10.1007/s00287-021-01367-7>.
- Toucan (2022): DeFi x ReFi, abrufbar unter: <https://docs.toucan.earth/toucan/introduction/readme>, zuletzt abgerufen am 18.12.2022.
- Tran, P. (2021): Potenziale der Blockchain-Technologie für eine dezentrale Energieversorgung, abrufbar unter: https://epb.bibl.th-koeln.de/frontdoor/deliver/index/docId/1675/file/Bachelorarbeit_Phuc_Tran.pdf, zuletzt abgerufen am 10.03.2023.
- Umweltbundesamt (2022a): Treibhausgas-Emissionen in Deutschland; <https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/treibhausgas-emissionen-in-deutschland#emissionsentwicklung> [zuletzt aufgerufen am 20.12.2022].
- Umweltbundesamt (2022b): Minderungen im EU- ETS seit 2005 (EU 30 und Deutschland), abrufbar unter: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/384/bilder/dateien/3_abb_minderungen-eu-ets_2022-09-22.pdf, zuletzt abgerufen am 18.12.2022.
- Umweltbundesamt (2022c): Der Europäische Emissionshandel, abrufbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/der-europaeische-emissionshandel#teilnehmer-prinzip-und-umsetzung-des-europaischen-emissionshandels>, zuletzt abgerufen am 18.12.2022.
- Umweltbundesamt (2022d): Erneuerbare Energien in Zahlen; <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/erneuerbare-energien/erneuerbare-energien-in-zahlen#uberblick> [zuletzt aufgerufen am 20.12.2022].
- United Nations Environment Programme (2021): Emissions Gap Report 2021: The Heat Is On - A World of Climate Promises Not Yet Delivered, abrufbar unter: <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/36990/EGR21.pdf>, zuletzt abgerufen am 18.12.2022.
- United Nations Environment Programme, & Social Alpha Foundation (2022): Blockchain for Sustainable Energy and Climate in the Global South: Use Cases and Opportunities. <https://wedocs.unep.org/20.500.11822/38048> [zuletzt aufgerufen am 11.12.2022].
- Wang (2017): Cryptoeconomics: Paving the Future of Blockchain Technology, abrufbar unter: <https://hackernoon.com/cryptoeconomics-paving-the-future-of-blockchain-technology-13b04dab971>, zuletzt abgerufen am 18.12.2022.
- Wenzel (2022): Die Krypto-Klima-Technokratie funktioniert nicht!, in: *Handelsblatt* Ausgabe von 02/22, abrufbar unter: <https://www.handelsblatt.com/meinung/gastbeitraege/expertenrat/wenzel/gastkommentar-expertenrat-die-krypto-klima-technokratie-funktioniert-nicht/28082408.html>, zuletzt abgerufen am 18.12.2022.
- White House Office of Science and Technology Policy [OSTP] (2022): Climate and Energy Implications of Crypto-Assets in the United States, abrufbar unter: <https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2022/09/09-2022-Crypto-Assets-and-Climate-Report.pdf>, zuletzt abgerufen am 18.12.2022.
- World Economic Forum [WEF] (2018): Building Block(chain)s for a Better Planet, abrufbar unter: https://www3.weforum.org/docs/WEF_Building-Blockchains.pdf, zuletzt abgerufen am 18.12.2022.
- Zeiselmair, A., Bogensperger, A., Zarth, J., Hinterstocker, M. und F. Haberkorn (2018): Woher kommt mein Ökostrom wirklich? Mit Blockchain gegen Greenwashing, abrufbar unter: https://www.ffe.de/wp-content/uploads/2019/01/20181029_ET_Woher_kommt_mein_Oekostrom_wirklich_FFe.pdf, zuletzt abgerufen am 18.12.2022.

8 ANHANG

Korrelationen der Zusammenhangsanalysen

A1: Zusammenhang zwischen Emissionsmanagement und nachhaltiger Leistungsfähigkeit

Bei der Auswahl neuer und Überprüfung bestehender Geschäftspraktiken beachtet unserer Unternehmen als Entscheidungsgrößen ...							
		Auslastung unserer Kapazitäten	Effizientere/ Sparsamere Nutzung von Ressourcen	Einsparen von Ressourcen	Sauberere Produktion (z.B. Emissionen, Wasser, Müll)	Kreislaufwirtschaft und Industrielle Ökologie (d.h. nachhaltige Gestaltung der Produktion nach Vorbild natürlicher Ökosysteme)	Grüne Lieferkette
Die Blockchain-Technologie ermöglicht unserem Unternehmen ...	...Unterstützung beim Tracking und der Meldung unserer CO ₂ -Emissionen.	.325	.433	.333	.437	.451	.432
	...Transparenz und Erleichterung beim Handel mit Emissionsrechten für CO ₂ (und anderen Treibhausgasemissionen).	.294	.342	.306	.458	.515	.474
	...speziell entlang der Lieferkette Monitoring und Nachverfolgung von CO ₂ -Emissionen sicherzustellen.	.378	.333	.206	.413	.489	.398

A2: Zusammenhang zwischen Energiemanagement und nachhaltiger Leistungsfähigkeit

Bei der Auswahl neuer und Überprüfung bestehender Geschäftspraktiken beachtet unserer Unternehmen als Entscheidungsgrößen ...							
		Auslastung unserer Kapazitäten	Effizientere/ Sparsamere Nutzung von Ressourcen	Einsparen von Ressourcen	Sauberere Produktion (z.B. Emissionen, Wasser, Müll)	Kreislaufwirtschaft und Industrielle Ökologie (d.h. nachhaltige Gestaltung der Produktion nach Vorbild natürlicher Ökosysteme)	Grüne Lieferkette
Die Blockchain-Technologie ermöglicht unserem Unternehmen ...	...das Monitoring und die Nachverfolgung einer dezentralen, sauberen Energieversorgung (beispielsweise durch FlexChain oder Pebbles).	.239	.375	.259	.359	.384	.350
	...selbst als Energieerzeuger tätig zu werden (Stichwort: Energiemix).	.234	.341	.147	.322	.282	.333
	...gegebene Anreize für einen nachhaltigen Energieverbrauch zu nutzen (beispielsweise SolarCoin, GrünstromBonus Token).	.232	.429	.325	.450	.408	.406
	...auch unseren Kunden die Integration klimafreundlicher Maßnahmen zu erleichtern.	.402	.319	.180	.366	.410	.311
	...die Ziele der Energiewende umzusetzen, wie zum Beispiel Energieeffizienz oder den Einsatz erneuerbarer Energie.	.354	.387	.310	.446	.509	.400

A3: Zusammenhang zwischen Transparenz- und Nachhaltigkeitsmanagement und nachhaltiger Leistungsfähigkeit

		Bei der Auswahl neuer und Überprüfung bestehender Geschäftspraktiken beachtet unserer Unternehmen als Entscheidungsgrößen ...					
		Auslastung unserer Kapazitäten	Effizientere/ Sparsamere Nutzung von Ressourcen	Einsparen von Ressourcen	Sauberere Produktion (z.B. Emissionen, Wasser, Müll)	Kreislaufwirtschaft und Industrielle Ökologie (d.h. nachhaltige Gestaltung der Produktion nach Vorbild natürlicher Ökosysteme)	Grüne Lieferkette
Die Blockchain-Technologie ermöglicht unserem Unternehmen ...	...die Nutzung von Crowdfunding und Peer-to-Peer-Finanztransaktionen zur Sicherstellung von Klimaschutzmaßnahmen.	.336	.305	.315	.422	.459	.307
	...transparentere Darlegung unserer Klimaaktivitäten, zum Beispiel bei der Vermeidung von „Greenwashing“.	.356	.378	.202	.457	.489	.355
	...die Erzielung definierter Nachhaltigkeitsziele und messbarer Beiträge zu besserem Klimaschutz.	.297	.461	.188	.366	.483	.420
	...Energie und Material effizienter zu nutzen und einzusparen.	.334	.269	.415	.412	.344	.387

A4: Zusammenhang zwischen Emissionsmanagement und öffentlichen Maßnahmen

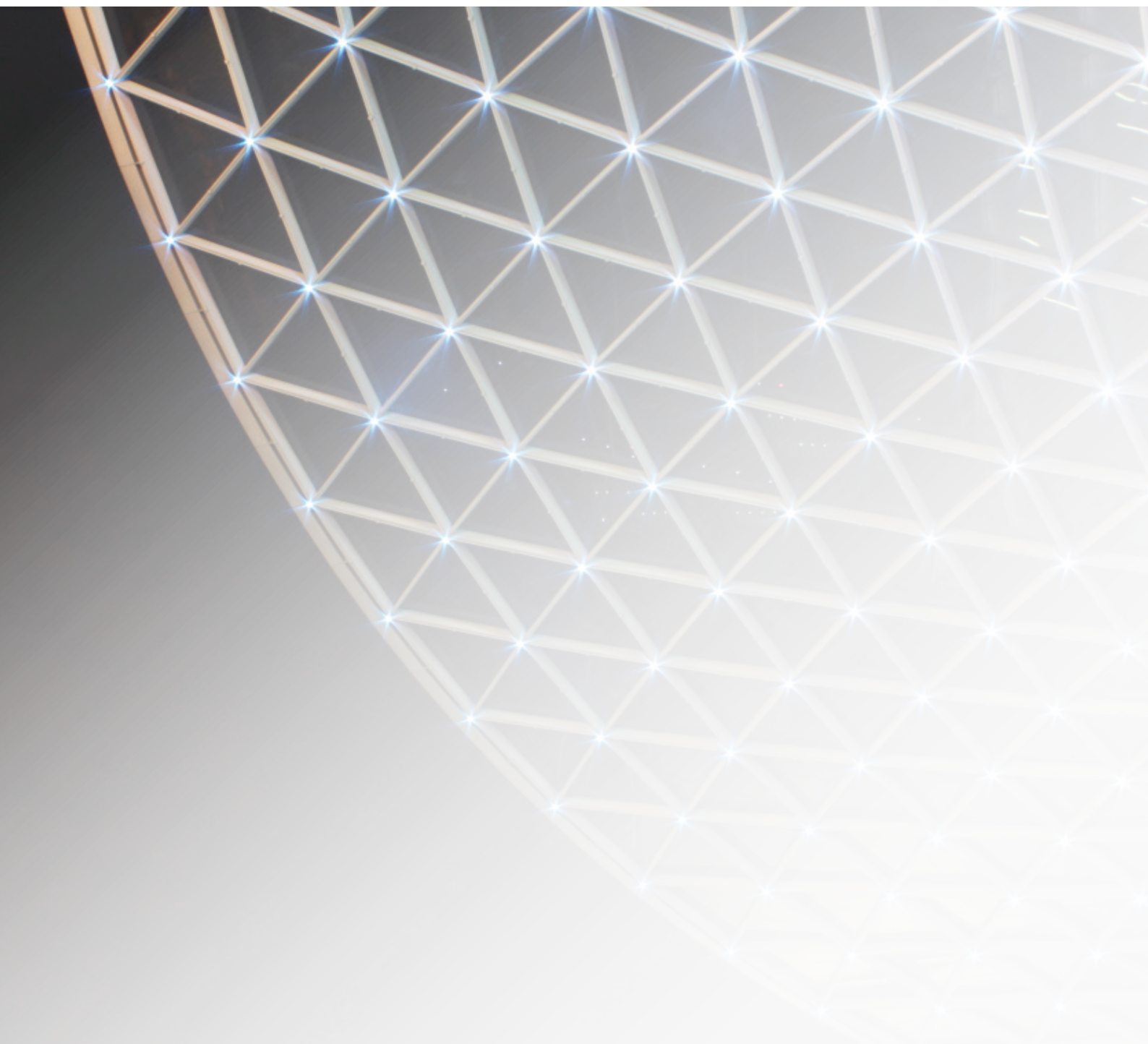
		Die Blockchain-Technologie ermöglicht unserem Unternehmen ...		
		...Unterstützung beim Tracking und der Meldung unserer CO ₂ -Emissionen.	...Transparenz und Erleichterung beim Handel mit Emissionsrechten für CO ₂ (und anderen Treibhausgasemissionen).	...speziell entlang der Lieferkette Monitoring und Nachverfolgung von CO ₂ -Emissionen sicherzustellen.
Unser Unternehmen würde folgende Maßnahmen willkommen heißen ...	Aufbereitung von Informationen, wie Unternehmen durch Blockchain-Einsatz ihren CO ₂ -Fußabdruck verringern können	.382	.331	.399
	Bereitstellung von Blockchain-Testbeds und Blockchain-Infrastrukturen	.313	.348	.276
	Qualifizierungsmaßnahmen, Bildungsangebote und technische Hilfe bei der Implementierung von Blockchain-Technologie für Klimaziele	.372	.389	.398
	Erleichterter Zugang zu öffentlich geförderten Investitionsprogrammen für digitale Blockchain-Innovationen zur Eindämmung des Klimawandel, z.B. durch KfW, BMWK (Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz), Bundesländer, EU	.336	.296	.316
	Nachhaltige Finanzinitiativen zur Förderung Blockchain-gestützter Technologien zum Klimaschutz, wie grüne Anleihen, Fintech-Lösungen und alternative Finanzierungsmechanismen	.351	.441	.381
	Verlässlichkeit und Transparenz der Rechtsprechung und Versteuerung beim wirtschaftlichen Blockchain-Einsatz und Crypto-Tokens	.277	.254	.226

A5: Zusammenhang zwischen Energiemanagement und öffentlichen Maßnahmen

Die Blockchain-Technologie ermöglicht unserem Unternehmen ...						
		...das Monitoring und die Nachverfolgung einer dezentralen, sauberen Energieversorgung	...selbst als Energieerzeuger tätig zu werden (Stichwort: Energiemix).	...gegebene Anreize für einen nachhaltigen Energieverbrauch zu nutzen	...auch unseren Kunden die Integration klimafreundlicher Maßnahmen zu erleichtern.	...die Ziele der Energiewende umzusetzen, wie zum Beispiel Energieeffizienz oder den Einsatz erneuerbarer Energie.
Unser Unternehmen würde folgende Maßnahmen willkommen heißen ...	Aufbereitung von Informationen, wie Unternehmen durch Blockchain-Einsatz ihren CO ₂ -Fußabdruck verringern können	.335	.244	.315	.242	.371
	Bereitstellung von Blockchain-Testbeds und Blockchain-Infrastrukturen	.248	.189	.283	.240	.420
	Qualifizierungsmaßnahmen, Bildungsangebote und technische Hilfe bei der Implementierung von Blockchain-Technologie für Klimaziele	.211	.265	.342	.264	.324
	Erleichterter Zugang zu öffentlich geförderten Investitionsprogrammen für digitale Blockchain-Innovationen zur Eindämmung des Klimawandel, z.B. durch KfW, BMWK (Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz), Bundesländer, EU	.324	.287	.371	.284	.394
	Nachhaltige Finanzinitiativen zur Förderung Blockchain-gestützter Technologien zum Klimaschutz, wie grüne Anleihen, Fintech-Lösungen und alternative Finanzierungsmechanismen	.335	.224	.451	.403	.347
	Verlässlichkeit und Transparenz der Rechtsprechung und Versteuerung beim wirtschaftlichen Blockchain-Einsatz und Crypto-Tokens	.204	.196	.309	.197	.256

A6: Zusammenhang zwischen Transparenz- und Nachhaltigkeitsmanagement und öffentlichen Maßnahmen

Die Blockchain-Technologie ermöglicht unserem Unternehmen ...					
		...die Nutzung von Crowdfunding und Peer-to-Peer-Finanztransaktionen zur Sicherstellung von Klimaschutzmaßnahmen.	...transparentere Darstellung unserer Klimaaktivitäten, zum Beispiel bei der Vermeidung von „Greenwashing“.	...die Erzielung definierter Nachhaltigkeitsziele und messbarer Beiträge zu besserem Klimaschutz.	...Energie und Material effizienter zu nutzen und einzusparen.
Unser Unternehmen würde folgende Maßnahmen willkommen heißen ...	Aufbereitung von Informationen, wie Unternehmen durch Blockchain-Einsatz ihren CO ₂ -Fußabdruck verringern können	.280	.413	.360	.327
	Bereitstellung von Blockchain-Testbeds und Blockchain-Infrastrukturen	.317	.275	.253	.331
	Qualifizierungsmaßnahmen, Bildungsangebote und technische Hilfe bei der Implementierung von Blockchain-Technologie für Klimaziele	.426	.456	.260	.339
	Erleichterter Zugang zu öffentlich geförderten Investitionsprogrammen für digitale Blockchain-Innovationen zur Eindämmung des Klimawandel, z.B. durch KfW, BMWK (Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz), Bundesländer, EU	.386	.420	.342	.338
	Nachhaltige Finanzinitiativen zur Förderung Blockchain-gestützter Technologien zum Klimaschutz, wie grüne Anleihen, Fintech-Lösungen und alternative Finanzierungsmechanismen	.369	.322	.356	.396
	Verlässlichkeit und Transparenz der Rechtsprechung und Versteuerung beim wirtschaftlichen Blockchain-Einsatz und Crypto-Tokens	.284	.305	.235	.274



Fachdialog

Blockchain

