

Die ökonomische Relevanz und Entwicklungsperspektiven von Blockchain: Analysen für den Telekommunikations- und Energemarkt

Autoren:

Bernd Sörries
Marcus Stronzik
Sebastian Tenbrock
Christian Wernick
Matthias Wissner

Bad Honnef, August 2019

Impressum

WIK Wissenschaftliches Institut für
Infrastruktur und Kommunikationsdienste GmbH
Rhöndorfer Str. 68
53604 Bad Honnef
Deutschland
Tel.: +49 2224 9225-0
Fax: +49 2224 9225-63
E-Mail: info@wik.org
www.wik.org

Vertretungs- und zeichnungsberechtigte Personen

Geschäftsführerin und Direktorin	Dr. Cara Schwarz-Schilling
Direktor Abteilungsleiter Post und Logistik	Alex Kalevi Dieke
Direktor Abteilungsleiter Netze und Kosten	Dr. Thomas Plückebaum
Direktor Abteilungsleiter Regulierung und Wettbewerb	Dr. Bernd Sörries
Leiter der Verwaltung	Karl-Hubert Strüver
Vorsitzende des Aufsichtsrates	Dr. Daniela Brönstrup
Handelsregister	Amtsgericht Siegburg, HRB 7225
Steuer-Nr.	222/5751/0722
Umsatzsteueridentifikations-Nr.	DE 123 383 795

In den vom WIK herausgegebenen Diskussionsbeiträgen erscheinen in loser Folge Aufsätze und Vorträge von Mitarbeitern des Instituts sowie ausgewählte Zwischen- und Abschlussberichte von durchgeführten Forschungsprojekten. Mit der Herausgabe dieser Reihe bezweckt das WIK, über seine Tätigkeit zu informieren, Diskussionsanstöße zu geben, aber auch Anregungen von außen zu empfangen. Kritik und Kommentare sind deshalb jederzeit willkommen. Die in den verschiedenen Beiträgen zum Ausdruck kommenden Ansichten geben ausschließlich die Meinung der jeweiligen Autoren wieder. WIK behält sich alle Rechte vor. Ohne ausdrückliche schriftliche Genehmigung des WIK ist es auch nicht gestattet, das Werk oder Teile daraus in irgendeiner Form (Fotokopie, Mikrofilm oder einem anderen Verfahren) zu vervielfältigen oder unter Verwendung elektronischer Systeme zu verarbeiten oder zu verbreiten.

ISSN 1865-8997

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	III
Summary	IV
1 Ausgangssituation und Hintergrund	1
2 Konzept der Blockchain	2
2.1 Grundsätzliche Funktionsweise der Blockchain	2
2.1.1 Idee	2
2.1.2 Transaktionen	3
2.1.3 Akteure	5
2.1.4 Konsensmechanismen	6
2.2 Unterschiedliche Arten von Blockchains	8
2.2.1 Öffentliche Blockchains	9
2.2.2 Private Blockchains	10
2.2.3 Hybridmodelle	11
3 Ausgewählte Anwendungsbeispiele für die Energie- und TK-Wirtschaft	12
3.1 Blockchain in der Energiewirtschaft	13
3.1.1 Quartierslösungen und dezentrale Handelsplätze	13
3.1.2 Abrechnungsmodelle	15
3.1.3 Netzengpassmanagement	17
3.1.4 Bilanzkreisbewirtschaftung	20
3.2 Anwendungsbeispiele in der Telekommunikation	22
3.2.1 Anwendungsfall Auslandsroaming	23
3.2.2 Anwendungsfall Internet of Things	26
4 Ökonomische Fragestellungen und Konsequenzen für die regulatorischen Rahmenbedingungen	32
4.1 Energie	32
4.1.1 Rolle des Netzes	32
4.1.2 Rolle der Regulierung	36
4.1.3 Ergebnisse für den Energiesektor	38
4.2 Telekommunikation	39

4.3	Übergreifende Fragestellungen	40
4.3.1	Smart Contracts und Governance	40
4.3.2	Datenvolumen und Standardisierung	43
5	Handlungsempfehlungen und Ausblick	45
	Literatur	47

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1:	Zentrales und dezentrales Transaktionsmodell	3
Abbildung 2-2:	Stromverbrauch Bitcoin und VISA	7
Abbildung 2-3:	Entwicklung der Bitcoin-Blockchain in MB	9
Abbildung 3-1:	Fragen bei der Entscheidung zur Anwendung der Blockchain-Technologie	12
Abbildung 3-2:	Entscheidungsbaum zur Blockchain	20
Abbildung 3-3:	Derzeitige Struktur von Roaming-Vereinbarungen	23
Abbildung 3-4:	Theoretische Struktur von Roaming-Vereinbarungen mit Blockchain-Technologie	25
Abbildung 3-5:	Schematische Darstellung des Iota-Tangle	30

Zusammenfassung

Die Blockchain-Technologie findet heutzutage bereits Eingang in verschiedene Wirtschaftsbereiche. Technisch gehört sie zu den Distributed-Ledger-Technologien, d. h. es wird eine dezentrale Dokumentation von Transaktionen auf mehreren Standorten vorgenommen. Blockchains können in erster Linie dort eingesetzt werden, wo eine verlässliche Nachverfolgung von Daten- und Zahlungsströmen gewährleistet werden soll, Handlungsanweisungen über Smart Contracts ausgeführt und aufgezeichnet werden sollen und viele Akteure beteiligt sind. In diesem Diskussionsbeitrag wird zunächst die grundsätzliche Funktionsweise der Blockchain-Technologie erläutert. Anschließend werden Anwendungsmöglichkeiten im Bereich der Energie- und Telekommunikationswirtschaft aufgezeigt.

Im Bereich der Energie zeigt sich, dass vielfältige Anwendungen denkbar sind, die konkrete Umsetzung jedoch noch am Anfang steht. Hier werden verschiedenen Anwendungsfälle diskutiert: Quartierslösungen, Abrechnung, Netzengpassmanagement und Bilanzkreisbewirtschaftung. Daneben sind weitere Anwendungsfelder denkbar, z. B. im Bereich Elektromobilität, Asset Management, Stromgroßhandel oder Zertifizierung von Energieprodukten. Die Anwendung der Blockchain ist hier als ein dynamischer Prozess zu verstehen, bei dem derzeit noch viele Fragen ungelöst sind und sich die Akteure noch relativ am Anfang befinden. Dies zeigt sich auch dadurch, dass die Blockchain ihren disruptiven Charakter (noch) nicht in der Weise offenbart hat, als dass tatsächlich einzelne Marktrollen bereits obsolet geworden sind. Momentan ist eher zu erkennen, dass sich Marktrollen verändern bzw. neue Aufgaben z. B. für den Netzbetreiber entstehen.

Auch im Bereich Telekommunikation zeigen sich verschiedene denkbare Anwendungsbereiche; das Ausmaß der Umsetzung von Blockchain ist aber noch sehr begrenzt. Wenn es aufgrund mangelnder Transparenz und einer hohen Komplexität bestehender Prozesse zu ineffizienten Marktergebnissen kommt, kann Blockchain-Technologie aber theoretisch einen Mehrwert im Telekommunikationssektor bieten. In den Anwendungsfeldern Auslandsroaming und „Internet der Dinge“ (Internet of Things, IoT) müssen jedoch noch einheitliche technologische Regeln und Rahmenbedingungen für die Umsetzung entwickelt werden.

Sowohl für den Energie- als auch den TK-Sektor ergeben sich weitere, übergreifende Fragestellungen, die es für einen Einsatz der Blockchain zu lösen gilt. Zwei wesentliche sind die Frage nach dem Charakter der Smart Contracts und der Governance im Umfeld einer Blockchain-Lösung sowie die Frage des steigenden Datenvolumens und der Standardisierung unterschiedlicher Blockchains.

Summary

Blockchain technology is already being used today in various sectors of the economy. Technically, it belongs to the distributed ledger technologies, i.e. decentralized documentation of transactions in different sites. Blockchains can be used primarily to ensure reliable tracking of data and payment flows, to execute and record handling instructions on smart contracts, and in applications where many stakeholders are involved. This discussion paper explains the basic functionality of the blockchain technology. Furthermore, possible applications in the field of energy and telecommunication are shown.

In the field of energy it appears that a wide variety of applications are conceivable, but the concrete implementation is still in its infancy. Various applications are discussed: district solutions, billing, network congestion management and balancing group management. Other applications are also thinkable: In the fields of electromobility, asset management, wholesale electricity supply or certification of energy products. The application of blockchain is to be understood as a dynamic process, in which still many questions are unresolved and the actors are relatively at the beginning. This is also shown by the fact that the blockchain has not (yet) revealed its disruptive character in such a way that individual market roles have already become obsolete. At the moment, it is rather seen that market roles are changing or new tasks are evolving, for example for the network operator.

Also in the field of telecommunications, various conceivable application areas are emerging; however, the extent of the implementation of blockchain is still very limited. When inefficiencies in the market result from the lack of transparency and complexity of existing processes, blockchain technology can theoretically add value in the telecommunications sector. However, in the application fields of international roaming and the Internet of Things, uniform technological rules and framework conditions for implementation still have to be developed.

For both the energy and the telecommunications sector, there are further, overarching issues that need to be resolved for the use of blockchain. Two essential aspects are the question of the nature of smart contracts and governance in the context of a blockchain solution as well as the question of increasing data volumes and the standardization of different blockchains.

1 Ausgangssituation und Hintergrund

Die Blockchain-Technologie stellt ein elektronisches Register für digitale Datensätze, Ereignisse oder Transaktionen auf Basis von Kryptografie dar, die durch die Teilnehmer eines verteilten Rechnernetzes verwaltet werden und die die Transaktionen betrugssicher machen soll. Grundlage ist eine Peer-to-Peer-Technologie, welche die Durchführung und Erfassung von Transaktionen (bspw. zwischen Lieferant und Verbraucher) regelt, ohne dass ein Intermediär involviert ist. Transaktionen können aber auch automatisiert ausgeführte Verträge (sog. Smart Contracts) beinhalten. Die Blockchain-Transaktion wird durch Algorithmen und die Zustimmung von verschiedenen verteilten Computern verifiziert. Der Vorteil von Blockchain-Technologie ist einerseits die hohe Geschwindigkeit, da zentrale Aufsichten oder Vermittlungsstellen wie Banken, Börsen und Makler entfallen. Zudem wird das System als relativ immun gegenüber Manipulationen und Betrug erachtet und bietet das Potenzial für sichere Transaktionen. Obwohl eine hohe Transparenz vorliegt, da Informationen dezentral abgerufen und verwaltet werden, finden die Transaktionen konzeptionell anonym statt, wobei es in der Realität zu praktischen Einschränkungen kommen kann.

Die Anwendungen von Blockchain sind vielfältig. Bekannt geworden ist die Blockchain-Technologie als Grundlage der Kryptowährung Bitcoin. Im vorliegenden Kontext konkreter Anwendungen für die Bereiche Energie und Telekommunikation spielt Bitcoin aber eine untergeordnete Rolle. Vielmehr lässt sich daran die grundsätzliche Funktionsweise einer Blockchain erklären. In einigen Sektoren wird Blockchain ein hohes disruptives Potenzial zugesprochen. So können z. B. Smart Contracts Maßnahmen ausführen, die an Bedingungen in einem Vertrag geknüpft sind. Wenn der Kreditnehmer eines Autokredits säumig ist, kann der Kreditgeber eine elektronische Wegfahrsperrung einsetzen und eine Zahlungsaufforderung im Display anzeigen lassen.

In diesem Diskussionsbeitrag soll eine erste Bestandsaufnahme über die Anwendungsmöglichkeiten und Einsatzbereiche von Blockchain-Technologien in zwei für die Volkswirtschaft wesentlichen Sektoren vorgestellt werden: Telekommunikation und Energie. Hierbei soll aufgezeigt werden, welche Relevanz und Entwicklungsperspektive diese Technologien aufweisen und welches Potenzial bei der Vernetzung von Bürgern sowie von privaten und öffentlichen Einrichtungen entsteht.

Der Diskussionsbeitrag ist wie folgt aufgebaut: In Abschnitt 2 wird einleitend das grundlegende Konzept der Blockchain erklärt. Dabei wird auf die wesentlichen Akteure, unterschiedliche Arten und wesentliche Charakteristika der Blockchain eingegangen. In Abschnitt 3 werden konkrete Anwendungsbeispiele für die Energie- und Telekommunikationswirtschaft dargestellt. In Abschnitt 4 wird schließlich auf ökonomische Fragestellungen und Konsequenzen für die regulatorischen Rahmenbedingungen eingegangen. Der Diskussionsbeitrag schließt mit Handlungsempfehlungen (Abschnitt 5).

2 Konzept der Blockchain

Blockchain gehört zu den Distributed-Ledger-Technologien: Unter diesem Begriff wird eine Gruppe von Technologien verstanden, die eine dezentrale Dokumentation von Transaktionen auf mehreren Standorten vornimmt. Dadurch dass Distributed-Ledger-Technologien die Daten einer Transaktion erfassen und an mehreren Orten gleichzeitig speichern, wird eine überprüfbare Historie aller Informationen ermöglicht. Jeder anerkannte Nutzer an einem solchen Netzwerk hat einen Zugriff auf die Daten. Da eine zentrale Autorität zur Verwaltung der Daten fehlt, übernimmt die Technologie selbst die Rolle der Verwaltung. Dabei stehen verschiedene Konsensverfahren zur Validierung bzw. Verifizierung von Informationen bzw. Transaktionen zur Verfügung. Blockchain ist eine bestimmte Art von Distributed-Ledger-Technologie, die auf der Zusammenfassung von Daten in Blöcken sowie einer Aneinanderkettung der Blöcke beruht (wie im folgenden Kapitel beschrieben).¹

In diesem Abschnitt wird einleitend die grundlegende Funktionsweise der Blockchain erklärt. Dabei wird auf die wesentlichen Akteure, unterschiedliche Arten und wesentliche Charakteristika der Blockchain eingegangen. Anschließend werden unterschiedliche Arten von Blockchains erläutert.

2.1 Grundsätzliche Funktionsweise der Blockchain

2.1.1 Idee

Transaktionen werden von den Teilnehmern durchgeführt, dadurch automatisch aufgezeichnet. Diese Aufzeichnung wird in der Blockchain auf vielen, dezentralen Rechnern gespeichert. Sie entspricht im übertragenen Sinne einem Buch („ledger“), in dem die Daten eines Austauschgeschäfts festgehalten werden. Dieses Buch ist mit demselben Inhalt auf vielen Rechnern gespeichert. Die Transaktionen werden also auf allen Rechnern festgehalten, die an der Blockchain teilnehmen. Insofern stellt eine Blockchain eine dezentrale Datenbank dar, in der neue Daten abgelegt, aber nicht mehr verändert oder gelöscht werden können.

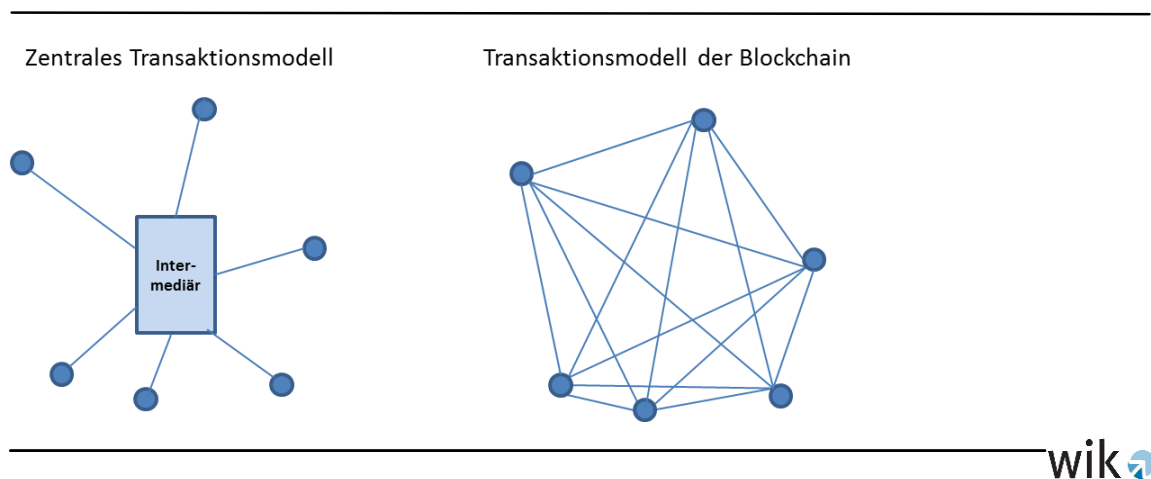
Die Datenbank besteht aus sequentiellen Datensätzen, sogenannten Blöcken, die Transaktionsdaten beinhalten. Jeder zusätzliche Datensatz erhält einen Hashwert, der Informationen über die bisherigen Blöcke erhält. Der jeweilige Hashwert wird durch einen Algorithmus aus den (Input)-Daten des Blocks gebildet. Ein neuer Block verweist immer auf den Hashwert des vorangegangenen Blocks und wird an die Kette ange-

¹ Vgl. Blockchainwelt (2018): Distributed Ledger Technologie (DLT) ist mehr als Blockchain, elektronisch verfügbar unter: <https://blockchainwelt.de/dlt-distributed-ledger-technologie-ist-mehr-als-blockchain/> und BTC Echo (2018): Distributed-Ledger-Technologie vs. Blockchain. elektronisch verfügbar unter: <https://www.btc-echo.de/was-zur-ledger-teil-1-distributed-ledger-technologie-vs-blockchain/>

hängt. Aus den Blöcken entsteht so eine zeitliche Kette („chain“) von Datensätzen, die nicht verändert werden kann, da für die Manipulation der Blocks sämtliche Hashwerte neu berechnet werden müssten. Dies ist aufgrund beschränkter Zeit, Rechenleistung und Energie nahezu ausgeschlossen.²

Der grundsätzliche Unterschied zu gängigen Transaktionsmodellen besteht darin, dass die Transaktion nicht durch eine zentrale Instanz (einen Intermediär) verifiziert wird, sondern durch die unveränderliche Festschreibung auf vielen dezentralen Einheiten. Abbildung 2-1 verdeutlicht den Unterschied. Das Vertrauen in den Intermediär wird abgelöst durch das Vertrauen in die Unveränderlichkeit der Blockchain.

Abbildung 2-1: Zentrales und dezentrales Transaktionsmodell



Quelle: Eigene Darstellung

2.1.2 Transaktionen

In einem Block können mehrere Transaktionen aufgezeichnet werden. Eine einzelne Transaktion läuft wie folgt ab:

Zwei Akteure vereinbaren z. B. den Kauf einer Ware oder Dienstleistung gegen Entgelt. Soll nun ein Betrag, z. B. in Bitcoin übertragen werden, so wird kein Geld im eigentlichen Sinne übertragen, sondern das Recht, Bitcoins von einem Ort zum anderen übertragen zu dürfen, d. h. Bitcoins existieren nicht im physischen Sinne, sondern es existieren „nur Aufzeichnungen über Transaktionen zwischen verschiedenen Adressen mit Guthaben, die sich entweder erhöht oder verringert haben.“³ Es erfolgt also eine Übertragung von Rechten vom alten auf den neuen Rechteinhaber. Jede Transaktion beinhaltet das Datum, die Zeit, die Teilnehmer und den Betrag der Transaktion.

² Brandt u. Werner (2018).

³ BTC ECHO (o.D.(a)).

Um die Funktionsweise der Blockchain zu verdeutlichen, wird dies im Folgenden am eingängigen Beispiel Bitcoin aufgezeigt, auch wenn, wie oben erwähnt, diese Blockchain selbst für die in dieser Studie betrachteten Bereiche Energie und TK von geringerer Bedeutung ist.

Wenn nun also beispielsweise drei Bitcoins übertragen werden, so muss eindeutig nachvollziehbar sein, woher diese Bitcoins stammen. Dies kann eine Quelle sein oder mehrere verschiedene Quellen. Diese Informationen sind alle auf der Blockchain enthalten (wiederum als vorangegangene Transaktionen in den jeweiligen Blöcken) und somit für alle Teilnehmer der Blockchain einsehbar und verifizierbar. Der Empfänger kann somit sicher sein, dass der Versender tatsächlich das Recht an den Bitcoins hält.

Weiterhin muss sichergestellt sein, dass der Wert der Bitcoins, die der alte Rechteinhaber hält, mindestens so hoch ist, dass er damit den Betrag, den der neue Rechteinhaber erhalten soll, abdecken kann. Ist dies nicht der Fall, wird die Transaktion durch die Blockchain nicht verifiziert und kommt nicht zustande. Übersteigt der Wert der Bitcoins aus den Transaktionen, die vorher getätigt wurden, den Wert der neuen Transaktion, so wird üblicherweise eine neue Transaktion angelegt, die den Wert der Differenz („change“) enthält. Der Wert dieser Transaktion kann für künftige Transaktionen genutzt werden. Weiterhin kann aus der Differenz eine Transaktionsgebühr gezogen werden, die derjenige erhält, der den Block durch Mining generiert bzw. verifiziert.⁴

Um an einem auf Blockchain basierenden System teilzunehmen, wird eine Zugangssoftware benötigt. Diese Software benutzt zwei Schlüssel: den privaten Schlüssel und den öffentliche Schlüssel. Sie stellen sicher, dass die Transaktion tatsächlich von den beteiligten Akteuren getätigt wurde.

Der private Schlüssel ist geheim und ist mit einem Passwort vergleichbar. Jede Transaktion innerhalb der Blockchain wird mit dem jeweiligen privaten Schlüssel eines Teilnehmers signiert; ohne diese Signatur ist die Transaktion ungültig. Der öffentliche Schlüssel ist von allen Teilnehmern der Blockchain einsehbar und besitzt zwei Funktionen: Zum einen dient er gewissermaßen als Adresse, an die eine Transaktion adressiert werden kann (öffentlicher Schlüssel des Empfängers). Zum anderen dient er als Verifikation für den Empfänger bzw. die gesamte Blockchain, dass die Transaktion durch den richtigen Absender getätigt wurde (öffentlicher Schlüssel des Senders). Privater und öffentlicher Schlüssel bilden stets ein Schlüsselpaar. Eine Generierung des privaten aus dem öffentlichen Schlüssel ist praktisch unmöglich. Somit ist der private Schlüssel geschützt und sollte nicht bekannt gegeben werden. Eine Kenntnis des privaten Schlüssels würde ansonsten den Zugriff Dritter erlauben. Die Blockchain-Technologie ist also aus sich heraus auf Schutz durch Pseudonymisierung angelegt.⁵

⁴ Mining besteht in der Lösung eines mathematischen Rätsels, siehe dazu siehe Abschnitt 2.1.3.

⁵ Noller u. Pfeiffer (2017).

Grundsätzlich können Transaktionen nicht nur Rechte an Währungen beinhalten, sondern alle Daten, die digital darstellbar sind, wie Dokumente, Messwerte, Ladestände etc.⁶ Insbesondere seit der Einführung des Systems „Ethereum“ können auch Automatisierungsvorgänge in einer Blockchain aufgezeichnet werden. Hier sind in erster Linie sog. „Smart Contracts“ von Interesse, also programmierte Wenn-Dann-Logiken (z. B.: „Kaufe Strom von einer bestimmten Anlage, wenn der Preis eine bestimmte Schwelle unterschreitet.“).

2.1.3 Akteure

Wesentliche Akteure einer Blockchain sind Miner, Nodes und Teilnehmer.

Miner („Schürfer“) generieren z. B. in der Ethereum-Blockchain eine neue Währung, indem sie komplexe Aufgaben lösen und damit neue Blöcke erstellen. Hierdurch werden die hinterlegten Informationen verifiziert und versiegelt; durch die Verifizierung sind die Blöcke und die darin enthaltenen Informationen unveränderlich abgespeichert und einsehbar. Dieses Verfahren wird insbesondere beim sog. „Proof-of-Work“ angewendet (vgl. Abschnitt 2.1.4). Dafür werden die Miner entsprechend (mit neuen Ethereum) entlohnt. Weiterhin fallen ihnen die Transaktionsgebühren des jeweiligen Blocks zu (siehe Abschnitt 2.1.2). Das Mining beansprucht eine sehr hohe Rechenleistung und ist energieintensiv. Die Rechenleistung wird heute z. T. auf mehrere Rechner übertragen (sog. Mining-Pools). Wird ein Hashwert für einen neuen Block erfolgreich ermittelt (d. h. die Rechenaufgabe gelöst), wird der Gewinn an den Miner bzw. die Teilnehmer des Pools verteilt.⁷

Nodes sind Computer, auf denen die gesamte Blockchain gespeichert ist. Jeder Rechner kann somit zu einem Node werden. Die Aufgabe der Nodes ist es, Vorgänge in der Blockchain zu prüfen und zu validieren (beispielsweise die Hashwerte der Miner oder die in Abschnitt 2.1.2 beschriebenen Schlüssel.) Diese Funktion der Nodes ist mit der Kapazität handelsüblicher Computer zu gewährleisten.⁸

Schließlich existieren *Teilnehmer*, die eine digitale Geldbörse besitzen, um Transaktionen zu tätigen. Diese nehmen an der auf Blockchain basierenden Anwendung teil und folgen damit den jeweiligen Regeln der Blockchain. Jeder Teilnehmer hat dieselben Zugriffsrechte und Möglichkeiten.

Teilnehmer müssen weder die historischen Transaktionen aufzeichnen noch Berechnungen oder Validierungen durchführen.⁹

⁶ BDEW (2017).

⁷ Weiprecht (2017).

⁸ BDEW (2017).

⁹ BDEW (2017).

2.1.4 Konsensmechanismen

Die Blockchain ersetzt Vertrauen in einen Intermediär durch Vertrauen in die unveränderliche Festschreibung der Transaktionen auf vielen dezentralen Einheiten. Dennoch muss Einigkeit darüber bestehen, wie das Vertrauen aufgebaut werden kann, wie also die Blockchain konkret organisiert werden soll. Dafür gibt es unterschiedliche Ansätze, von denen die wesentlichen an dieser Stelle erläutert werden.

Proof-of-Work

Beim Proof-of-Work-Mechanismus weisen die Miner durch die Erbringung der Rechenleistung zur Lösung einer Aufgabe nach, dass sie die Transaktionen eines Blocks korrekt validieren. Es existiert kein Anreiz den Block zu manipulieren, da damit Geld verdient wird. Konkret läuft eine Berechnung wie folgt ab:

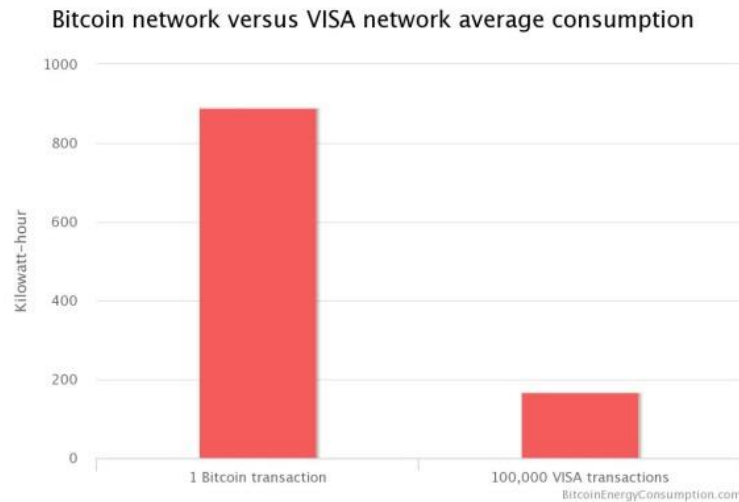
„Die Miner nutzen Hashfunktionen, also mathematische Funktionen, die aus einer Zeichenkette beliebiger Länge eine Zeichenkette fester Länge erzeugen. Die Schwierigkeit liegt darin, dass ein Ergebnis mit gewissen Eigenschaften gefunden werden muss, die sich aus der Hashfunktion ergeben. Die Miner versuchen zu einem vorgegebenen Output den zugehörigen Input zu finden. Aus Sicht des Miners muss also die Fragestellung gelöst werden: „Welchen Input muss ich in die mathematische Funktion eingeben, um den vorgegebenen Output zu erhalten?“ Da eine wichtige Eigenschaft der verwendeten Hashfunktion die nicht vorhandene Invertierbarkeit ist, kann man nicht einfach zu einem Output berechnen, was der zugehörige Input war. Stattdessen muss man „raten“, was der Input war, mit dem man genau diesen Output erzielen kann. Daher führen die Miner die Berechnungen milliardenfach pro Sekunde durch und probieren viele Inputwerte aus, bis man schließlich einen Input gefunden hat, der den gewünschten Output ergibt.“¹⁰

Ein Problem des Proof-of-Work ist die zunehmend notwendige Rechenleistung und der damit verbundene Energieaufwand. Derzeit werden allein durch Mining von Bitcoin 74 TWh Strom im Jahr verbraucht, was etwa dem Jahresverbrauch von Österreich entspricht.¹¹ Aufschlussreich ist auch der Vergleich des Energieverbrauchs zwischen einer Transaktion über Bitcoin und über 100.000 VISA-Transaktionen wie in Abbildung 2-2 dargestellt.

¹⁰ BTC ECHO (o.D.(b)).

¹¹ Lange (2018).

Abbildung 2-2: Stromverbrauch Bitcoin und VISA



Quelle: digiconomist (2018).

Weiterhin könnte die Blockchain grundsätzlich manipuliert werden. Eine sog. 51%ige Attacke liegt vor, wenn ein Miner oder Mining-Pool 51 % der Rechenleistung des Netzwerks kontrolliert und betrügerische Transaktionsblöcke für sich selbst erstellt, während die Transaktionen anderer im Netzwerk ungültig werden.¹² Dies erfordert allerdings eine extrem hohe Rechenleistung, und ist daher heute nahezu ausgeschlossen.

Proof-of-Stake

Weniger Rechenleistung als beim Proof-of-Work wird beim Proof-of-Stake benötigt. Hier ist die Grundidee, dass die Anteile an einer Blockchain mit darüber entscheiden, wer die Verifizierung eines Blocks vornimmt. Es gilt also zu gewährleisten, „dass die Blockchain vornehmlich durch solche Netzknoten aktualisiert wird, die einen großen Anteil an der Währung bzw. generell Werten in der Blockchain hält, wodurch ein Anreiz für eine korrekte Aufrechterhaltung des Systems bestehen soll.“¹³

Wer einen höheren Anteil besitzt, besitzt auch eine höhere Wahrscheinlichkeit, den nächsten Block minen zu dürfen. Der mathematische Schwierigkeitsgrad, den Hashwert für den nächsten Block zu ermitteln sinkt dabei mit Zunahme der Anteile und reduziert somit den Aufwand. Das Vertrauen in die Blockchain wird also nicht nur durch die Berechnung sondern auch die Investition in die Blockchain generiert.

¹² Monetha (2018).

¹³ Schlatt et al. (2016)

Dem reduzierten Rechenaufwand wird als Nachteil gegenübergestellt, dass die Blockchain ebenfalls manipulierbar ist. Sobald 51 % der Anteile auf einen Akteur (oder einen Mining-Pool) fallen, könnte dieser falsche Blocks erzeugen und die Blockchain somit manipulieren.¹⁴ Wird die Attacke allerdings erkannt, so verliert das Netzwerk seinen Nutzen, da es von den Beteiligten als unsicher angesehen und verlassen wird. Eine Attacke hat also, sofern sie bemerkt wird, nur einen einmaligen Effekt und macht ökonomisch langfristig keinen Sinn, da der Angreifer ja gerade (hohe) Anteile an der Blockchain hält und diese dann an Wert verlieren würde.¹⁵

Proof-of-Authority

Proof-of-Authority ist im Wesentlichen ein optimiertes Proof-of-Stake-Modell, das anstatt der Anteile die tatsächliche Identität einzelner Mitglieder als Vertrauensmechanismus nutzt. Es existiert also eine Gruppe von Autoritäten (Validatoren), die im Voraus für die Validierung von Transaktionen und Blöcken innerhalb des jeweiligen Netzwerks installiert werden. Die Gruppe der Validatoren soll normalerweise vergleichsweise klein bleiben (ca. 25 oder weniger), um die Effizienz und die überschaubare Sicherheit des Netzwerks zu gewährleisten.¹⁶

Der Vorteil dieses Mechanismus liegt wiederum in der geringeren benötigten Rechenleistung. Weiterhin bedarf es keiner Kommunikation zwischen den Knoten, um einen Konsens zu erreichen und die Kontinuität des Netzwerks ist unabhängig von der Anzahl der verfügbaren Knoten, da sie durch eine gegenseitige öffentliche Verifizierung nachweisbar vertrauenswürdig sind.¹⁷ Eine Verfälschung der Blockchain durch die Validatoren würde deren Ruf zerstören.

Die Kritik an diesem Modell besteht zum einen darin, dass es der Blockchain ihres dezentralen Charakters beraubt und zum anderen, dass die Verschlechterung des Rufes im Falle einer Manipulation durch die Validatoren nicht ausreichend Schutz gegen Einflussnahme durch außenstehende Dritte bietet.¹⁸

2.2 Unterschiedliche Arten von Blockchains

Je nach Historie (d. h. der jeweiligen Entstehungsgeschichte) und Anwendung besitzen Blockchains unterschiedliche Zugangsbeschränkungen. Der wesentliche Unterschied besteht in öffentlichen und privaten Blockchains. Dazwischen existieren hybride Modelle.

¹⁴ Siehe oben und auch Eberle, A. (2018).

¹⁵ Tar, A. (2018)

¹⁶ Curran, P. (2018).

¹⁷ Curran, P. (2018).

¹⁸ Curran, P. (2018).

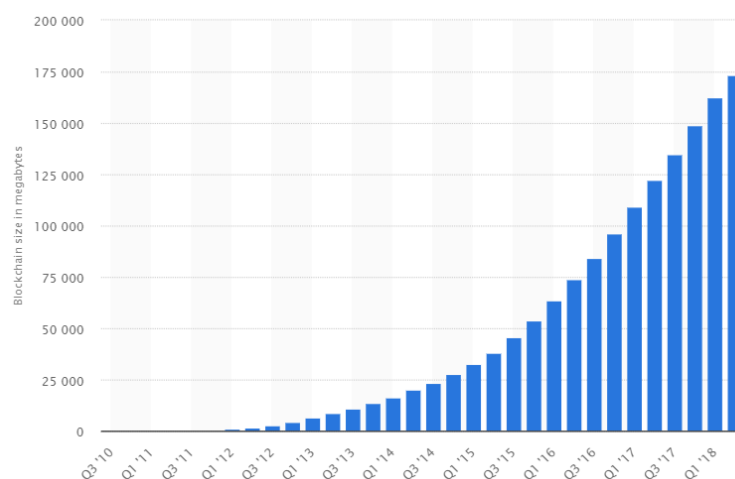
2.2.1 Öffentliche Blockchains

Öffentliche Blockchains sind grundsätzlich für jeden zugänglich und nutzbar. Eine Genehmigung durch eine dritte Partei ist nicht vorgesehen. Voraussetzung ist lediglich ein internetfähiger Rechner und das Herunterladen des Codes. Der Konsensmechanismus einer öffentlichen Blockchain beruht grundsätzlich auf Proof-of-Work.

Jeder kann somit eine Rolle innerhalb der Blockchain wählen (Teilnehmer, Node oder Miner). „Jeder auf der Welt kann Transaktionen über das Netzwerk senden und erwarten, dass sie in die Blockchain aufgenommen werden, wenn sie gültig sind. Jeder kann Transaktionen im öffentlichen Block-Explorer lesen. Transaktionen sind transparent, aber anonym / pseudonym.“¹⁹ Weitere Vorteile von öffentlichen Blockchains sind die hohe Innovationsgeschwindigkeit und ein hohes Sicherheitsniveau.²⁰ Weiterhin entstehen keine Infrastrukturkosten in Form der Wartung von Servern oder der Beschäftigung von Systemadministratoren. Dies reduziert die Kosten für die Erstellung und den Betrieb dezentraler Anwendungen (dApps) enorm.²¹

Dem gegenüber stehen der hohe Energieverbrauch des Proof-of-Work-Mechanismus (vgl. Abschnitt 2.1.4) sowie eine stetig zunehmende Größe der Blockchain. Abbildung 2-3 lässt beispielsweise für die Bitcoin-Blockchain eine exponentielle Wachstumsrate vermuten.

Abbildung 2-3: Entwicklung der Bitcoin-Blockchain in MB



Quelle: statista (2018).

¹⁹ Blockchainhub (o.D.), Eigene Übersetzung.

²⁰ BDEW (2017).

²¹ Blockchainhub (o.D.).

Stand 18.09.2018 betrug die Größe der Bitcoin-Blockchain bereits 214.7 GB.²² Es scheint absehbar, dass handelsübliche Rechner mittelfristig an ihre Kapazitätsgrenzen stoßen bzw. die Speicherung der gesamten Blockchain entsprechend teurer wird. Ein weiterer Nachteil ist die Frage der Haftung im Falle „einer mangelhaften Leistung oder Nichtleistung, wenn diese aufgrund eines (technischen) Systemfehlers in der Blockchain erfolgt.“²³. Dann existiert kein „Verantwortlicher“ im juristischen Sinne.²⁴

2.2.2 Private Blockchains

Der wesentliche Unterschied zwischen öffentlichen und privaten Blockchains ist die Zugangsbeschränkung bei privaten Blockchains. Der Zugang zur Blockchain erfolgt auf Einladung und kann auf verschiedenen Wegen verifiziert werden, z. B.:

- Alle Mitglieder dürfen neue Mitglieder verifizieren.
- Es gibt eine Autorität, die neue Mitglieder verifiziert, z. B. der Gründer der Blockchain.²⁵

Diese Zugangswege deuten bereits darauf hin, dass private Blockchains oftmals am Proof-of-Authority-Mechanismus orientiert sind. Die beschränkte Zahl an Mitgliedern macht diese Art der Blockchain allerdings flexibler und somit effizienter.²⁶ Die benötigte Rechenleistung im Vergleich zur öffentlichen Blockchain reduziert sich. Auch kann die Blockchain regelmäßig „abgeschnitten“ werden, so dass sich der Aufwand der Datenarchivierung verringert.²⁷

Auf der anderen Seite ist die Blockchain anfälliger für Manipulationen, da weniger Rechner das Ziel von potenziellen Attacken bilden.²⁸ Einige Kritiker behaupten, dass private Blockchains die Idee der Blockchain komplett aufgeben, während sie deren Nachteile beibehielten. Eine Blockchain mit zentraler Instanz sei nichts anderes als eine (schon seit langem bekannte und genutzte) verteilte Datenbank mit einem Verantwortungsträger für die enthaltenen Daten, mit dem Unterschied, dass die Nachteile der Blockchain (langsame Geschwindigkeit, hoher Ressourcenbedarf, begrenzte Kapazität) ebenfalls realisiert würden.²⁹

Letztlich ist je nach Anwendungsfall über den Einsatz einer privaten Blockchain zu entscheiden. Klar ist, dass sich diese Art der Blockchain eher für einzelne Institutionen (z. B. Unternehmen, Behörden) eignet.

²² BitInfoCharts (2018).

²³ BDEW (2017).

²⁴ BDEW (2017).

²⁵ Jayachandran (2017).

²⁶ BDEW (2017).

²⁷ BDEW (2017).

²⁸ BDEW (2017).

²⁹ Brenneis (2017).

2.2.3 Hybridmodelle

Zwischen den beiden Reinformen der öffentlichen und privaten Blockchain ist eine Reihe von Zwischenformen denkbar. Sie versuchen, die Vorteile der öffentlichen und privaten Blockchains zu kombinieren.³⁰

Die Grundidee der hybriden Blockchain besteht darin, dass nur bestimmte Personen Transaktionen in der Blockchain durchführen können, die auch nicht öffentlich sichtbar sind. Die Zulassung der entsprechenden Personen erfolgt z. B. durch eine Gruppe von Personen (Konsortium). Die Generierung der Hash-Werte erfolgt im privaten Bereich, während die Speicherung und Prüfung auf der öffentlichen Blockchain erfolgt.³¹

Hybride Blockchains bieten somit die Effizienz und Sicherheit von öffentlichen Blockchain-Systemen und ermöglichen dennoch eine gewisse zentrale Kontrolle, Überwachung und Sicherung. Die Geschwindigkeit der Transaktionen ist höher als bei öffentlichen Blockchains.³²

„XinFin ist die erste hybride Blockchain und derzeit die einzige hybride Blockchain. Es basiert sowohl auf Ethereum, einer öffentlichen Blockchain, als auch auf Quorum, einer privaten Blockchain. [...] Ihr hybrides Netzwerk basiert auf einem delegierten Proof-of-Stake-Konsensus (DPOS) zwischen vertrauenswürdigen Master-Knoten [...].“³³

³⁰ Freuden (2018).

³¹ Freuden (2018).

³² BDEW (2017).

³³ Freuden (2018). Eigene Übersetzung.

3 Ausgewählte Anwendungsbeispiele für die Energie- und TK-Wirtschaft

Grundsätzlich ist eine Anwendung der Blockchain in vielen Bereichen denkbar. Blockchains können in erster Linie dort eingesetzt werden, wo eine verlässliche Nachverfolgung von Daten- und Zahlungsströmen gewährleistet werden soll, Handlungsanweisungen über Smart Contracts ausgeführt und aufgezeichnet werden sollen und viele Akteure beteiligt sind. Aus diesen Gründen sind die Einsatzmöglichkeiten recht vielfältig. Vorteile können eine schnellere Prozessabwicklung, günstigere Verfahren sowie eine erhöhte Datensicherheit sein. Allerdings stellt die Blockchain per se nicht grundsätzlich eine überlegene Technologie gegenüber bestehenden Lösungen dar. Deswegen muss immer der einzelne Anwendungsfall betrachtet werden.

Für Akteure, die über die Anwendung der Blockchain nachdenken, existiert inzwischen eine Reihe von Entscheidungsbäumen, die einen solchen Entschluss erleichtern sollen.³⁴ Sie werfen verschiedene Fragen auf, die einen Weg zur bestmöglichen Lösung weisen sollen. Beispielhaft sind in Abbildung 3-1 typische Fragen eines solchen Entscheidungsbaumes dargestellt.

Abbildung 3-1: Fragen bei der Entscheidung zur Anwendung der Blockchain-Technologie

	Assertion	Answer
Network	A significant number of participants will be transacting on the network (>100)	Agree/Yes <input type="checkbox"/>
	You don't trust the participants in the network and don't need/want to know them	Agree/Yes <input type="checkbox"/>
Performance	A limited amount of data needs to be stored for every transaction (a few fields)	Agree/Yes <input type="checkbox"/>
	The business process doesn't requires a high throughput (scalability)	Agree/Yes <input type="checkbox"/>
Business logic	The business logic is simple	Agree/Yes <input type="checkbox"/>
	Privacy of transactions is not an important feature	Agree/Yes <input type="checkbox"/>
	The system will be standalone, it doesn't need to access external data or be integrated in the IT legacy	Agree/Yes <input type="checkbox"/>
Consensus	No arbitrator shall be involved in case of a dispute	Agree/Yes <input type="checkbox"/>
	All participants can be involved in the validation of transactions (Vs only a group of known validators)	Agree/Yes <input type="checkbox"/>
	You need strict immutability of the record (no amend & cancel, even by admin)	Agree/Yes <input type="checkbox"/>

Quelle: Meunier (2018).

³⁴ Meunier (2018).

In diesem Fall sollte die Blockchain laut Aussage des Autors nur angewendet werden, wenn mindestens sieben der zehn Fragen mit „Ja“ beantwortet wurden. Ob die Einführung einer Blockchain Sinn macht, wird in Abschnitt 3.1.4 für die Frage der Bilanzkreise beispielhaft diskutiert.

3.1 Blockchain in der Energiewirtschaft

In diesem Abschnitt wird das Potenzial der Blockchain in der Energiewirtschaft beschrieben, indem bestehende oder potenzielle Anwendungsfelder aufgezeigt werden. Dort, wo Fälle in Pilotprojekten o. ä. bereits durchgeführt werden, werden diese mit in die Analyse aufgenommen und als konkrete Fallbeispiele aus Deutschland erläutert. Dabei werden die Vor- und Nachteile der Blockchain-Lösung analysiert, Fragen der konkreten Organisation und Funktionsweise der Blockchain (vgl. Abschnitt 2) werden aufgegriffen. Die aufgeführten Beispiele überschneiden sich teilweise, d. h. die Blockchain wird dabei für verschiedene Prozesse angewendet. Zur besseren Verständlichkeit erfolgt an dieser Stelle eine Aufspaltung in einzelne Anwendungen.

Allerdings ist absehbar, dass sich durch den dezentralen Ansatz der Blockchain zwei Entwicklungen ergeben können: Zum einen wird das Top-Down-Regime bezüglich des Datenmanagements zunehmend durch ein Bottom-Up-System ersetzt. Daten werden vor Ort verarbeitet und in (dezentralen) Prozessen eingesetzt. Zum anderen werden derzeit Blockchain-Lösungen für verschiedene Teilbereiche entwickelt. Falls sich die Blockchain-Technologie durchsetzen sollte, werden diese Lösungen ab einem gewissen Zeitpunkt miteinander korrespondieren müssen. Dann wird es notwendig sein, entsprechende Anpassungen in den betrachteten Prozessen vorzunehmen (siehe dazu auch Abschnitt 4.3.2).

3.1.1 Quartierslösungen und dezentrale Handelsplätze

Ausgangslage

Die Endkunden besitzen derzeit nicht die Möglichkeit, ihren Strom aus konkreten Quellen zu beziehen. Vielmehr wird der Strom einem Strompool entnommen, so dass die konkrete Herkunft des Stroms (z. B. aus einem bestimmten Kraftwerk) nicht bestimmt werden kann. Auch Ökostromanbieter versprechen lediglich, dass sie den Anteil des Ökostroms am Strommix um den Anteil erhöhen, den ein Endkunde nachfragt.³⁵

³⁵ Bei der Vermarktung können über Herkunftsnachweise im Stromvertrieb (z. B. Regionalnachweisregister) den Kunden bestimmte EEG-Anlagen zugeordnet werden, der Kunde kann also Strom aus einer bestimmten Quelle zumindest kaufen.

Der Blockchain-Ansatz

Durch die Blockchain-Technologie ist es möglich, Strom aus konkreten Anlagen zu beziehen³⁶ bzw. dessen Herkunft nachzuverfolgen. So ist es möglich, dezentrale Strommärkte zu etablieren, auf denen lokal Strom gehandelt wird. Das wohl bekannteste Beispiel für solch einen Handelsplatz ist das New Yorker Projekt „Brooklyn Microgrid“.³⁷ Nach einem vergleichbaren Modell wird in Deutschland das Allgäu Microgrid³⁸ durchgeführt. Dort wird eine Handelsplattform auf Basis der Blockchain-Technologie bereitgestellt. Die Plattform soll zunächst fünf Haushalten zur Verfügung stehen, die lokal erzeugten Ökostrom untereinander handeln können. Voraussetzung für die Teilnahme ist ein Smart Meter³⁹, über den Verbrauchs- und Erzeugungsdaten festgehalten werden. Die Teilnehmer erhalten über eine App Einblick in ihre Daten und können Preisregeln zum Kauf und Verkauf von Strom festlegen. Der Handel selbst läuft dann automatisiert ab.

Einen ähnlichen Ansatz haben die Stadtwerke Wuppertal gewählt. In ihrem Projekt „tal.markt“ können Kunden den Strom aus bestimmten örtlichen Anlagen beziehen. Die Transaktionen werden in der Blockchain festgehalten. Im Mai 2018 nahm bereits eine dreistellige Zahl von Akteuren am dezentralen Handel teil.⁴⁰ Die Kunden können dabei theoretisch jede Viertelstunde ihren Strommix verändern.⁴¹

Die Stadtwerke stehen dabei zwischen Produzenten und Konsumenten. Sie nehmen eine Versicherungsrolle ein, indem sie Strom liefern, falls dieser auf dem lokalen Handelsplatz nicht verfügbar ist, übernehmen die Abrechnung und kümmern sich um den Ablauf des Handels.⁴² Dazu gehört auch der Einbau eines Smart Meters. Es ist also eine Abkehr von der Rolle eines reinen „Versorgers“ hin zu einem Dienstleister.

Das Modell richtet sich erzeugungsseitig an Einspeiser von Strom aus erneuerbaren Energien. Interessant ist es in erster Linie für solche Anlagen, deren Vergütung nach EEG ausläuft, und für Neuanlagen, die nicht an den EEG-Auktionen teilnehmen oder einen höheren Preis erzielen wollen, als es dort möglich ist.

Ein Zwischenschritt zu einer Lösung gänzlich ohne Intermediär kann also wie in den Praxisbeispielen darin bestehen, dass der Energieversorger in einer neuen Rolle auftritt. Dies kann auch hinsichtlich variabler Tarife geschehen. Dies bedeutet z. B., dass

³⁶ Diese Aussage gilt im Wesentlichen bei relativ kleinen Lösungen. Über die Höhe und den Zeitraum der Erzeugung bzw. Lieferung kann relativ sicher nachvollzogen werden, dass der physikalische Strom aus einer bestimmten Anlage stammt.

³⁷ <https://www.brooklyn.energy>.

³⁸ <https://www.auew.de/privatkunden/allgaeu-microgrid>.

³⁹ Im Verlauf der Studie werden die Begriffe „Smart Meter“ und „Smart-Meter-Gateway“ als auch „Intelligentes Messsystem“ verwendet. Da letztere nur in Deutschland bekannt (und in der Praxis noch nicht eingeführt) sind, unterscheiden sich die Begrifflichkeiten entsprechend der Angaben der Örtlichkeit oder der Projektbeschreibungen der Projektverantwortlichen.

⁴⁰ Dierks (2018).

⁴¹ Dierks (2018).

⁴² WSW (2017).

der Versorger diese nicht zu festen Zeiten anbietet oder Börsenpreise abbildet, sondern die Tarife in dynamischer Form in die Smart Contracts schreibt.⁴³

Der Anbieter schließt einen Vertrag mit dem Kunden über die (dynamische) Preisgestaltung und schreibt diese in einen Smart Contract. Der Zähler misst den Verbrauch zu den verschiedenen Zeitpunkten und sendet ihn an das Smart-Meter-Gateway, welches den Wert abspeichert. In einem Smart Contract ist eine Preisspanne definiert, die zusammen mit dem Zählerstand in die Blockchain geschrieben wird, um dort ein entsprechendes Angebot zu finden. Der Stromanbieter erhält die Zählerstände aus dem Smart-Meter-Gateway und erstellt auf dieser Grundlage die Abrechnung für den Endkunden. Dies könnte, wie oben angemerkt, eine Zwischenlösung auf dem Weg zu einer gänzlich blockchainbasierten Lösung darstellen, so wie sie zu Beginn des Abschnitts beschrieben wurde. Voraussetzung ist eine sichere Anbindung der Smart-Meter-Gateways an die Blockchain. Dies ist derzeit noch mit Schwierigkeiten verbunden, da die Smart-Meter-Gateways noch nicht „blockchainfähig“ sind. Die BSI-zertifizierten Geräte können aber als sichere Datenquellen aufgefasst werden.

Wie eine Abrechnung blockchainbasiert aussehen könnte, wird im nächsten Abschnitt beschrieben.

3.1.2 Abrechnungsmodelle

In diesem Beispiel erfolgt die Nutzung der Blockchain durch Austausch von Daten, die außerhalb der Blockchain liegen. Das intelligente Messsystem (Smart-Meter-Gateway) bzw. die moderne Messeinrichtung dienen dabei als vertrauenswürdige weil zertifizierte Datenquelle (sog. Orakel, s. u.). Es werden also Blockchain-Prozesse an die bestehende Infrastruktur angedockt.

So benötigt die Realisierung von Smart Contracts regelmäßige Messungen der verbrauchten Mengen, die neben dem Preis auf einem lokalen Marktplatz (vgl. Abschnitt 3.1.1) gehandelt werden können. Smart Contracts sind, wie oben angedeutet, logische Wenn-Dann-Verknüpfungen. Es kann z. B. vorgegeben werden, zu welchem Preis und / oder zu welchem Zeitpunkt aus welcher Quelle Strom bezogen werden soll. Für den Handel auf der Plattform muss das System den Bedarf des Endkunden sowie das Angebot des Erzeugers kennen. Durch die Einspeisung der Messwerte können die Mengen nach erfolgter Transaktion in der Blockchain aufgezeichnet und somit für die Abrechnung festgehalten werden. Die Blockchain ermöglicht somit die Möglichkeit zu einer sehr granularen Abrechnung auch kleiner Mengen.

Der Abruf der Messwerte erfolgt dabei über sog. Orakel. Diese stellen Daten aus der realen Welt bereit und bedienen somit Anfragen von Smart Contracts.⁴⁴ Dies geschieht,

⁴³ Vgl. hierzu im Folgenden: Albrecht u. Strüker (2018).

⁴⁴ Albrecht u. Strüker (2018).

da die in der Blockchain hinterlegten Verträge oftmals Bedingungen enthalten, die sich auf Ereignisse außerhalb der Blockchain beziehen. Sobald ein Ereignis eingetreten ist, wird der Vertrag entsprechend umgesetzt. Somit wird eine wesentliche Komponente zur Vertragserfüllung nicht in der Blockchain selbst generiert. Der Datenfluss in die Blockchain erfolgt dabei nur in eine Richtung: „Daten können von anderen Quellen in die Blockchain als Transaktion geschrieben werden (push), ein Abruf von Daten aus der Blockchain heraus (pull) ist nicht möglich.“⁴⁵ Der direkte Abruf von externen Daten ist (noch) nicht möglich, da die allermeisten Dienste heute noch nicht „blockchainfähig“ sind.⁴⁶ An dieser Stelle setzen die Orakel-Dienste an, die am Beispiel einer Wette (z. B. Sportwette) erläutert werden:

„Sie stellen in der Blockchain das Orakel bereit: ein Vertrag, an den andere Verträge Anfragen schicken. Das Orakel liefert dem anfragenden Vertrag ein Ergebnis zurück. Für den anfragenden Vertrag zeigt sich das Orakel als Black Box: Auf eine Anfrage liefert es – wie das antike Orakel von Delphi – eine Antwort, die offen für Interpretationen ist. Der Vertrag weiß nicht, wie die Antwort zustande gekommen ist. Er kann dem Orakel zunächst nur glauben. Der Code des Orakels liegt in der Blockchain und kann verifiziert werden. Allerdings benötigt auch das Orakel Daten aus der realen Welt. Es arbeitet dafür mit einem Dienst außerhalb der Blockchain zusammen, der dafür sorgt, dass die angefragten Daten per Transaktion in die Blockchain kommen. Ein Nutzer, der an der Wette teilnimmt, kann den Wettvertrag überprüfen, dem Orakel-Dienst muss er jedoch vertrauen.“⁴⁷

Im Falle der Abrechnung müssen die Messwerte aus den Zählern in die Blockchain transferiert werden. Da die Gateways BSI-zertifiziert sind, sollten sie den sicherheitstechnischen Anforderungen der Teilnehmer genügen. Die Sicherheit in der Blockchain wird durch deren dezentralen Charakter und die Anonymisierung und Verschlüsselung der Daten gewährleistet. Der Netzbetreiber hätte in einem solchen System den Vorteil, dass über die Smart Contracts Prozesse automatisiert ablaufen und bessere Prognosewerte zur Verfügung stünden. Die zur Abrechnung weiterhin notwendigen Daten können beispielsweise durch den Messstellenbetreiber hinterlegt werden.

Weiterhin ist denkbar, dass die Verbraucher Einsicht in jede einzelne Transaktion erhalten, so dass eine Rechnungsprüfung nahe Echtzeit erfolgen kann.⁴⁸ Aufgrund der geringen Grenzkosten der Blockchain⁴⁹ wäre es möglich, auch kleine und kleinste Transaktionen zu erfassen und abzurechnen.⁵⁰

⁴⁵ Niemann (2017).

⁴⁶ Niemann (2017).

⁴⁷ Niemann (2017).

⁴⁸ Neumann et al. (2017).

⁴⁹ Dies gilt natürlich nur für Blockchains mit relativ geringem Rechenaufwand, ansonsten wären die Energiekosten der entscheidende Kostentreiber.

⁵⁰ Neumann et al. (2017).

Da alle Teilnehmer miteinander verbunden sind, ändert sich in diesem Anwendungsfall insbesondere die Rolle des Messstellenbetreibers. „Datenerfassung und -übermittlung wird dagegen vom Verbraucher selbst durch die Blockchain übernommen. Smart Contracts gewährleisten dabei die frist- und formgerechte Datenübertragung an den Netzbetreiber. Der Messstellenbetreiber ist lediglich für den Einbau und die Wartung der Smart Meter verantwortlich.“⁵¹

3.1.3 Netzengpassmanagement

Deutschland

Derzeit existieren nur wenige Projekte in Deutschland, die die Blockchain als Technologie zum Netzmanagement einsetzen. Die EWE nutzt die Blockchain-Technologie im Rahmen des enera-Modellprojektes in einem Teilprojekt zum Netzengpassmanagement. Das Projekt befindet sich derzeit in der Modellphase und soll in den nächsten Monaten in einen Feldtest übergehen.

Das Projekt fokussiert auf den Bereich der Niederspannung und dort auf den Anschluss von Elektromobilen. Hier wird es absehbar, zumindest in vereinzelt Netzsträngen, zu Überlastungen des Netzes kommen. Zur Lösung dieses Problems setzt das Projekt auf einen agentenbasierten Lösungsansatz, bei dem auch die Blockchain-Technologie zum Einsatz kommt.

Das Kernproblem, das es dabei zu adressieren gilt, ist die Gleichzeitigkeit des Ladevorgangs. Es ist davon auszugehen, dass in den Haushalten in den Abendstunden eine Lastspitze entsteht, die die Kapazität des Netzstrangs übersteigt. Als Alternative zum Netzausbau kann ein agentenbasierter Verteilmechanismus zum Einsatz kommen.

Ausgehend von den beiden Extremlösungen, alle Verbraucher des Stranges abzuwerfen oder einen rein marktgetriebenen Mechanismus über sehr hohe Preisspitzen zu installieren, entspricht der Ansatz im Projekt einem Eingriff in der orangenen Phase der Netzampel, ist also im Bereich zwischen Netz und Markt angesiedelt. Drohende Engpässe werden in dieser Phase bereits erkannt und Gegenmaßnahmen eingeleitet.

Die im Modell eingesetzten Agenten sind so programmiert, dass sie das (voraussichtliche) Netzproblem lösen und nicht etwa sich selbst optimieren. Es wird dabei angenommen, dass in den Haushalten ein Energiemanagementsystem installiert ist, das es ihnen ermöglicht, eine Prognose z. B. für den nächsten Tag zu erstellen. Dabei gehen hauptsächlich die großen Verbraucher (Elektroautos, Wärmepumpen, steuerbare Verbraucher und Eigenerzeugung z. B. über eine PV-Anlage) ein. Alle Prognosen der Haushalte werden in der Blockchain als Teil einer Transaktion erfasst, laufen beim Ver-

⁵¹ Neumann et al. (2017).

teilnetzbetreiber zusammen und werden dort abgeglichen.⁵² Überschreitet die prognostizierte Last z. B. am Ortsnetztrafo die Netzkapazität, so wird dieser Zustand an die Agenten zurückgegeben. Auch dieser Vorgang wird in die Blockchain geschrieben. Im nächsten Schritt verhandeln die Agenten dezentral über eine Lösung des Netzproblems. Dieser Vorgang findet außerhalb der Blockchain statt und ist komplett automatisiert.

Ist eine Lösung gefunden, so wird der angepasste Fahrplan in die Blockchain geschrieben und somit auch an den Netzbetreiber zurückgegeben. Als Voraussetzungen zur Teilnahme an einem solchen System ist die Prognosefähigkeit der einzelnen Einheiten (Haushalte) notwendig. Weiterhin muss die Bereitschaft vorhanden sein, sich an einem solchen System zu beteiligen, d. h., der Netzanschluss wird an gewisse Bedingungen geknüpft. Ist dies nicht der Fall, könnte im Zweifel der Anschluss durch den Netzbetreiber verweigert werden. Somit wird versucht, Verursachergerechtigkeit herzustellen.⁵³

Der Anreiz für die Teilnehmer kann darin bestehen, dass für die Bereitschaft zum Angebot von Flexibilität (d. h. z. B. Verzicht auf das Laden des Elektroautos zu einem gewissen Zeitpunkt) eine monetäre Entschädigung erfolgt. Hier ist eine eigens konzipierte Kryptowährung angedacht, die der Haushalt „ansparen“ und für Momente verwenden kann, in denen er flexibles Verhalten ablehnt. Netzdienliches Verhalten wird somit belohnt, nicht netzdienliches Verhalten pönalisiert. Wieviel die Flexibilität im jeweiligen Moment wert ist, ist in den Smart Contracts hinterlegt. Der Wert wird *durch den Netzbetreiber* festgelegt.

Um ein solches System zu etablieren, sind die Messwerte der Verbraucher erforderlich. In der Blockchain wird dann festgehalten, ob ein Haushalt „fahrplantreu“ war oder nicht. Über Micropayments werden die Positionen schließlich entsprechend verrechnet, auch diese Daten werden in der Blockchain festgehalten.

Für die Blockchain nutzt EWE Ethereum. Sehr wahrscheinlich wird eine private Blockchain umgesetzt, der Prüfmechanismus soll dem Proof-of-Work-Mechanismus folgen. Offen ist auch die Frage, wie die Daten, die von außerhalb der Blockchain stammen, in das System integriert werden. Während die Smart-Meter-Systeme in Deutschland aufgrund der BSI-Zertifizierung als sichere Datenquelle gelten, ist im internationalen Kontext eine Lösung z. B. auch auf Geräteebene denkbar.

Offene Fragestellungen im Zusammenhang mit der Umsetzung des Projektes bleiben. Sie sind gleichzeitig Teil der allgemeinen Diskussion (vgl. Abschnitt 4.1.2). So ist der rechtliche Charakter der Smart Contracts noch nicht gänzlich geklärt. Sind sie Verträge im juristischen Sinne und wer haftet, falls es zu unerwünschten Ergebnissen kommt? Gilt z. B. die Gewährleistung im Falle einer Nichteinhaltung des Vertrags? Diese Fragen

⁵² Dies bewirkt eine gewisse Transparenz der Informationsströme.

⁵³ Als Alternative bzw. weitere Form der Ausgestaltung werden in der Branche derzeit Preismodelle für das Angebot von bedingter und unbedingter Leistung diskutiert.

sollten vor einer großflächigen Umsetzung geklärt sein. Auch die Frage, inwiefern ein Netzbetreiber auf einem Markt aktiv werden darf, ist zu beantworten. Er tritt im beschriebenen Modell als Nachfrager von Flexibilität auf bzw. bestimmt indirekt die Spielregeln. Bezüglich der Regulierung stellt sich in solch einem Modell die Frage, ob der Regulierer für die Regulierung der Smart Contracts bzw. des agentenbasierten Modells zuständig ist und wie eine solche Regulierung aussehen könnte

Österreich

Die Energienetze Steiermark GmbH, ein Unternehmen der Energie Steiermark AG, stehen am Beginn eines Versuchsprojekts zum Thema Blockchain im Netzbereich. Dort wird in einem Netzabschnitt im Niederspannungsnetz, das seit mehreren Jahren mit Smart-Grid-Technologie ausgestattet wurde, der nächste Schritt unternommen und Lösungen auf Basis der Blockchain getestet. Im entsprechenden Netzabschnitt befinden sich fünfzehn bis zwanzig Haushalte mit PV-Anlagen sowie ein 100 kWh-Speicher und ein regelbarer Ortsnetztransformator.

Die Hauptfragestellung des Projektes lautet, wie freie Kapazitäten zwischen den Nutzern zugewiesen bzw. gehandelt werden können. Zunächst geht es darum, welche Regeln in die Programmierung bzw. die Smart Contracts geschrieben werden. Gleichzeitig soll dies mit dem Netzzugangs- bzw. Netznutzungsvertrag korrespondieren – der Kunde erhält immer die ihm im Vertrag zugesicherte Leistung. Darüber hinaus, wenn weitere Netzkapazitäten frei werden, kann sich ein Kunde über Blockchain zusätzliche Kapazität sichern.

Wenn z. B. ein Kunde seine Kapazität nicht zur Gänze braucht, kann diese den anderen Kunden über die Blockchain zur Verfügung gestellt werden. Die Interessenten können auf diese überschüssige Kapazität über ein entsprechendes Aufteilungsmodell zugreifen. Dies erfolgt über eine Vereinbarung mit dem Netzbetreiber und / oder anderen Konsumenten bzw. Einspeisern. Der Netzbetreiber fängt dann „nur“ noch das Residuum auf, falls Netzungleichgewichte bestehen bleiben. Das alles soll nahe Echtzeit, also im Bereich von ein bis zwei Sekunden erfolgen.

Durch die Smart Contracts sind es demnach Anlagen bzw. Maschinen, die miteinander in Verhandlung treten. Um dies in größerem Umfang umzusetzen, bedarf es entsprechender Anbindung an eine IKT-Infrastruktur. Die Smart Meter sind als Bindeglied dazu derzeit eher ungeeignet, da die Schnittstellen nicht standardisiert sind und unterschiedliche Modelle somit nicht problemlos miteinander kommunizieren können. Weiterhin wird die Frage zu beantworten sein, ob sich ein Preis für Flexibilität einstellt, der es für Kunden tatsächlich attraktiv macht, an solch einer Lösung teilzunehmen.

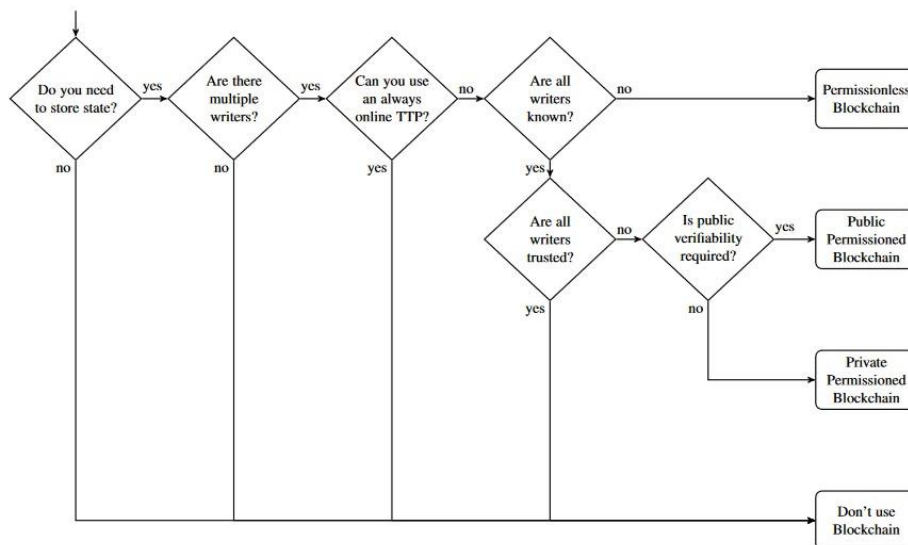
3.1.4 Bilanzkreisbewirtschaftung

Ein explizites Projekt zur Bilanzkreisbewirtschaftung ist derzeit in Deutschland nicht bekannt. Dennoch können die beschriebenen Anwendungsfälle die Rolle des Bilanzkreisverantwortlichen (BKV) beeinflussen, so dass sich die Frage stellt, ob die Einführung der Blockchain-Technologie hier nicht grundsätzlich Sinn machen könnte.

Das jetzige System der Bilanzkreise benennt einen BKV, der für den Ausgleich innerhalb des Bilanzkreises zuständig ist. Wie und ob sich dieses System mit der Einführung der Blockchain-Technologie ändern wird, ist derzeit offen. Während manche Akteure zumindest übergangsweise weiterhin grundsätzlich den Energieversorger als BKV ansehen,⁵⁴ wännen andere bereits die Abschaffung des gesamten Bilanzkreismanagements durch die Blockchain-Technologie als zukünftiges Szenario.⁵⁵

Zur Annäherung, ob das derzeitige System bewusst durch die Blockchain-Technologie ersetzt werden kann, können Fragen gestellt werden, wie sie in den Entscheidungsbäumen (vgl. Abschnitt 3) aufgezeigt werden. Daher sollen im Folgenden einige relevante Fragen bzw. Antworten im Hinblick auf Bilanzkreise diskutiert werden, um zu illustrieren, wie sich einer Entscheidung genähert werden kann. Dazu wird exemplarisch der Entscheidungsbaum von Wüst und Gervais (2017) als Grundlage herangezogen (vgl. Abbildung 3-2).

Abbildung 3-2: Entscheidungsbaum zur Blockchain



Quelle: Wüst u. Gervais (2017).

⁵⁴ Smole (2018).

⁵⁵ Skopetz (2017).

Einige Entscheidungsbäume beginnen zunächst mit der Frage, ob die Aufgabe auch mit einer traditionellen Datenbank oder generell ohne Blockchain gelöst werden kann. Diese Frage wäre im Fall des Bilanzkreissystems natürlich zu bejahen, allerdings greift sie aus volkswirtschaftlicher Sicht zu kurz. Nur falls die blockchainbasierte Lösung auch günstiger und mit größeren Vorteilen verbunden ist, ist ein Umstieg tatsächlich wünschenswert. Es sollte also stets auch die ökonomische Komponente berücksichtigt werden.

Im Entscheidungsbaum in Abbildung 3-2 wird zunächst die Frage gestellt, ob Daten gespeichert werden müssen. Dies wäre im Falle der Bilanzkreisbewirtschaftung zu bejahen, da die Daten zu Abrechnungszwecken benötigt werden. Die zweite Frage bezieht sich auf die Frage, ob verschiedene Teilnehmer in die Blockchain schreiben. Auch dies wäre zu bejahen, wenn der Bilanzkreis auf Basis prognostizierter Ein- und Auspreiswerte (nicht Standardlastprofile) berechnet würde. Dies würde auch voraussetzen, dass alle Teilnehmer IKT-technisch angebunden sind und eine ständige Onlineverbindung besteht (Frage 3). Dies ist zumindest perspektivisch möglich, wenn auch nicht für alle Klein- und Kleinstverbraucher. An dieser Stelle kann also bereits konstatiert werden, dass die Blockchain nicht für alle Fälle geeignet ist.

Weiterhin gilt es zu prüfen, ob alle Teilnehmer bekannt sind. Ist dies nicht der Fall, empfiehlt der Entscheidungsbaum eine Blockchain ohne Zugangsbeschränkung. Dies entspricht einer öffentlichen Blockchain wie Bitcoin oder Ethereum, in der alle die gleichen Rechte besitzen. Im Falle der Bilanzkreisbewirtschaftung würde dies voraussetzen, dass nicht alle Teilnehmer des Bilanzkreises bekannt sind. Davon ist allerdings nicht auszugehen, da alle Ein- und Entnahmestellen zu einem Bilanzkreis angemeldet werden müssen.

Kann allen, die in die Blockchain schreiben, vertraut werden? Diese Frage ist insofern eher zu verneinen, als dass nicht für alle Teilnehmer garantiert werden kann, dass sie nicht manipulierte Werte in die Blockchain schreiben. Die Frage, ob öffentlich verifiziert werden muss, ist nicht zweifelsfrei zu beantworten. In beiden Fällen würde sich die Rolle des BKV verändern. Bei einer öffentlichen genehmigungsbedürftigen Blockchain könnte der BKV die Rolle einer Autorität einnehmen, der (fehlerhafte) Transaktionen sanktioniert. Bei einer privaten genehmigungsbedürftigen Blockchain können die Daten nur von einem bestimmten Benutzerkreis eingesehen werden. Hier könnte dem BKV auch die Rolle einer Kontrollinstanz zugeordnet werden.

Das (theoretische) Beispiel zeigt, wie sich der Frage genähert werden kann, ob der Einsatz der Blockchain-Technologie für einen bestimmten Bereich grundsätzlich sinnvoll sein kann. Dabei existiert derzeit in vielen Bereichen eine hohe Zahl an Freiheitsgraden, so dass die Frage nach der Sinnhaftigkeit in der Realität (z. B. durch entsprechende Pilotprojekte) beantwortet werden muss.

3.2 Anwendungsbeispiele in der Telekommunikation

Anwendungsmöglichkeiten für Blockchain und andere Distributed-Ledger-Technologien bestehen auf dem Telekommunikationsmarkt in Bereichen, in denen es aufgrund mangelnder Transparenz und einer hohen Komplexität bestehender Prozesse zu ineffizienten Marktergebnissen kommt. Allerdings werden Blockchain-Anwendungen in der Telekommunikation derzeit noch kaum genutzt.

Auf Basis von Literaturrecherchen und Experteninterviews konnten zwei mögliche Anwendungsfelder identifiziert werden, denen ein hohes Potenzial für Blockchain und Distributed-Ledger-Technologien zugeschrieben wird: Roaming und Internet of Things (IoT). Gerade für letzteren Anwendungsfall könnte auch die Distributed-Ledger-Technologie Iota, die sich noch in der Entwicklung befindet, in Zukunft eine höhere Bedeutung erfahren.

In weiteren Anwendungsbereichen wie Nummernverwaltung und -portierung⁵⁶, Spektrum-Management⁵⁷ und bei der Bekämpfung von Spam⁵⁸ wird ebenfalls die Anwendung von Blockchain-Technologien geprüft. Dabei wurden erste Pilotvorhaben ins Leben gerufen (etwa durch Ofcom bei der Nummernverwaltung und durch die französische Behörde „Agence nationale des fréquences“ im Bereich des Spektrum-Management)⁵⁹. Inwieweit Blockchain-Technologie aber tatsächlich in diesen Anwendungsbereichen einen Mehrwert zum Status quo darstellt, kann aus den begrenzten Erfahrungen in diesem Bereich derzeit nicht geschlussfolgert werden. Daher werden diese Bereiche auch nicht einer ausführlicheren Betrachtung unterzogen.

Auch wenn einzelne Telekommunikationsanbieter die Potenziale von dezentralen Datenbanken bzw. Registern bereits erkannt haben und mögliche Einsatzbereiche unter Laborbedingungen testen, befinden sich die meisten Anwendungen noch in der Entwicklung. Übergreifende Standards, welche die gesamte Industrie umfassen, sind aus derzeitiger Sicht noch ferne Zukunftsmusik. Im Folgenden wird vorgestellt, wie Blockchain-Technologien in den beiden oben genannten Anwendungsfeldern theoretisch umgesetzt werden können und untersucht, worin deren Mehrwert liegen könnte.

⁵⁶ Vgl. Bone / Mahajan (2018): Blockchain Technology for Industry Number Management & Portability, NICC Open Forum, elektronisch verfügbar unter:

<http://www.niccstandards.org.uk/meetings/2018%20Phil%20Bone.pdf?type=pdf>.

⁵⁷ Vgl. Weiss et al. (2018): On the application of blockchains to spectrum management, elektronisch verfügbar unter: <http://d-scholarship.pitt.edu/35956/1/SSRN-id3141910.pdf>.

⁵⁸ Vgl. <https://de.cointelegraph.com/news/us-software-company-salesforce-wins-patent-for-blockchain-anti-spam-solution>.

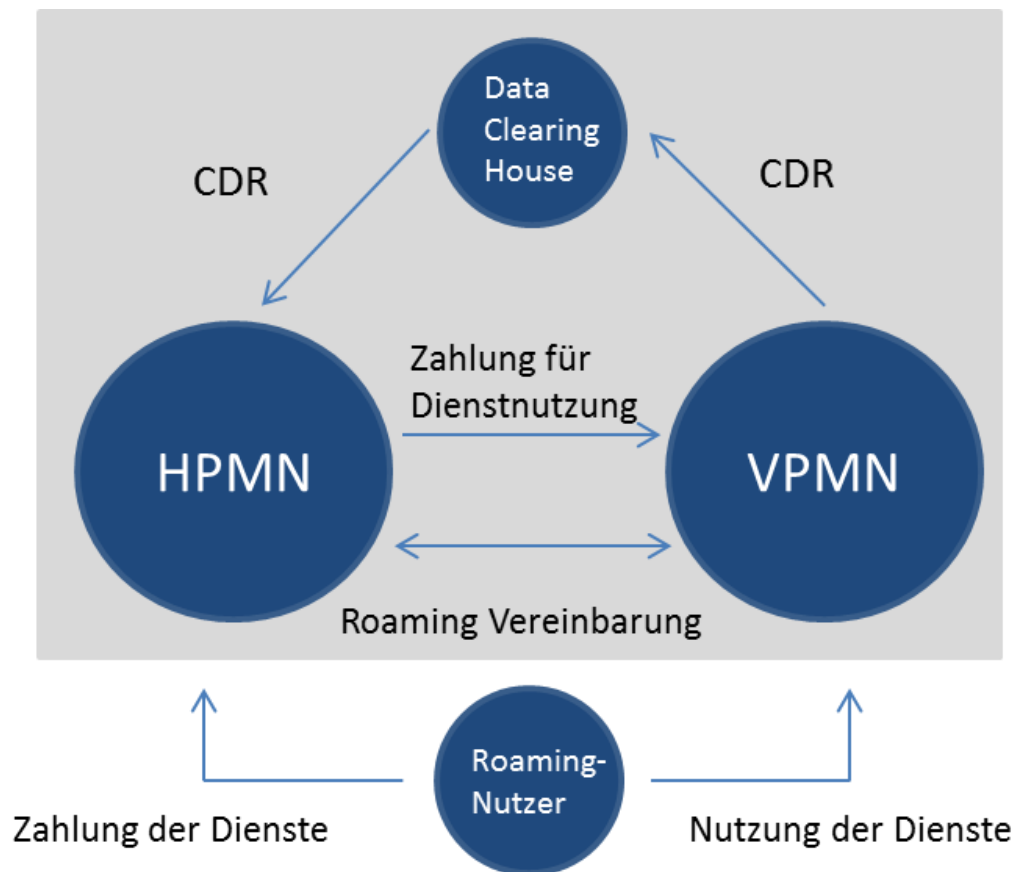
⁵⁹ Vgl. ANFR (2018): <https://www.anfr.fr/toutes-les-actualites/actualites/blockchain-lancement-de-la-premiere-blockchain-francaise-detat/> und OFCOM (2018): <https://www.ofcom.org.uk/about-ofcom/latest/features-and-news/blockchain-technology-uk-telephone-numbers>.

3.2.1 Anwendungsfall Auslandsroaming

Einen möglichen Anwendungsfall für die Blockchain-Technologie stellt der Bereich des Auslandsroaming dar.⁶⁰ Ein Roamingfall tritt auf, wenn ein Nutzer sich außerhalb der Netzabdeckung seines Netzbetreibers bewegt (Host Public Mobile Network (HPMN)) und für seine Mobilfunkleistungen das Netz eines anderen Netzbetreibers (Visited Public Mobile Network (VPMN)) in Anspruch nimmt. Voraussetzung hierfür ist die Existenz einer Roaming-Vereinbarung zwischen dem HPMN und dem VPMN.

Die folgende Abbildung 3-3 stellt vereinfacht die derzeitige Struktur von Roaming-Vereinbarungen im Mobilfunk dar.⁶¹

Abbildung 3-3: Derzeitige Struktur von Roaming-Vereinbarungen



Quelle: In Anlehnung an Deloitte (2016).

⁶⁰ Blockchain in Zusammenhang mit Roaming wird u.a. durch Bubbletone (bubbletone.io) eingesetzt.

⁶¹ Für Ausführungen zum Thema Roaming vgl. auch Marcus, J.S.; Gries, C.; Wernick, C.; Philbeck, I. (2016).

Bei einem Call oder einem Event kontaktiert das Visited Public Mobile Network (VPMN) das Host Public Mobile Network (HPMN) eines Nutzers. Die nutzungsbasierte Abrechnung zwischen VPMN und HPMN erfolgt über Call Detail Records (CDR), welche der VPMN dem HPMN zur Verfügung stellt. Diese stellen die Grundlage für die Abrechnung zwischen den beiden Netzbetreibern dar. Diese sind auch erforderlich für die Weiterberechnung des HPMNs an den Nutzer, welcher die Leistung des VPMNs in Anspruch genommen hat.⁶²

Zur Reduktion von Komplexität werden in der Praxis häufig Data Clearing Houses (DCH) involviert. Die DCH sind verantwortlich für die Übersendung und die Konvertierung der CDR-Informationen für die Telekommunikationsunternehmen, von denen sie beauftragt werden. Damit agieren die DCH als Intermediäre.

Gemäß der Roaming-Vereinbarung zwischen den beiden Netzbetreibern muss das HPMN nach der Übermittlung der CDR die Kosten ausgleichen, die ein Roaming-Nutzer in einem VPMN verursacht hat. Hierbei können verschiedene Herausforderungen entstehen, welche die Effizienz der Roaming-Vereinbarung beeinträchtigen:

- Das HPMN muss die entstandenen Kosten des VPMN übernehmen, auch wenn es diesem nicht (oder nur verspätet) gelingt, die Kosten dem Roaming-Nutzer in Rechnung zu stellen. Eine Ursache hierfür kann Roaming-Fraud sein, der entsteht, wenn sich der Nutzer aufgrund betrügerischen Verhaltens der Abrechnung durch den HPMN entzieht.
- Durch Verzögerungen im Datenaustausch zwischen den beiden Netzbetreibern können sich Aufdeckungszeiten in Betrugsfällen verzögern. Da eine Kontrollinstanz über das Gesamtsystem fehlt, in dem der Betrug stattgefunden hat, entstehen zusätzlich längere Reaktionszeiten bei Fraud als bei Betrugsfällen in den eigenen Netzwerken.⁶³

An dieser Stelle kann nun Blockchain-Technologie ansetzen. Blockchain könnte theoretisch dazu eingesetzt werden, um Roaming-Vereinbarungen effizienter umzusetzen. Hierdurch würde auch die Gefahr von Betrugsfällen deutlich reduziert. Weltweit wird angenommen, dass durch Fraud Einbußen bei den Einnahmen in Höhe von über 10 Mrd. Dollar entstehen.⁶⁴ Die neue Struktur auf Basis von Blockchain-Technologie wird in Abbildung 3-4 dargestellt.

Die Roaming-Vereinbarung wird als Smart Contract auf Basis einer Blockchain installiert: Jedes Mal, wenn ein Nutzer einen Call oder ein Event in einem Netzwerk hervorruft, initiieren die CDR einen Smart Contract und die festgelegten Bedingungen werden ausgeführt. Der HPMN kann auf diese Weise automatisch die Rechnung auf Basis der

⁶² Das VPMN sendet die Call Detail Records als TAP-Datei (Transfer Account Procedure) an das HPMN.

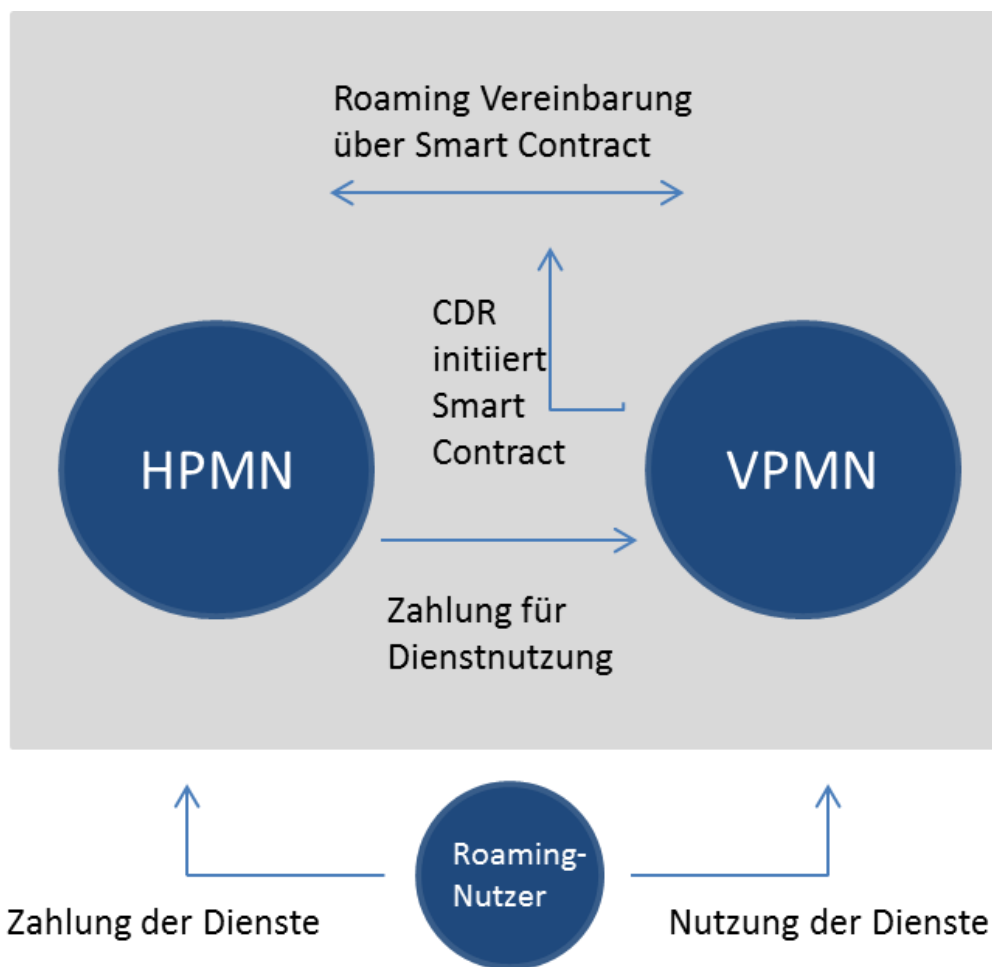
⁶³ Vgl. Deloitte (2016).

⁶⁴ Vgl. Xintec (2015).

genutzten Dienste an die Roaming-Nutzer ausstellen und die Informationen mit dem VPMN abgleichen.

Technische Voraussetzung hierfür ist, dass Netzknoten auf beiden Seiten – im HPMN und im VPMN – in der Lage sind, als Miner für die Blockchain-Technologie zu agieren und getätigte Transaktionen zu verifizieren.

Abbildung 3-4: Theoretische Struktur von Roaming-Vereinbarungen mit Blockchain-Technologie



Quelle: In Anlehnung an Deloitte (2016).

Die Blockchain-Technologie ermöglicht eine unverzügliche und verifizierte Autorisierung und kann auf Basis des hinterlegten Smart Contract einen sofortigen Zahlungsverkehr für die wahrgenommenen Leistungen initiieren. Dadurch, dass das HPMN die Rechnung der genutzten Dienste unverzüglich ausstellen und gegebenenfalls Informationen mit dem VPMN abgleichen kann, ist es einfacher möglich, Betrugsfälle auszudecken und schneller zu unterbinden.

Ein weiterer Vorteil für die Netzbetreiber entsteht dadurch, dass die DCH als Intermediäre bei der Blockchain-Technologie nicht mehr benötigt werden. Hierdurch können die die Netzbetreiber ihre Kosten senken. ⁶⁵

Als nachteilig könnte sich unter anderem erweisen, dass bei einigen Blockchain-Technologien (wie z. B. Bitcoin) die Anzahl der Transaktionen in einem Zeitraum begrenzt ist. Die Skalierbarkeit muss bei der Wahl der zugrundeliegenden Technologie berücksichtigt werden. Weiterhin müssen Aspekte des Datenschutzes bei der Verwendung von personenbezogenen Daten in den CDRs geklärt werden, die in Einklang mit dem bestehenden Regelwerk zur Speicherung von Daten stehen müssen. In diesem Zusammenhang gilt es auch noch rechtlich klarzustellen, welche Daten im Smart Contract bzw. in der Blockchain hinterlegt werden dürfen.

3.2.2 Anwendungsfall Internet of Things

Ein weiterer Anwendungsfall von Blockchain-Technologie ist im Bereich des Internet of Things (IoT) denkbar. Gegenwärtig ist eine stark steigende Konnektivität von IoT-Devices zu verzeichnen. Diese weisen unterschiedliche Anforderungen auf, etwa in Bezug auf das Verkehrsvolumen und Leistungsfähigkeit der Konnektivität. In jedem Fall muss aber eine sichere und effiziente Kommunikation von IoT-Geräten ermöglicht werden. Häufig muss dies auch in einem hohen Umfang sichergestellt sein, etwa in einem großen Maschinenpark.

Die Vernetzung im Rahmen des Internet of Things wird derzeit in der Regel durch Wide-Area-Networks (WAN) umgesetzt; diese werden häufig durch Telekommunikationsanbieter implementiert. WANs ermöglichen unter anderem eine Kommunikation von IoT-Geräten bei sehr großen Distanzen, sogar bei national und bei global agierenden Unternehmen. Die Blockchain-Technologie müsste also in vielen Fällen auf diesen Netzwerkstrukturen aufsetzen.

In der Praxis werden IoT-Devices und darauf aufbauende Dienste und Anwendungen derzeit häufig über proprietäre Lösungen gesteuert und kontrolliert. Diese sind sehr auf die spezifischen Bedürfnisse der jeweiligen Aufgaben bzw. der Unternehmen zugeschnitten, um einzelne IoT-Devices zu steuern und die interne Landschaft der Geräte und Anwendungen zu verbinden. Hierbei entstehen in der Praxis verschiedene Herausforderungen:

- Die IoT-Sensoren enthalten z. T. sehr sensible Informationen, sowohl über das beauftragende Unternehmen als auch über Zulieferer und Kunden. Daher ist die Sicherstellung von Daten- und Netzwerksicherheit ein elementarer und kostenintensiver Pfeiler von IoT.

⁶⁵ Vgl. Deloitte (2016).

- Die Größe des Netzwerkes bestimmt das Routing und die Komplexität der Steuerung und des Managements. Die verwendeten Systeme sind proprietär und unterscheiden sich z. T. deutlich, ohne dass es eine gemeinsame Plattform gibt. Dies erschwert die Zusammenarbeit zwischen den Systemen.

An diese Stelle könnte Blockchain-Technologie ansetzen, die bei der Kommunikation zwischen IoT-Devices ein höheres Maß an Sicherheit und Effizienz erzielen kann. Hierfür ist es erforderlich, dass Smart Contracts in der Blockchain hinterlegt werden. Blockchain-Technologie kann eine sichere P2P-Verbindung insbesondere bei gesteuerten und engmaschigen Netzwerken ermöglichen. Hierfür ist aber eine hohe Anzahl an Knotenpunkten erforderlich.

Gerade bei einem Netzwerk mit mehreren Tausend IoT-Devices, die sicher und störungsfrei miteinander kommunizieren müssen, kann die Blockchain-Technologie entscheidende Vorteile aufweisen. Diese ermöglicht auch, dass Informationen innerhalb des Netzwerkes dezentral dokumentiert und Steuerungsprozesse schneller authentifiziert werden können.⁶⁶

In der Praxis bedeutet dies, dass etwa Werkstücke ihre eigene Bearbeitung durch Kommunikation mit den Maschinen steuern können. Die in der Blockchain hinterlegten Smart Contracts können dabei die Übergabe korrekter Produktionsanweisungen ebenso sicherstellen wie die korrekte Abrechnung von Produktionsschritten und eine Kontrolle der vertragsgemäßen Erfüllung.⁶⁷

Durch die Blockchain-Technologie kann auch die Gefahr eines Ausfalls der Produktion innerhalb des Netzwerkes deutlich reduziert werden. Etablierte Blockchains gelten als sicher. Wenn eine Blockchain im Bereich IoT eingesetzt wird, bleibt bei einem Angriff auf einen Punkt die Wiederherstellung der Daten weiterhin möglich, da diese bei allen anderen Teilnehmern im Netzwerk dezentral gespeichert sind. Damit ist eine schnellere Aufnahme des Betriebs wieder möglich. Durch die verteilte und konsensbasierte Authentifizierung erreicht die Blockchain-Technologie also eine stärkere Manipulationsresistenz. Die Produktionsgeräte und das gesamte Produktionsnetzwerk sind aber weiterhin der Gefahr durch externe Angriffe ausgeliefert, so dass der Einsatz einer Blockchain herkömmliche Sicherheitsmaßnahmen an den Endpunkten nicht ersetzen kann.

Ein Vorteil der Anwendung der Blockchain-Technologie im Bereich IoT ist der Umstand, dass die personelle und aktive manuelle Unterstützung durch Personal im Maschinenpark weiter zurückgefahren werden kann. Durch den Einsatz eines Smart Contract auf Basis einer Blockchain kann etwa der administrative Aufwand bei der Steuerung eines Netzwerkes reduziert werden.

⁶⁶ Vgl. Deloitte (2016).

⁶⁷ Vgl. Voshmgir (2016).

Die bestehenden IoT-Sensoren können als Knotenpunkte für die Blockchain-Technologie fungieren. Dabei müssen diese technisch so angepasst werden, dass diese die Fähigkeit und Rechenkapazität besitzen, als Validierer zu agieren und einzelne Blöcke für die Blockchain verifizieren zu können.⁶⁸ Wie oben ausgeführt, sind die Details einer technischen Umsetzung aber noch zu bestimmen: Im Fall eines Proof-of-Work müssen einzelne Knotenpunkte eines Netzwerkes aber als Validierer fungieren können. Falls dagegen Proof-of-Authority angewendet wird, ist es nicht unbedingt notwendig, dass die Sensoren validieren können. In diesem Fall können aber andere Vorteile einer Blockchain entfallen, siehe Kapitel 2.1.4.

Als nachteilig kann sich bei der Nutzung von Blockchain-Technologie (v. a. bei einer Public Blockchain) u. a. die fehlende Skalierbarkeit erweisen. Da bei einer Public Blockchain hohe Anforderungen an die Sicherheit gestellt werden, gibt es eine starke Limitierung bei der Validierung/Verifizierung von Transaktionen. Daher eignen sich Blockchain-Varianten, wie sie bspw. Bitcoin und Ethereum zugrunde liegen, im Kontext von IoT nicht.⁶⁹ Ebenso könnte es aus Sicht der Anwender auch rechtliche Bedenken bei der Umsetzung geben; datenschutzrechtliche Fragenstellungen zur Speicherung von sensiblen personenbezogenen Daten von Kunden und Zulieferern auf der Blockchain müssen geklärt werden.

Als weiteres Problem kann sich aus derzeitiger Sicht das Fehlen von Standards und Schnittstellen erweisen: Hierbei müssen einheitliche technologische Regeln und Rahmenbedingungen entwickelt werden, die einerseits durch eine große Anzahl von beteiligten Stakeholdern umgesetzt werden können und andererseits auch den Zutritt von neuen Akteuren in das Ökosystem ermöglichen.

Iota-Technologie als Alternative

Die Blockchain-Technologie verfügt über einige entscheidende Nachteile, die ihre Einsetzbarkeit für bestimmte Anwendungsbereiche erheblich beeinträchtigt. Ein Nachteil ist etwa die Anzahl der möglichen Transaktionen im Fall eines Proof-of-Work: Bei Bitcoin sind etwa 6-7 Transaktionen pro Sekunde möglich, bei Ethereum ca. 15. Die fehlende Skalierbarkeit erweist sich dann als problematisch, wenn etwa die Blockchain im Bereich IoT eingesetzt wird und mehrere Tausend oder sogar Millionen Transaktionen pro Sekunden durchgeführt werden müssen. Auch wenn davon ausgegangen werden kann, dass die Anzahl der Transaktionen bei Bitcoin in Zukunft weiter ansteigt, so ist derzeit nicht davon auszugehen, dass derart hohe Transaktionsvolumina bewältigt werden können.

Ein zweiter relevanter Nachteil besteht darin, dass die Kosten pro Transaktion im Fall des Proof-of-Work durch die begrenzte Skalierbarkeit nur schlecht prognostiziert wer-

⁶⁸ Vgl. Deloitte (2016).

⁶⁹ Bei Bitcoin und Ethereum handelt es sich um die beiden Public Blockchains mit der höchsten Marktkapitalisierung. Vgl. etwa <https://coinmarketcap.com/de/>.

den können. Zudem geht mit Proof-of-Work-Verfahren ein hoher Energieverbrauch einher.⁷⁰ Diese beiden Problematiken bestehen bei einem Proof-of-Authority-Ansatz nicht, allerdings wird bei diesem Ansatz der dezentrale Charakter der Blockchain-Technologie verwässert.

Dagegen kann Iota die Grundlage für unbegrenzte Transaktionen in einem bestimmten Zeitraum im Bereich IoT darstellen: Eine sichere Kommunikation und Zahlung zwischen zwei Einheiten im Bereich IoT kann dadurch sichergestellt werden. Dabei folgt Iota als Kryptowährung aber einem anderen Prinzip: Kryptowährungen wie Bitcoin verwenden als Grundlage eine Blockchain auf Basis einer Liste von miteinander verketteten Blöcken. Iota stellt ebenfalls eine Distributed-Ledger-Technologie dar, allerdings gibt es keine Blöcke wie etwa bei Blockchain. Die einzelnen Transaktionen bilden die Knoten eines Graphen, der als *Tangle* bezeichnet wird.

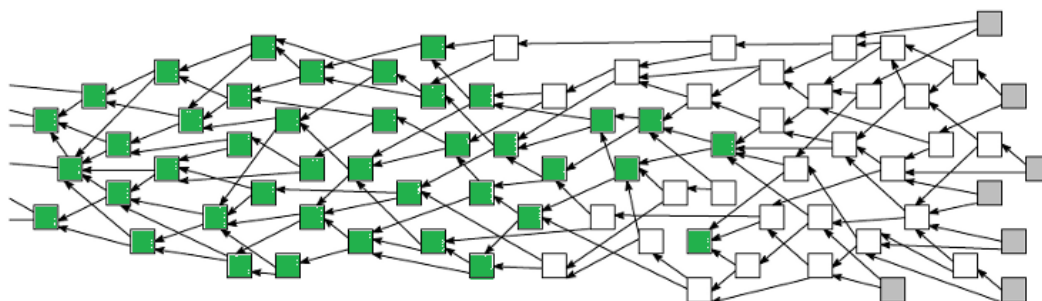
Insofern stellt das Tangle die Datenstruktur hinter der Iota-Technologie dar. In der Abbildung 3-5 wird jede Transaktion als Knoten dargestellt, chronologisch von links nach rechts angezeigt. Jede neue Transaktion, die dem Tangle zugeführt wird, muss zwei andere bereits bestehende Transaktionen validieren, die durch einen Client ausgewählt werden. Zur Durchführung einer Transaktion muss der Sender damit eine kryptografische Aufgabe lösen, die mit den Aufgaben der Miner bei Bitcoin vergleichbar ist.

Eine getätigte Transaktion gilt erst dann als validiert, wenn diese von anderen Benutzern ausreichend häufig verifiziert werden. Ein ausreichendes Verifizierungsniveau wird durch das Überschreiten eines bestimmten Schwellwertes von Transaktionen erreicht, die von dieser abhängen. Erst dann wird diese Transaktion ihrem Empfänger als validiert angezeigt.

Dies wird in der Abbildung 3-5 verdeutlicht: Die grün dargestellten Knoten stellen Transaktionen dar, die durch das Netzwerk als verifiziert angesehen sind. Dagegen zeigen die weiß dargestellten Knoten solche Transaktionen an, die zwar bereits validiert wurden, bei denen aber der Schwellwert noch nicht erreicht wurde. Die durch graue Knoten dargestellten Transaktionen sind noch gar nicht validiert worden.

⁷⁰ Vgl. Graupner (2017).

Abbildung 3-5: Schematische Darstellung des Iota-Tangle

wik Quelle: IOTA Forum.⁷¹

Iota verwendet im Gegensatz zu Bitcoin eine zentrale Instanz, den *Coordinator*. Dieser stellt eine zentrale Instanz im Netzwerk dar, die sich vertrauensbildend auf die Teilnehmer auswirken soll. Der Coordinator publiziert in regelmäßigen Abständen sogenannte Meilensteine: Alle Transaktionen bis zu einem Meilenstein können als verifiziert betrachtet werden. Es ist Entwicklungsziel von Iota, dass dies durch eine steigende Größe des Netzwerks ohne Coordinator auskommt. Bis dahin stellt Iota aber im Gegensatz zu anderen Kryptowährungen wie Bitcoin kein rein dezentrales Netzwerk dar. Der Coordinator hat zwar eine vertrauensbildende Funktion inne; kann aber im schlimmsten Fall auch einen Single-Point-of-Failure darstellen, dessen Ausfall demnach das gesamte System versagen lässt.

Um an einem auf Iota basierenden System teilzunehmen, sind ein öffentlicher und ein privater Schlüssel notwendig. Im Gegensatz zu den am häufigsten verbreiteten Blockchain-Varianten, die bei Verwendung eines Proof-of-Work-Verfahrens zu starken Limitationen bei der Validierung und Verifizierung von Transaktionen pro Zeiteinheit führen, ist die Anzahl der neu entstehenden Transaktionen in einem Zeitraum bei Iota quasi unbegrenzt.⁷² Allerdings muss zur Verifikation von Transaktionen immer der vollständige Tangle mit allen früheren Transaktionen vorgehalten werden. Dafür sind große Speicherkapazitäten bei den Teilnehmern notwendig.

Zusammengefasst unterscheidet sich Iota von Blockchains mit einem Proof-of-Work-Verfahren durch die Art des Konsensmechanismus. Ein weiterer wesentlicher Unterschied ist die Tatsache, dass für eine Transaktion keine direkten Gebühren anfallen. Daher muss der Absender einer Transaktion im Gegenzug Rechenleistungen (Proof-of-Work) aufbringen.

⁷¹ Vgl. O.A. (o.D.(b)).

⁷² Vgl. Blocksplain (2018).

Als Vorteile des Systems gelten die kostenlosen Transaktionen, eine maximale Skalierbarkeit (unbegrenzt mögliche Transaktionen) und eine hohe Sicherheit.⁷³ Außerdem entwickelt sich das System umso schneller und sicherer, desto mehr Benutzer daran teilnehmen. Als nachteilig kann auch die Existenz eines Coordinators angesehen werden, eine zentrale Instanz in einem dezentral angelegten System. Dieser kann auch die Störanfälligkeit des gesamten Systems deutlich erhöhen.

73 Vgl. Narula (2017).

4 Ökonomische Fragestellungen und Konsequenzen für die regulatorischen Rahmenbedingungen

4.1 Energie

4.1.1 Rolle des Netzes

Einleitend sei zunächst angemerkt, dass sich die Blockchain-Technologie in einem noch frühen Entwicklungsstadium befindet. Bei den vorgestellten Ansätzen geht es derzeit eher um ein Ausprobieren und somit Lernen, wie diese Technologie in spezifischen Anwendungsfällen konkret umgesetzt werden kann. Daher sind Aussagen zum möglichen Mehrwert, den die Technologie im Rahmen der Energiewirtschaft unter Umständen leisten könnte, naturgemäß mit einer hohen Unsicherheit behaftet, wie es bei neuen Ansätzen in der Regel anfangs immer der Fall ist. Die Fragen, die sich im Zusammenhang mit der Blockchain stellen, betreffen im Folgenden den organisatorischen und somit ökonomischen und regulatorischen Umgang mit dem Netz und die (möglicherweise) veränderte Rolle des Netzbetreibers. Dabei wird der derzeitige Entwicklungsstand und die sich herauskristallisierenden Charakteristika bei den Ansätzen gegen den bestehenden energiewirtschaftlichen Rahmen gespiegelt und mögliche Konfliktpunkte aufgezeigt.⁷⁴

4.1.1.1 Quartierslösungen

Im Falle von **Quartierslösungen mit Blockchain-Technologie** stellt sich die Frage, ob es sich bei diesem Modell um eine Kundenanlage im Sinne des Energiewirtschaftsgesetzes handelt. Wäre dies der Fall, unterlägen sie nicht der Regulierung. Definiert sind Kundenanlagen in § 3 Nr.24 EnWG wie folgt:

„Energieanlagen zur Abgabe von Energie,

- a) die sich auf einem räumlich zusammengehörenden Gebiet befinden,*
- b) mit einem Energieversorgungsnetz oder mit einer Erzeugungsanlage verbunden sind,*
- c) für die Sicherstellung eines wirksamen und unverfälschten Wettbewerbs bei der Versorgung mit Elektrizität und Gas unbedeutend sind und*
- d) jedermann zum Zwecke der Belieferung der angeschlossenen Letztverbraucher im*

⁷⁴ Es sei angemerkt, dass von den Autoren die Blockchain-Technologie nicht als Selbstzweck angesehen wird. Daher handelt es sich im Folgenden auch nicht um Forderungen nach einer Änderung der Rahmenbedingungen, um der Technologie den Weg zu bereiten. Vielmehr werden Punkte aufgezeigt, die bei der weiteren Entwicklung der Blockchain-Technologie in der Energiewirtschaft beachtet werden sollten, um nach entsprechenden Lösungen zu suchen. Nur wenn in den Anwendungen der Mehrwert gezeigt werden kann und Lösungen für die hier identifizierten potenziellen Konfliktpunkte gefunden werden, hat der Blockchain-Ansatz eine Chance, sich entsprechend in der Energiewirtschaft zu etablieren.

*Wege der Durchleitung unabhängig von der Wahl des Energielieferanten diskriminierungsfrei und unentgeltlich zur Verfügung gestellt werden [...]*⁷⁵

Diese Anforderungen sind kumulativ, d. h. jede einzelne muss erfüllt sein, damit von einer Kundenanlage gesprochen werden kann. Im Rahmen einer Quartierslösung mit Blockchain-Technologie können die Antworten auf die Anforderungen sehr unterschiedlich ausfallen und sind daher im Einzelfall zu prüfen.

Hinsichtlich des Punktes a) ist zunächst festzuhalten, dass der Gesetzgeber Anlagen innerhalb eines Gebäudes oder Gebäudekomplexes (z. B. ein Krankenhaus) in der Regel als Kundenanlagen ansieht.⁷⁵ Allerdings kann sich ein Gebiet auch über mehrere Grundstücke erstrecken. Nach Auffassung des OLG Stuttgart liegt ein räumlich zusammengehörendes Gebiet (wie in Buchstabe a)) dann vor, „wenn auf Grund einer gewissen räumlichen Nähe und Verbindung zwischen den Grundstücken das Gebiet aus Sicht eines objektiven Betrachters als einheitlich wahrgenommen wird.“⁷⁶ Im Rahmen einer Blockchain-Lösung ist es also entscheidend, dass die Erzeugungsanlagen entsprechend dieses Kriteriums verteilt sind. Räumliche Zusammengehörigkeit wäre also dann nicht mehr gegeben, wenn sich eine Erzeugungsanlage (z. B. eine Windkraftanlage) außerhalb des als einheitlich wahrgenommenen Gebiets befände. Weiterhin verlangt räumliche Zusammengehörigkeit „die physische Verbundenheit der Netzstruktur; rein virtuelle Netzkonstrukte genügen den Anforderungen nicht.“⁷⁷ Im Beispiel der Windkraftanlage, die an einem blockchainbasierten Markt teilnimmt, würde dies also die Regulierung des betreffenden Netzes nach sich ziehen.

Die Verbundenheit mit einem Energieversorgungsnetz oder einer Erzeugungsanlage sollte normalerweise gegeben sein (Buchstabe b)). „Kundenanlagen sind mit einem oder mehreren Energieversorgungsnetzen [...] oder einer oder mehreren Erzeugungsanlagen verbunden. Ausreichend ist auch eine Verbindung mit einer Erzeugungsanlage, die über keine Verbindung mit einem Energieversorgungsnetz verfügt („Insellösungen“).“⁷⁸

Bezüglich Buchstabe c) können verschiedene Kriterien angewendet werden. „Die wettbewerbliche Relevanz einer Energieanlage zur Versorgung von Letztverbrauchern steigt mit der Anzahl der angeschlossenen Letztverbraucher, der geographischen Ausdehnung und der Menge der durchgeleiteten Energie.“⁷⁹ Hinsichtlich der Energiemenge und der Anzahl der Letztverbraucher sind die derzeit realisierten Blockchain-Lösungen in Deutschland als eher unkritisch anzusehen. Es ist allerdings zu erwarten, dass diese Zahlen zukünftig steigen werden. Sollte sich die Blockchain-Technologie im Bereich der dezentralen Erzeugung durchsetzen, so stehen einzelne Anlagen in Konkurrenz zu an-

⁷⁵ Deutscher Bundestag (2011).

⁷⁶ OLG Stuttgart (2010).

⁷⁷ Boesche (2014).

⁷⁸ Deutscher Bundestag (2011).

⁷⁹ Bundesnetzagentur (2016)., vgl. auch Deutscher Bundestag (2011).

deren blockchainbasierten Anlagen, so dass sich die Relationen bezüglich Teilnehmern und Energiemengen entsprechend nach unten verschieben können. Dies würde dann nach derzeitiger Gesetzeslage Regulierungsbedarf auslösen.

Schließlich verlangt Buchstabe d), dass die Kundenanlage jedermann unentgeltlich und diskriminierungsfrei zur Verfügung gestellt wird. Das bedeutet zunächst, dass die angeschlossenen Letztverbraucher eine Wahlfreiheit hinsichtlich ihres Energieversorgers besitzen bzw. behalten müssen. Weiterhin darf der Betreiber der Kundenanlage vom Energielieferanten kein Netzentgelt verlangen, ansonsten läge ein Energieversorgungsnetz vor.⁸⁰ „Das Kriterium der Unentgeltlichkeit ist in der Regel erfüllt, wenn eine Kundenanlage im Rahmen eines vertraglichen Gesamtpaketes zur Verfügung gestellt wird (z. B. im Rahmen eines Miet- oder Pachtvertrages).“⁸¹ Ob eine Kundenanlage vorliegt, hängt also bei diesem Kriterium von der jeweiligen Ausgestaltung der Blockchain ab, unterscheidet sich aber insofern nicht von der Abgrenzung in einer Welt ohne Blockchain. Denkbar ist hier z. B. ein Modell, bei dem eine Wohnungsbaugesellschaft den Austausch von Energiemengen und die Abrechnung über eine Blockchain vornimmt. Wird für das Netz kein Entgelt erhoben und ist der Wechsel zu einem Drittanbieter möglich, ist die Anlage nach diesem Kriterium keine Kundenanlage. Entsteht ein blockchainbasierter Markt aus verschiedenen Anbietern und Verbrauchern und wird ein Netzentgelt erhoben, so handelt es sich nicht um eine Kundenanlage und es besteht Regulierungsnotwendigkeit.

Derzeitige Blockchain-Modelle im Bereich der Quartierslösungen sehen weiterhin die Notwendigkeit des Netzbetreibers, allerdings werde sich seine Rolle verändern. So werde sich z. B. der Bedarf an Regelenergie verringern, da künftig der Ausgleich zwischen Erzeugung und Verbrauch bereits im Verteilnetz und damit auf immer granularerer Ebene über die Smart Contracts erfolgen kann.⁸² Der Verteilnetzbetreiber schlüpft dann mehr und mehr in die Rolle eines Versicherers für den Fall, dass innerhalb der Quartierslösung nicht ausreichend Strom erzeugt wird.⁸³ Seine bisherigen Aufgaben bleiben zunächst dieselben, die er auch bei (konventionellen) Kundenanlagen besitzt. Hinsichtlich der Bilanzkreisbewirtschaftung könnte sich eine neue Rolle für Dritte ergeben, da die Teilnehmer einer Blockchain in dieser Konstellation, sofern sie Energie produzieren, zu Energielieferanten werden und einen Bilanzkreisverantwortlichen benennen müssten. Diese Rolle könnte durch einen Dienstleister übernommen werden.⁸⁴

⁸⁰ Boesche (2014).

⁸¹ Boesche (2014).

⁸² Smole (2018).

⁸³ Hieran schließen sich Überlegungen für neu Finanzierungsmodelle für das Netz an, die an dieser Stelle aber nicht weiter thematisiert werden sollen.

⁸⁴ FfE (2018).

4.1.1.2 Netzbewirtschaftung

Der Netzbetreiber kann also durch die Teilnahme an einer Blockchain im Rahmen einer Quartierslösung oder einem dezentralen Marktplatz Informationen gewinnen, die seine **Netzbewirtschaftung** verbessern können. Weiterhin wird durch die Blockchain ein sicheres und transparentes System eingeführt, was beispielsweise im vorgestellten Modell der EWE ein wichtiger Vorteil gegenüber einem Top-Down-Ansatz ist. Die Rolle des Netzbetreibers wird grundsätzlich erhalten bleiben, aber die Art und Weise, wie seine Aufgaben erfüllt werden, kann sich ändern.

Die Verfahren, wie der Netzbetreiber dabei die Blockchain-Technologie nutzt, können unterschiedlich sein. In einer dezentralen Welt, in der Geräte miteinander kommunizieren, könnte in den Smart Contracts bereits eine Nebenbedingung enthalten sein, die die Netzstabilität beinhaltet. Eine Transaktion kann also nur dann ausgeführt werden, wenn es die netztechnischen Bedingungen zulassen. Der Netzbetreiber wäre dann in den Smart Contracts nur indirekt involviert, könnte aber durch entsprechende Informationsabfrage Zugriff auf die Daten erhalten und in den Fällen, in denen die Netzstabilität durch die in den Smart Contracts festgelegten automatisierte Handlungen nicht gewährleistet sein sollte, manuell eingreifen. Umgekehrt wären die Marktteilnehmer auf Informationen des Netzbetreibers angewiesen, um netztechnische Bedingungen in den Smart Contracts verankern zu können. Dabei ist es wichtig, dass die Bedingungen flexibel angelegt sind, da Smart Contracts, die einmal in der Blockchain stehen, nicht mehr verändert werden können.

Im Prinzip stellen sich dieselben Fragen wie bei der Netzampel, nur in feinerer Granularität. Die Smart Contracts müssen exakt kalibriert sein, um zunächst Angebot und Nachfrage aufeinander abzustimmen.

Allerdings kann es auch zu Situationen kommen, in denen die in den Smart Contracts fixierten Bedingungen nicht eingehalten werden. Wird beispielsweise Strom aus einer bestimmten Anlage gekauft und dann nicht abgerufen (z. B. weil der Abnehmer sein Elektroauto benutzt, anstatt es wie geplant aufzuladen), kommt es zu Spannungsschwankungen, die der Netzbetreiber ausgleichen muss. Ist er Teilnehmer der entsprechenden Blockchain, kann er das Problem entsprechend lokalisieren und gegensteuern, falls notwendig, im besten Falle wiederum automatisiert.

Die Rolle des Netzbetreibers wird sich also, auch im Zuge einer zu erwartenden steigenden Eigenversorgung von Letztverbrauchern, ändern. Er wird, wie bereits erwähnt, verstärkt als eine Art Versicherung auftreten für den Fall, dass der Ausgleich innerhalb eines Hauses bzw. einer (z. B. durch Blockchain) verbundenen Community von Erzeugern und Verbrauchern nicht vollständig funktioniert.

Offen bleibt, ob der Netzbetreiber so wie bereits heute, „nur“ auf Vorgänge im Netz reagiert, die er selbst misst, ob er Daten aus der Blockchain zur Verfügung gestellt be-

kommt oder ob er selbst aktives Mitglied bzw. Authority einer Blockchain wird, so wie beispielsweise im Modell der EWE.

4.1.2 Rolle der Regulierung

Befürworter der Blockchain-Technologie erwarteten (insbesondere im Rahmen der Einrichtung lokaler Märkte), dass der Strom zunehmend dort verbraucht werden wird, wo er auch erzeugt wird.⁸⁵ Wenn sich diese Erwartungen bestätigen, könnte es bei den Netzbetreibern zu einer Verschiebung der Kostenstruktur weg von Kapitalkosten (CAPEX) hin zu Betriebskosten (OPEX) kommen. Über Smart Contracts könnte z. B. entsprechender Flexibilitätsbedarf vom Netz eingekauft werden und somit erforderlicher Netzausbau vermieden werden. Intention der letzten Novellierung der Anreizregulierung der Netzbetreiber war es aber gerade, Anreize für Netzinvestitionen zu stärken. Daher wurde auch ein Kapitalkostenabgleich eingeführt. Der gerade vollzogene Shift in der Anreizregulierung könnte sich jedoch mittel- bis langfristig als Hemmnis für OPEX-lastige Ansätze, wie sie Blockchain-Lösungen darstellen, erweisen, wenn die gesetzten Anreize zu einer zu starken Bevorteilung von kapitalintensiven Lösungen führen.

Dieser Erwartungshaltung folgend, würde sich darüber hinaus die Frage der Refinanzierung zukünftiger bzw. bereits getätigter Netzinvestitionen stellen, wenn zumindest die Verteilnetze zukünftig unter Umständen deutlich weniger ausgelastet werden sollten, wenn Strom vermehrt am Ort der Erzeugung verbraucht werden sollte. Inwiefern auch die Übertragungsnetze von dieser möglichen Entwicklung betroffen sein werden, ist eine offene Frage. Wenn die wesentliche Erzeugung vor allem in lastfernen Gegenden erfolgt, wie dies heutzutage insbesondere bei Windeinspeisung der Fall ist, dann wird der Übertragungsbedarf eventuell sogar deutlich zunehmen. Geht die Entwicklung jedoch in eine Richtung, dass die Erzeugung näher an die Verbraucher heranrückt, so werden auch die Übertragungsnetze davon betroffen werden, da dann Stromtransporte über weite Strecken zunehmend zurückgingen.

Auch bei der Datenhoheit könnte sich ein Änderungsbedarf hinsichtlich der Netzregulierung ergeben. Mit dem „Gesetz zur Digitalisierung der Energiewende“ ist einer der zentralen Bausteine für die zukünftig sektorenübergreifende Vernetzung der am Energiemarkt beteiligten Akteure auf den Weg gebracht worden. Kern des Paketes bildet das Messstellenbetriebsgesetz (MsbG) mit Neuregelungen zum Messstellenbetrieb und der Datenkommunikation in intelligenten Energienetzen. Die bisherige Praxis sah vor, dass der Verteilnetzbetreiber (VNB), der i. d. R. auch die Rolle des grundzuständigen Messstellenbetreibers (MSB) inne hat, Mess- und Zählwerte ausliest, plausibilisiert und an die Marktteilnehmer (z. B. Lieferanten) unter Anwendung der geltenden Marktregeln übermittelt – und somit als „Datendrehscheibe“ fungierte. Im Zuge des Messstellenbetriebsgesetzes wird diese Struktur fundamentalen Änderungen unterzogen, denn die

⁸⁵ Vgl. EWF (2018).

Rolle des VNB wird deutlich schärfer von der des MSB getrennt. Demnach erfolgt eine sternenförmige Verteilung der Informationen durch das Smart-Meter-Gateway. Einige Marktakteure erwarten, dass die Rolle der „Datendrehscheibe“ vom Gesetzgeber mittelfristig dem ÜNB übertragen wird.⁸⁶ Im Gegensatz dazu ist ein zentrales Charakteristikum der Blockchain, dass die Datensouveränität wieder zurück an den Endverbraucher geht.⁸⁷ Mit der Datenhoheit gehen entsprechende Verantwortlichkeiten einher (z. B. Richtigkeit und Vollständigkeit der Daten). Vor diesem Hintergrund ist zukünftig zu überlegen, wie mögliche Konflikte zwischen herrschender Normensetzung und Blockchain vermieden werden könnten.⁸⁸

Ein völlig neues Aufgabenfeld könnte für Regulierungsbehörden in Bezug auf die Zertifizierung von Smart Contracts entstehen.⁸⁹ Gerade im Energiebereich ist es wichtig, dass die virtuelle Welt des nicht regulierten Bereichs und die physikalische Welt des regulierten Bereichs (Netz) aufeinander abgestimmt sind. Es sollte gewissermaßen eine bestimmte Synchronisation erfolgen. Smart Contracts im Rahmen von Tradingaktivitäten sind z. B. mit entsprechenden Lastflüssen unterlegt. Diese wiederum können nur bei einem unkritischen Netzzustand problemlos über das Netz abgewickelt werden. Zur Verbreitung von blockchainbasierten Smart Contracts ist es daher erforderlich, in den Codes entsprechende Nebenbedingungen über den Netzzustand abzubilden (z. B. Blindleistung). Hierbei kommen eine Reihe von Fragestellungen auf, die im Rahmen der Weiterentwicklungen näher untersucht werden sollten, z. B.

- Was sind die Konsequenzen, wenn nicht genügend Blindleistung verfügbar ist und in wessen Verantwortlichkeit fällt die Problembehebung?
- Wie wird die Nichterfüllung von Verträgen pönalisiert?

In diesem Kontext könnte Regulierungsbehörden die Aufgabe zufallen, Smart Contracts daraufhin zu validieren, inwiefern sie mit den gültigen technischen Regeln übereinstimmen.⁹⁰

Bei der Synchronisation im Rahmen der Blockchain geht es auch darum, entsprechende Messdaten in die Blockchain einzulesen. Auf den ersten Blick wären Smart Meter bzw. intelligente Messsysteme ein idealer Übergabepunkt zwischen physikalischer und Blockchain-Welt. Durch das BSI-Schutzprofil können Sicherheit und Datengüte gewähr-

⁸⁶ Vgl. z. B. Sieling und Müllers (2017).

⁸⁷ Vgl. BDEW (2017).

⁸⁸ Es sei jedoch darauf hingewiesen, dass das Handling von fehlerhaften Daten (z. B. infolge eines nicht funktionierenden Sensors) innerhalb der Blockchain bisher ungelöst ist. Informationen, die einmal in die Blockchain geschrieben wurden, können im Nachhinein nicht oder nur über entsprechende Konsensmechanismen geändert werden. Hier sollte geprüft werden, inwiefern die Blockchain an die im Stromsektor etablierten Verfahren (z. B. Ersatzwertbildung) anknüpfen kann. Diese Thematik betrifft eine derzeit viel diskutierte Frage der Governance in der Blockchain Community, inwiefern auf On-chain- (in den Code eingearbeitete Konsensregeln) oder Offchain- (Konsensfindung außerhalb der Blockchain) Ansätze gesetzt werden sollte. Siehe hierzu z. B. Rodriguez (2018).

⁸⁹ Vgl. Prinz (2018) und Smole (2018).

⁹⁰ Vgl. Prinz (2018) und Smole (2018).

leistet werden. Die Anbindung an die Blockchain kann erfolgen, indem entsprechende Software auf den Zähler gespielt wird. In diesem Fall nehmen die Messstellenbetreiber eine gewisse Gatekeeper-Funktion ein, indem sie entscheiden können, welche Softwareanbieter sie akzeptieren und welche nicht. Dies kann bei missbräuchlichem Verhalten dazu führen, dass innovative Start-ups vom Markt ferngehalten werden. Daher ist seitens des Gesetzgebers sicherzustellen, dass missbräuchliches Verhalten verhindert wird. Ferner gilt es zusammen mit dem BSI zu klären, inwiefern dieser Ansatz tatsächlich realisierbar ist.

Derzeit befinden sich Blockchain-Lösungen im Energiesektor noch im Versuchsstadium. Auf der Suche nach Lösungsansätzen und tragfähigen Geschäftsmodellen wird von der konkreten technischen Implementierung, dem Governance-Konzept für die Blockchain bis hin zur Akzeptanz bei den Anwendern viel experimentiert. Eine gewisse Analogie zu den Entwicklungen von den eEnergy-Modellregionen bis hin zu den gegenwärtigen Projekten im Kontext des Förderprogramms „Schaufenster intelligente Energie - Digitale Agenda für die Energiewende“ (SINTEG) ist unverkennbar.⁹¹ Es geht weniger um die Implementierung bereits weit gediehener bzw. ausgereifter Praktiken als vielmehr um ein Ausprobieren möglicher Ansätze. Für diese Situation wurden für die SINTEG-Projekte im Rahmen von § 119 EnWG bestimmte Ausnahmen vom bestehenden regulatorischen Rahmen gewährt. Es wäre zu überlegen, ob ein ähnliches Vorgehen auch im Blockchain-Kontext ratsam wäre bzw. ob sich diese Ansätze in den SINTEG-Rahmen integrieren lassen, zumal in einigen Projekten bereits auf Blockchain zurückgegriffen wird.⁹²

4.1.3 Ergebnisse für den Energiesektor

Die Beispiele in diesem Diskussionsbeitrag zeigen, dass die Einsatzmöglichkeiten der Blockchain im Energiesektor sehr vielfältig sind. Neben den diskutierten Anwendungsfällen (Quartierslösungen, Abrechnung, Netzengpassmanagement und Bilanzkreisbewirtschaftung) sind weitere Anwendungsfelder denkbar, z. B. im Bereich Elektromobilität, Asset Management, Stromgroßhandel oder Zertifizierung von Energieprodukten.⁹³

Die Umsetzung befindet sich in all diesen Fällen noch im Versuchsstadium, abgeschlossene, fertige Lösungen, die großflächig umgesetzt werden, sind noch nicht realisiert. Vielmehr ist die Anwendung der Blockchain als ein dynamischer Prozess zu verstehen, bei dem derzeit noch viele Fragen ungelöst sind,⁹⁴ und sich die Akteure noch relativ am Anfang befinden. Dies zeigt sich auch dadurch, dass die Blockchain ihren disruptiven Charakter (noch) nicht in der Weise offenbart hat, als dass tatsächlich einzelne Marktrollen bereits obsolet geworden sind. Momentan ist eher zu erkennen, dass

⁹¹ Vgl. BMWi (2018).

⁹² Vgl. z.B. Postina (2018).

⁹³ BDEW (2017).

⁹⁴ Teilweise wurden geplante Projekte aus diesem Grund verschoben oder ausgesetzt.

sich Markttrollen verändern bzw. neue Aufgaben z. B. für den Netzbetreiber entstehen. Akteure, die blockchainbasierte Lösungen vorantreiben, sehen sich somit als aktive Player, die die Regeln (mit-)bestimmen können und wollen. Hier besteht also auch eine Chance, sich frühzeitig mit einer sich verändernden Wirklichkeit auseinanderzusetzen und diese mitzugestalten. Absehbar ist allerdings, dass keine rein öffentlichen Blockchains zum Einsatz kommen, sondern oftmals Proof-of-Authority als Konsensmechanismus gewählt wird, wobei die Validierung auf einer öffentlichen Blockchain stattfindet.

Insgesamt kann sich die Organisation des Stromsektors durch Blockchain-Lösungen von einem Top-Down- zu einem Bottom-Up-basierten Ansatz verändern. Sind perspektivisch sämtliche Klein- und Kleinstanwendungen Teil des Internets der Dinge (IoT), so ist ein immer granulareres System möglich, bei dem ein teilweiser Ausgleich im Stromnetz bereits auf unterster Ebene stattfindet. Das Streben nach Autarkie durch Speicherlösungen verstärkt diesen Effekt.

An dieser Stelle gilt es, markt- und netzbezogene Lösungen zusammenzuführen. Dabei liegt die Priorisierung stets auf einem stabilen Netzbetrieb. Die Blockchain-Technologie kann dazu beitragen, dass Flexibilitätsmodelle und netzdienliche Maßnahmen in den marktgetriebenen Anwendungen als Nebenbedingung enthalten sind.

Eine Grundvoraussetzung für das Funktionieren solcher blockchainbasierter Lösungen ist allerdings die Schwarzfallfestigkeit. Fällt das Stromnetz aus, kann die jeweilige Blockchain nur insofern funktionieren, als dass das Internet funktioniert. Führt der Ausfall auch zum Ausfall der TK-Verbindungen und somit des Internets, so funktioniert auch die Blockchain nicht mehr. Dies ist insbesondere bei netzbezogenen Anwendungen als Nebenbedingung zu berücksichtigen.

Wie beschrieben kann die Blockchain-Technologie auch Auswirkungen auf die Regulierung haben. Zu nennen sind hier die allgemein mit der Digitalisierung aufgeworfene Frage der CAPEX- / OPEX-Differenzierung in der Anreizregulierung, die Frage der Datenhoheit, die (potenzielle) Regulierung der Smart Contracts sowie die Ausgestaltung des Bilanzkreismanagements.

4.2 Telekommunikation

Für die Blockchain-Technologie gibt es mit den Bereichen Internet of Things und Auslandsroaming denkbare Anwendungsfelder in der Telekommunikation; allerdings befindet sich die Umsetzung noch im Versuchsstadium. Gerade in solchen Bereichen, in denen es aufgrund mangelnder Transparenz und einer hohen Komplexität bestehender Prozesse zu ineffizienten Marktergebnissen kommt, kann Blockchain-Technologie einen Mehrwert im Telekommunikationssektor bieten. Allerdings müssen einheitliche technologische Regeln und Rahmenbedingungen für die Umsetzung noch entwickelt werden.

Ähnlich wie im Energiesektor sind noch zahlreiche Fragen ungelöst und müssen durch die Akteure in der Praxis noch geklärt werden: Bei einigen Blockchain-Technologien ist eine hinreichend große Skalierbarkeit nicht gegeben, da die Transaktionen in einem Zeitraum begrenzt sind. Zudem müssen Aspekte des Datenschutzes bei der Umsetzung noch geklärt werden; dies betrifft insbesondere die Verwendung von personenbezogenen Daten im Rahmen der Blockchain bzw. von Smart Contracts.

Derzeit zeichnet sich noch nicht ab, dass die Blockchain-Technologie in der Telekommunikation Disruptionen auslösen wird, welche die Marktrollen und die Funktionsweise des Sektors nachhaltig verändern werden.

4.3 Übergreifende Fragestellungen

Sowohl für den Energie- als auch den TK-Sektor ergeben sich Fragestellungen, die es für einen Einsatz der Blockchain zu lösen gilt. Zwei wesentliche sind die Frage nach dem Charakter der Smart Contracts und der Governance im Umfeld einer Blockchain-Lösung sowie die Frage des steigenden Datenvolumens und der Standardisierung unterschiedlicher Blockchains.

4.3.1 Smart Contracts und Governance

4.3.1.1 Fragestellung

Der Umgang mit Smart Contracts wirft einige Fragen auf. Im günstigsten Fall sind in einem Vertrag zwischen zwei Parteien sämtliche Rechtsfragen geregelt. Der Smart Contract besteht in der proramntechnischen Ausführung des Vertrages. Es kann der gesamte Vertrag in der Blockchain abgebildet werden oder „nur“ die wesentlichen „Wenn-Dann“-Verknüpfungen.

Ungeklärt bleiben verschiedene rechtliche Fragestellungen:

„So ist bisher nicht geklärt, ob Allgemeine Geschäftsbedingungen (AGB) wirksam in den Vertragsschluss mit einbezogen werden können und ob die einzelnen Klauseln der AGB-Kontrolle der §§ 305 ff. BGB Stand halten und gültig sind. Ungeklärt ist auch, ob die die Programmiersprache als Vertragssprache gewählt werden kann. Ungeklärt ist zudem die Frage, was bei Programmierfehlern des Smart Contracts geschieht. Der Vertrag wird dennoch automatisch ausgeführt. Eine Korrektur über die Auslegung „falscher“ Klauseln oder Programmcodes ist nicht möglich. Der Smart Contract kann weder den wirklichen Willen der Parteien im Sinne von § 133 BGB ermitteln, noch Handlungen

nach dem Grundsatz von Treu und Glauben im Sinne des § 242 BGB auslegen. Solche Auslegungsfragen können nicht programmiert werden oder automatisiert erfolgen.“⁹⁵

Letztlich müssten alle Eventualfälle und deren Rechtsfolgen im Smart Contract berücksichtigt werden, um komplett zu automatisieren, was sehr kostenaufwändig wäre.⁹⁶ Auch bleibt die Frage offen, wer letztendlich verantwortlich gemacht werden kann, wenn die (öffentliche) Blockchain Transaktionen fehlerhaft ausführt, da in einem P2P-Netzwerk kein Verantwortlicher identifiziert werden kann.⁹⁷

Es bedarf also einer umfassenden Governance-Struktur, die die Frage klärt, wie die Prozesse organisiert werden sollen. Wesentlich ist dabei auch die Frage, was innerhalb und was außerhalb der eigentlichen Blockchain abläuft. Dabei spielen die (ökonomischen) Interessen der beteiligten Parteien eine wichtige Rolle. Hier sind insbesondere die Miner, Entwickler und Nutzer zu nennen.⁹⁸

Während die Miner ein Interesse daran haben, durch die Berechnung der Hashwerte einen möglichst hohen Gewinn zu realisieren, sind die Nutzer an einer Verbesserung des Gesamtsystems und niedrigen Transaktionsgebühren interessiert. Die Entwickler hingegen arbeiten meist aus Eigeninteresse, z. B. für die Anerkennung innerhalb der Community. Teilweise werden sie auch durch entsprechende private Finanziers oder Crowdfunding finanziert und somit angereizt.

Werden die Spielregeln (d. h. insbesondere Systemupgrades) *außerhalb der Blockchain (Off-Chain)* festgelegt, wie z. B. bei Bitcoin, existieren oft verschiedene Entwickler-Communities, die sich über Foren oder Mailinglisten austauschen. Wie oben beschrieben, ist deren Motivation oft intrinsisch bedingt und führt dazu, dass eine relativ kleine Gruppe von Entwicklern letztlich über die Weiterentwicklung des Systems bestimmt.

Allerdings kann diese Gruppe von Entwicklern (das sog. „Core-Team“) die Änderungen nicht unbedingt alleine durchsetzen. Wird eine sog. „Fork“⁹⁹ (d. h. eine Weiterentwicklung einer Open-Source-Software) vorgeschlagen, existieren verschiedene Verfahren, mit denen entschieden werden kann, ob diese umgesetzt bzw. akzeptiert wird. Dies kann etwa durch eine Mehrheitsentscheidung unter den Netzknoten entschieden werden oder durch die Miner mit ihren Anteilen nach entsprechender Rechenkapazität.¹⁰⁰

Auch Ethereum arbeitet nach dem Off-Chain-Prinzip. Kritik macht sich an dieser Governance-Struktur vor allen Dingen daran fest, dass wenige Anreize zur Weiterentwicklung

⁹⁵ Schäfer (o.D.).

⁹⁶ Dülpers (2017).

⁹⁷ Heckmann und Schmid (2017).

⁹⁸ Siehe im Folgenden: A.T. (2018).

⁹⁹ Es wird unterschieden zwischen „Soft Fork“ und „Hard Fork“. Erstere ist abwärtskompatibel zur bisherigen Version der Software, letztere nicht.

¹⁰⁰ O.A. (o.D.(a)).

bestehen und aufgrund der kleinen Gruppe von Entwicklern Einflussmöglichkeiten (z. B. Bestechung) möglich sind.

Im Gegensatz zu Bitcoin und Ethereum existieren andere Blockchains mit einer Governance *innerhalb der Blockchain* selbst (*On-Chain*), z. B. Tezos. Dort werden Entwickler entlohnt, indem sie für neu entwickelte Upgrades durch die Nutzer der Blockchain bezahlt werden. Dagegen wird argumentiert, dass der Kontrollprozess stark abgeschwächt wird, wenn Updates automatisiert übernommen werden. Miner könnten zwar die Änderungen ablehnen und ihre eigene Kette generieren. Dies wäre aber mit erheblichem Aufwand verbunden. Wenn über Upgrades nach den Anteilen an der Blockchain entschieden wird, würde dies auch diejenigen bevorteilen, die bereits hohe Anteile an der Blockchain besitzen. Letztlich könnten Mining-Kartelle entstehen.

4.3.1.2 Folgen für den Energiesektor

Vor dem Hintergrund der Frage, welchen rechtlichen Charakter die Smart Contracts besitzen, scheint es notwendig, klare Verantwortlichkeiten zu definieren, insbesondere wenn netzseitige Anwendungen betroffen sind. Existieren perspektivisch markt- und netzseitige Blockchain-Lösungen, so sollte das System so organisiert sein, dass bei gegenläufig wirkenden Handlungsausführungen durch Smart Contracts eine Rückverfolgung der Verantwortlichkeiten möglich ist. Im besten Fall sind markt- und netzseitige Lösungen aufeinander abgestimmt, z. B. durch entsprechende Nebenbedingungen bezüglich der Kapazitätsauslastung des Netzes.

Bezüglich der Governance-Struktur setzen die in Abschnitt 3.1 beschriebenen Beispiele auf bestehenden Blockchain-Plattformen, insbesondere Ethereum, auf. Die Möglichkeit auf Entwicklungen der Anwendungsumgebung Einfluss zu nehmen, hält sich somit in Grenzen. Im übertragenen Sinn ist dennoch von Bedeutung, was bei den Anwendungsfällen innerhalb und was außerhalb der Blockchain geregelt wird.

Hier sind vielfältige Lösungen denkbar, die im Moment in den Projekten getestet werden. Letztlich fällt alles auf die Frage zurück, wer die Regeln bestimmt und wer Verantwortung trägt. Es existiert hier ein Wettbewerb von Anbietern von Applikationen, die Regeln sind auf die Kundenwünsche zugeschnitten und fallen je nach Anwendung unterschiedlich aus. Zur Frage, welche Prozesse auf die Blockchain verlagert werden können, bedarf es daher eines Konsenses der betroffenen Akteure bzw. es muss in die entsprechenden Rahmenbedingungen gegossen werden. In diesem Sinne sollte sich auch die Regulierung entsprechend weiterentwickeln, indem die genannten Aspekte perspektivisch entsprechend in die Marktprozesse integriert werden.

4.3.1.3 Folgen für den Telekommunikationssektor

Analog zum Energiesektor setzen die in Kapitel 3.2 beschriebenen Lösungen im Telekommunikationssektor ebenfalls nur auf solche Blockchain-Technologien auf, die komplexe Smart Contracts ermöglichen, wie etwa Ethereum. Damit kann ebenfalls nur sehr begrenzt auf Entwicklung im Bereich der Anwendungsumgebung Einfluss genommen werden.

Im Anwendungsfall des Roaming müssen sämtliche Dienste in den betroffenen Mobilfunk-Netzwerken, die ein Roaming-Nutzer in Anspruch nehmen kann, genau spezifiziert werden und in dem Smart Contract hinterlegt werden. Dagegen kann beim Anwendungsfall IoT von einer noch höheren Komplexität ausgenommen werden, wenn besonders viele IoT-Devices miteinander kommunizieren müssen. Dies liegt daran, dass eventuell neue Zulieferer und Kunden dem Netzwerk beitreten und die Transaktionen mit neuen Mitgliedern ebenfalls genau spezifiziert und in der Blockchain hinterlegt werden müssen. Bei einem sehr großen Maschinenpark kann man von einer sehr komplexen Dynamik ausgehen, die in den Mechanismen des Smart Contract hinterlegt werden muss. ¹⁰¹

4.3.2 Datenvolumen und Standardisierung

4.3.2.1 Fragestellung

Die Frage, welche Abläufe innerhalb und welche außerhalb der Blockchain ablaufen sollen, spielt auch in einem anderen Zusammenhang eine Rolle. Es geht dabei weniger um Verantwortlichkeiten sondern vielmehr um die Frage der Handhabung von Prozessen, die immer mehr Datenvolumen einnehmen. In die Blockchain werden idealerweise nur die Dinge geschrieben, die nachvollziehbar und überprüfbar sein müssen. Es wird gewissermaßen nur ein Fingerabdruck der dahinterliegenden Transaktion abgebildet.

Eine Möglichkeit zur Reduktion des Datenvolumens und damit zur Skalierbarkeit besteht in der Realisierung sog. „State-Channels“. Je mehr Transaktionen stattfinden, desto eher kann es Sinn machen, diese bilateral außerhalb der Blockchain auszuführen und dann nach einer gewissen Anzahl an Transaktionen, einer gewissen Zeit oder einem gewissen Umsatz als Summe in die Blockchain zu schreiben. Dadurch können die Transaktionen schneller und günstiger ausgeführt werden.¹⁰² Die einzelnen Transaktionen werden durch die beiden beteiligten Akteure signiert. Besteht Zweifel an deren Richtigkeit, können sie über einen Smart Contract entsprechend validiert werden.¹⁰³

¹⁰¹ Deloitte (2016).

¹⁰² Tual (2017).

¹⁰³ Tual (2017).

Eine weitere Möglichkeit zur Handhabung von Prozessen besteht darin, die Kette nach einer gewissen Zeit oder bei Erreichung eines bestimmten Volumens gewissermaßen abzuschneiden bzw. eine neue Blockchain zu eröffnen. Dies ist in erster Linie bei privaten Blockchains denkbar.

Schließlich existieren bereits sehr viele unterschiedliche Blockchains. Im Zuge einer weiteren Automatisierung der Wirtschaft sollten verschiedene Blockchains miteinander kommunizieren können bzw. kompatibel sein, um sich in den Anwendungen nicht selbst zu beschränken. An diesem Thema wird z. B. im Projekt „Polkadot“ gearbeitet.¹⁰⁴ Dabei steht als Ziel, eine Interoperabilität verschiedener Blockchains zu gewährleisten. Dadurch soll die Skalierbarkeit gewährleistet sowie die Sicherheit erhöht werden.¹⁰⁵

Schließlich sei darauf hingewiesen, dass ISO, die weltweit größte Standardisierungsorganisation, das Technische Komitee Blockchain und Distributed Accounting (ISO / TC 307) ins Leben gerufen hat, um die Entwicklung internationaler Standards im Bereich der Blockchain- und Distributed-Ledger-Technologie zu fördern.¹⁰⁶

4.3.2.2 Folgen für den Energie- und den Telekommunikationssektor

Auch im Energie- und Telekommunikationssektor kann sich perspektivisch die Frage stellen, wie Blockchain-Prozesse verschlankt bzw. beschleunigt werden können. Dies gilt insbesondere bezüglich des Anspruchs, Netzzustände nahe Echtzeit zu erfassen bzw. zu steuern. Sollte sich hier die Blockchain-Technologie durchsetzen, gilt es, die oben skizzierten Ansätze frühzeitig zu verfolgen und geeignete Lösungen zu adaptieren.

¹⁰⁴ Das Polkadot-Projekt wurde von der Web3 Foundation initiiert. Mehr unter: <https://polkadot.network/>.

¹⁰⁵ Polkadot (2017).

¹⁰⁶ Vidrih (2018).

5 Handlungsempfehlungen und Ausblick

Die Blockchain hat sich in den letzten Jahren insofern weiterentwickelt, als dass durch Smart Contracts Anwendungsfelder zunehmend dort liegen, wo Digitalisierung und insbesondere Automatisierung Prozesse effizienter und günstiger machen können.

Für den Bereich der Energiewirtschaft gilt es zunächst, die Potenziale der Blockchain in den einzelnen Anwendungen zu erfassen und realisierbare bzw. realisierte Lösungen mit den gegebenen Rahmenbedingungen abzugleichen. Dazu können Feldtests hilfreich sein, in denen vom bestehenden Rechtsrahmen abgewichen werden kann.

Parallel dazu sollte der rechtliche Charakter der Smart Contracts geklärt bzw. die entsprechende Rechtsauslegung dazu analysiert und beobachtet werden. Da es sich bei den Strom- und Gasnetzen um kritische Infrastrukturen handelt, müssen die Zuständigkeiten eindeutig geregelt sein.

Innerhalb der Anwendungsfelder werden voraussichtlich unterschiedliche technische Lösungen implementiert werden. Diese sollten im Hinblick auf die anstehenden Veränderungen durch den Smart-Meter-Rollout dahingehend geeignet sein, dass keine doppelten Infrastrukturen entstehen, sondern die Messdaten aus den intelligenten Messsystemen entsprechend genutzt werden, soweit dies möglich ist. Bisher sind die Systeme noch nicht „blockchain-ready“, so dass die intelligenten Messsysteme in Form von Orakeln eingebunden werden könnten.

Perspektivisch werden sich Überschneidungen bei den einzelnen Anwendungsfeldern ergeben. Während heute überwiegend an Einzellösungen mit Blockchain getestet wird, existieren (automatisch) Berührungspunkte zwischen Lösungen im Markt- und Netzumfeld. Insbesondere ist davon auszugehen, dass bestimmte Daten (z. B. Messwerte) von mehreren Parteien für Blockchain-Lösungen genutzt werden. So könnte beispielsweise die Einbindung des Netzbetreibers in einen lokalen Marktplatz dafür sorgen, dass dieser stets über die voraussichtlichen Netzkapazitäten informiert ist und entsprechend agieren kann. Langfristig sollten die verschiedenen Blockchains interoperabel sein, oder es sollte sich auf eine Blockchain geeinigt werden. Letzteres dürfte aber nur mit erheblichem Mehraufwand bzw. einer rechtlichen Regelung zu realisieren sein.

Hinsichtlich der Regulierung sind die allgemein mit der Digitalisierung aufgeworfene Frage der CAPEX- / OPEX-Differenzierung in der Anreizregulierung und die Frage der Datenhoheit weitere Themenfelder, die beachtet werden sollten.

Auch im Bereich Telekommunikation gilt es zunächst, die Potenziale von Blockchain- und Distributed-Ledger-Technologien zu eruieren. Nach der erfolgreichen Umsetzung unter Laborbedingungen kann dies zunächst im Rahmen von Pilotprojekten getestet werden. In den möglichen Anwendungsbereichen Auslandsroaming und Internet of Things scheint es empfehlenswert, einen Fokus auf die Skalierbarkeit zu legen. Da etwa Bitcoin und Ethereum derzeit nur eine sehr begrenzte Anzahl von Transaktionen in

einem Zeitraum zulassen, sollte darüber nachgedacht werden, mit welchen Technologien eine hinreichend hohe Zahl an Transaktionen sichergestellt werden kann.

Für die Anwendungsfelder gilt es außerdem, einheitliche Standards und Rahmenbedingungen zu entwickeln und implementieren, die eine breite Nutzung von Blockchain- und Distributed-Ledger-Technologien ermöglichen. In Hinblick auf Fragen zum Datenschutz gilt es klären, ob und wie die Verwendung von personenbezogenen Daten in Einklang mit dem bestehenden Regelwerk zur Speicherung von Daten gebracht werden kann, insbesondere bei der Fragen, welche Daten im Smart Contract bzw. in der Blockchain hinterlegt werden dürfen.

Literatur

- Albrecht, S. u. J. Strüker (2018): Wo stehen Blockchain-basierte Geschäftsmodelle heute? – Ein Zwischenstand, bitkom Digital Energy Conference - 07.06. 2018.
- BDEW [Bundesverband der Energie und Wasserwirtschaft e.V.](2017): Blockchain in der Energiewirtschaft, Potenziale für Energieversorger.
- Boesche, K.V. (2014): Kommentar zu § 3 EnWG, in: Säcker, F.J. (Hrsg.): Energierecht, Berliner Kommentar, Band 1, 3. Auflage.
- BitInfoCharts (2018): Cryptocurrency statistics, abrufbar unter: <https://bitinfocharts.com>, zuletzt abgerufen am: 18.09.2018.
- Blockchainhub (o.D.): Blockchains & Distributed-Ledger-Technologies, abrufbar unter: <https://blockchainhub.net/blockchains-and-distributed-ledger-technologies-in-general/>, zuletzt abgerufen am: 17.09.2018.
- Blockspain (2018): Blockchain speeds & the scalability debate, verfügbar unter: <https://blockspain.com/2018/02/28/transaction-speeds/>, zuletzt abgerufen am: 30.11.2018.
- Brandt, J.C. und T. Werner (2018): Von Blockchain, Smart Contracts, Token und DAO – Erste Begriffsbestimmungen, in: VDI Technologiezentrum GmbH (Hrsg.): Blockchain – Eine Technologie mit disruptivem Charakter, Potenziale und Herausforderungen, Version 1.0.
- Brenneis, F. (2017): Warum „Private Blockchains“ Unfug sind., abrufbar unter: <https://coinspondent.de/2017/07/13/warum-private-blockchains-unfug-sind/>, zuletzt abgerufen am: 18.09.2018.
- BTC ECHO (o.D.(a)): Wie funktioniert eine Transaktion?, abrufbar unter: <https://www.btc-echo.de/tutorial/wie-funktioniert-eine-bitcoin-transaktion/>, zuletzt abgerufen am 07.03.2019.
- BTC ECHO (o.D.(b)): Was ist Proof-of-Work?, abrufbar unter: <https://www.btc-echo.de/tutorial/was-ist-proof-of-work-wie-funktioniert-konsens-mechanismus/>, zuletzt abgerufen am: 12.09.2018.
- Bundesnetzagentur (2016): Beschluss vom 7.4.2016, BK 6-15-166.
- Curran, P. (2018): What is Proof of Authority Consensus? Staking Your Identity on The Blockchain, abrufbar unter: <https://blockonomi.com/proof-of-authority/>, zuletzt abgerufen am: 14.08.2018.
- Deloitte (2016): Blockchain @ Telco - How blockchain can impact the telecommunications industry and its relevance to the C-Suite, verfügbar unter: https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/za/Documents/technology-media-telecommunications/za_TMT_Blockchain_TelCo.pdf, zuletzt abgerufen am: 30.11.2018.
- Deutscher Bundestag (2011): Gesetzentwurf der Fraktionen der CDU/CSU und FDP, Entwurf eines Gesetzes zur Neuregelung energiewirtschaftsrechtlicher Vorschriften, Drucksache 17/6072.
- Dierks, S. (2018): Wuppertaler Blockchain-Plattform wächst., energate, 18.05.2018.

- Dülpers, C. (2017): „Smart contracts sind weder smart noch contracts“, Digital-Anwältin warnt vor dem Blockchain-Hype, abrufbar unter: <https://www.lto.de/recht/zukunft-digitales//legal-tech-smart-contracts-blockchain-content-marketing/2/>, zuletzt abgerufen am: 21.11.2018.
- digiconomist (2018): o.T., abrufbar unter: <https://digiconomist.net/bitcoin-energy-consumption>, zuletzt abgerufen am: 12.09.2018.
- Eberle, A. (2018): Informatikerin kritisiert Ethereums' Casper, abrufbar unter: <https://coincierge.de/2018/informatikerin-kritisiert-ethereums-casper/>, zuletzt abgerufen am: 14.08.2018.
- EWf [Energy Web Foundation] (2018): The Energy Web Chain: Accelerating the Energy Transition with an Open-Source, Decentralized Blockchain Platform, White Paper, Version 1.0, Oktober 2018, abrufbar unter <https://energyweb.org/papers/>, zuletzt abgerufen am 26.10.2018.
- FfE [Forschungsstelle für Energiewirtschaft] (2018): Die Blockchain-Technologie, Chance zur Transformation der Energiewirtschaft?, Berichtsteil: Anwendungsfälle.
- Freuden, D. (2018): Hybrid blockchains: The best of both chains, abrufbar unter: <https://blog.coinspector.com/2018/06/04/hybrid-blockchain-the-best-of-both-chains/>, zuletzt abgerufen am: 18.09.2018.
- Graupner, S. (2017): Kryptowährungen Bitcoin oder IOTA: wo liegt der Unterschied und was hat mehr Substanz?, verfügbar unter: <https://www.fool.de/2017/12/05/kryptowaehrungen-bitcoin-oder-iota-wo-liegt-der-unterschied-und-was-hat-mehr-substanz/>, zuletzt abgerufen am: 30.11.2018.
- Heckmann, D. und A. Schmid (2017): Blockchain und Smart Contracts, Recht und Technik im Überblick, Eine vbw Studie, erstellt vom Lehrstuhl für Öffentliches Recht, Sicherheitsrecht und Internetrecht, Universität Passau,.
- Jayachandran, P. (2017): The difference between public and private blockchain, abrufbar unter: <https://www.ibm.com/blogs/blockchain/2017/05/the-difference-between-public-and-private-blockchain/>, zuletzt abgerufen am: 18.09.2018.
- KIT [Karlsruher Institut für Technologie](2017): LAMP Projekt, abrufbar unter: https://im.iism.kit.edu/1093_2058.php, zuletzt abgerufen am: 20.09.2018.
- Lange, G. (2018): Bitcoin Mining verursacht im Jahr so viel CO2 wie 1 Million Transatlantik Flüge, 21.08.2018, abrufbar unter: <https://kryptoszene.de/bitcoin-mining-verursacht-im-jahr-so-viel-co2-wie-1-million-transatlantik-fluege/>, zuletzt abgerufen am: 12.09.2018.
- Narula, N. (2017): Cryptographic vulnerabilities in IOTA, verfügbar unter: <https://medium.com/@neha/cryptographic-vulnerabilities-in-iota-9a6a9ddc4367>, zuletzt abgerufen am: 30.11.2018.
- Marcus, J.S.; Gries, C.; Wernick, C.; Philbeck, I. (2016): Entwicklungen im internationalen Mobile Roaming unter besonderer Berücksichtigung struktureller Lösungen, WIK-Diskussionsbeitrag Nr. 403.
- Meunier, S. (2018): When do you need blockchain? Decision models. abrufbar unter: <https://medium.com/@sbmeunier/when-do-you-need-blockchain-decision-models-a5c40e7c9ba1>, zuletzt abgerufen am: 31.10.2018.

- Monetha (2018): Proof of Work vs Proof of Stake – EXPLAINED!, abrufbar unter: <https://blog.monetha.io/proof-work-vs-proof-stake-explained/>, zuletzt abgerufen am: 14.08.2018.
- Neumann, S., Demidova, E. und M. Kohlhoff (2017): Potenziale der Blockchain in der Energiewirtschaft, Grundlagen und Anwendungsbeispiel im Abrechnungsprozess, in: ew Spezial I, 2017, S. 20-26.
- Niemann, C. (2017): Orakel-Dienste speisen externe Informationen in die Blockchain., in: JavaSPEKTRUM 03/2017, S.14-17.
- Noller, S. und C. Pfeiffer (2017): Blockchain aus Sicht eines Datenschutzbeauftragten, in: Datenschutz-Berater, Nr. 09/2017, S. 182 – 184.
- O.A. (o.D.(a)): Was sind Soft und Hard Fork?, in BTC Echo, abrufbar unter: <https://www.btc-echo.de/tutorial/der-fork-guide-was-ist-eine-fork-und-welche-arten-gibt-es-soft-fork-hard-fork-uasf-masf/>, zuletzt abgerufen am: 22.11.2018.
- O.A. (o.D.(b)): Forum Iota, verfügbar unter: <https://forum.iota.org>, zuletzt abgerufen am: 30.11.2018.
- OLG Stuttgart (2010): Beschluss vom 27.05.2010 - 202 EnWG 1/10.
- Polkadot (2017): Polkadot Lightpaper, abrufbar unter: <https://polkadot.network/Polkadot-lightpaper.pdf>, zuletzt abgerufen am: 28.11.2018.
- Prinz, W. (2018): Interview zum Thema Blockchain in der Energiewirtschaft, 29.10.2018.
- Schäfer, Y. (o.D.): Smart Contracts – Intelligente Verträge der Zukunft?, abrufbar unter: <https://www.skwschwarz.de/aktuelles/artikel/artikel-detail/news/smart-contracts-intelligente-vertraege-der-zukunft/4/detail/News/>, zuletzt abgerufen am: 21.11.2018.
- Schlatt, V., Schweizer, A., Urbach, N. und G. Fridgen (2016): Blockchain: Grundlagen, Anwendungen und Potenziale, in: Fraunhofer FIT, Dezember, 2016, S. 1-54.
- Skopetz, H. (2017): Smart Contracts in der Energiewirtschaft, 116 – Energy, Environment & Transportation.
- Smole, E. (2018): Telefonisches Interview zum Thema Blockchain in der Energiewirtschaft, 24.10.2018.
- statista (2018): Size of the Bitcoin blockchain from 2010 to 2018, by quarter (in megabytes), abrufbar unter: <https://www.statista.com/statistics/647523/worldwide-bitcoin-blockchain-size/>, zuletzt abgerufen am: 18.09.2018.
- Suichies, B. (2016): Why Blockchain must die in 2016, abrufbar unter: <https://medium.com/@bsuichies/why-blockchain-must-die-in-2016-e992774c03b4>, zuletzt abgerufen am: 05.11.2018.
- T, A. (2018): On Chain VS. Off Chain Governance: The Ins And Outs, abrufbar unter: <https://coinjournal.net/on-chain-vs-off-chain-governance-the-ins-and-outs/>, zuletzt abgerufen am: 22.11.2018.
- Tar, A. (2018): Proof-of-Work, Erklärt, abrufbar unter: <https://de.cointelegraph.com/explained/proof-of-work-explained>, zuletzt abgerufen am: 14.08.2018.

- Tual, S. (2017): What are State Channels?, abrufbar unter: <https://blog.stephantual.com/what-are-state-channels-32a81f7accab>, zuletzt abgerufen am: 28.11.2018.
- Vidrih, M. (2018): The Blockchain International Standardization Organization: China Will Dominate, abrufbar unter: <https://blog.goodaudience.com/the-blockchain-international-standardization-organization-china-will-dominate-b7d423904bfb>, zuletzt abgerufen am: 28.11.2018.
- Voshmgir, S. (2016): Blockchains, Smart Contracts und das Dezentrale Web, verfügbar unter: https://www.technologiestiftung-berlin.de/fileadmin/daten/media/publikationen/170130_BlockchainStudie.pdf., zuletzt abgerufen am: 30.11.2018.
- Weiprecht, A. (2017): Das Märchen vom Mining Pool, in: Krypto Magazin, FAQ, 28.08.2017, abrufbar unter: <https://www.krypto-magazin.de/das-maerchen-vom-mining-pool/>, zuletzt abgerufen am: 12.09.2018.
- WSW [Wuppertaler Stadtwerke] (2017): Wuppertaler Stadtwerke starten ersten Blockchain-Handelsplatz für Ökostrom, verfügbar unter: <https://www.wsw-online.de/unternehmen/presse-medien/presseinformationen/pressemeldung/meldung/wuppertaler-stadtwerke-starten-ersten-blockchain-handelsplatz-fuer-oekostrom/>, zuletzt abgerufen am: 19.11.2018.
- Xintec (2015): Survey of Global Fraud Trends, verfügbar unter: https://www.xintec.com/FraudStrike_Infographic_PDF.pdf, zuletzt abgerufen am: 30.11.2018.

Als "Diskussionsbeiträge" des Wissenschaftlichen Instituts für Infrastruktur und Kommunikationsdienste sind zuletzt erschienen:

- Nr. 364: Christine Müller, Andrea Schweinsberg:
Vom Smart Grid zum Smart Market – Chancen einer plattformbasierten Interaktion, Januar 2012
- Nr. 365: Franz Büllingen, Annette Hillebrand, Peter Stamm, Anne Stetter:
Analyse der Kabelbranche und ihrer Migrationsstrategien auf dem Weg in die NGA-Welt, Februar 2012
- Nr. 366: Dieter Elixmann, Christin-Isabel Gries, J. Scott Marcus:
Netzneutralität im Mobilfunk, März 2012
- Nr. 367: Nicole Angenendt, Christine Müller, Marcus Stronzik:
Elektromobilität in Europa: Ökonomische, rechtliche und regulatorische Behandlung von zu errichtender Infrastruktur im internationalen Vergleich, Juni 2012
- Nr. 368: Alex Kalevi Dieke, Petra Junk, Sonja Thiele, Martin Zauner:
Kostenstandards in der Ex-Post-Preiskontrolle im Postmarkt, Juni 2012
- Nr. 369: Ulrich Stumpf, Stefano Lucidi:
Regulatorische Ansätze zur Vermeidung wettbewerbswidriger Wirkungen von Triple-Play-Produkten, Juni 2012
- Nr. 370: Matthias Wissner:
Marktmacht auf dem Primär- und Sekundär-Regelenergiemarkt, Juli 2012
- Nr. 371: Antonia Niederprüm, Sonja Thiele:
Prognosemodelle zur Nachfrage von Briefdienstleistungen, Dezember 2012
- Nr. 372: Thomas Plückebaum, Matthias Wissner:
Bandbreitenbedarf für Intelligente Stromnetze, 2013
- Nr. 373: Christine Müller, Andrea Schweinsberg:
Der Netzbetreiber an der Schnittstelle von Markt und Regulierung, 2013
- Nr. 374: Thomas Plückebaum:
VDSL Vectoring, Bonding und Phantoming: Technisches Konzept, marktliche und regulatorische Implikationen, Januar 2013
- Nr. 375: Gernot Müller, Martin Zauner:
Einzelwagenverkehr als Kernelement eisenbahnbezogener Güterverkehrskonzepte?, Dezember 2012
- Nr. 376: Christin-Isabel Gries, Imme Philbeck:
Marktentwicklungen im Bereich Content Delivery Networks, April 2013
- Nr. 377: Alessandro Monti, Ralf Schäfer, Stefano Lucidi, Ulrich Stumpf:
Kundenbindungsansätze im deutschen TK-Markt im Lichte der Regulierung, Februar 2013
- Nr. 378: Tseveen Gantumur:
Empirische Erkenntnisse zur Breitbandförderung in Deutschland, Juni 2013
- Nr. 379: Marcus Stronzik:
Investitions- und Innovationsanreize: Ein Vergleich zwischen Revenue Cap und Yardstick Competition, September 2013
- Nr. 380: Dragan Ilic, Stephan Jay, Thomas Plückebaum, Peter Stamm:
Migrationsoptionen für Breitbandkabelnetze und ihr Investitionsbedarf, August 2013
- Nr. 381: Matthias Wissner:
Regulierungsbedürftigkeit des Fernwärmesektors, Oktober 2013
- Nr. 382: Christian M. Bender, Alex Kalevi Dieke, Petra Junk, Sonja Thiele:
Netzzugang im Briefmarkt, Oktober 2013
- Nr. 383: Andrea Liebe, Christine Müller:
Energiegenossenschaften im Zeichen der Energiewende, Januar 2014

- Nr. 384: Christan M. Bender, Marcus Stronzik:
Verfahren zur Ermittlung des sektoralen Produktivitätsfortschritts - Internationale Erfahrungen und Implikationen für den deutschen Eisenbahninfrastruktursektor, März 2014
- Nr. 385: Franz Büllingen, Annette Hillebrand, Peter Stamm:
Die Marktentwicklung für Cloud-Dienste - mögliche Anforderungen an die Netzinfrastruktur, April 2014
- Nr. 386: Marcus Stronzik, Matthias Wissner:
Smart Metering Gas, März 2014
- Nr. 387: René Arnold, Sebastian Tenbrock:
Bestimmungsgründe der FTTP-Nachfrage, August 2014
- Nr. 388: Lorenz Nett, Stephan Jay:
Entwicklung dynamischer Marktszenarien und Wettbewerbskonstellationen zwischen Glasfasernetzen, Kupfernetzen und Kabelnetzen in Deutschland, September 2014
- Nr. 389: Stephan Schmitt:
Energieeffizienz und Netzregulierung, November 2014
- Nr. 390: Stephan Jay, Thomas Plückerbaum:
Kostensenkungspotenziale für Glasfaseranschlusnetze durch Mitverlegung mit Stromnetzen, September 2014
- Nr. 391: Peter Stamm, Franz Büllingen:
Stellenwert und Marktperspektiven öffentlicher sowie privater Funknetze im Kontext steigender Nachfrage nach nomadischer und mobiler hochbitratiger Datenübertragung, Oktober 2014
- Nr. 392: Dieter Elixmann, J. Scott Marcus, Thomas Plückerbaum:
IP-Netzzusammenschaltung bei NGN-basierten Sprachdiensten und die Migration zu All-IP: Ein internationaler Vergleich, November 2014
- Nr. 393: Stefano Lucidi, Ulrich Stumpf:
Implikationen der Internationalisierung von Telekommunikationsnetzen und Diensten für die Nummernverwaltung, Dezember 2014
- Nr. 394: Rolf Schwab:
Stand und Perspektiven von LTE in Deutschland, Dezember 2014
- Nr. 395: Christian M. Bender, Alex Kalevi Dieke, Petra Junk, Antonia Niederprüm:
Produktive Effizienz von Postdienstleistern, November 2014
- Nr. 396: Petra Junk, Sonja Thiele:
Methoden für Verbraucherbefragungen zur Ermittlung des Bedarfs nach Post-Universaldienst, Dezember 2014
- Nr. 397: Stephan Schmitt, Matthias Wissner:
Analyse des Preissetzungsverhaltens der Netzbetreiber im Zähl- und Messwesen, März 2015
- Nr. 398: Annette Hillebrand, Martin Zauner:
Qualitätsindikatoren im Brief- und Paketmarkt, Mai 2015
- Nr. 399: Stephan Schmitt, Marcus Stronzik:
Die Rolle des generellen X-Faktors in verschiedenen Regulierungsregimen, Juli 2015
- Nr. 400: Franz Büllingen, Solveig Börnsen:
Marktorganisation und Marktrealität von Machine-to-Machine-Kommunikation mit Blick auf Industrie 4.0 und die Vergabe von IPv6-Nummern, August 2015
- Nr. 401: Lorenz Nett, Stefano Lucidi, Ulrich Stumpf:
Ein Benchmark neuer Ansätze für eine innovative Ausgestaltung von Frequenzgebühren und Implikationen für Deutschland, November 2015
- Nr. 402: Christian M. Bender, Alex Kalevi Dieke, Petra Junk:
Zur Marktabgrenzung bei Kurier-, Paket- und Expressdiensten, November 2015
- Nr. 403: J. Scott Marcus, Christin Gries, Christian Wernick, Imme Philbeck:
Entwicklungen im internationalen Mobile Roaming unter besonderer Berücksichtigung struktureller Lösungen, Januar 2016

- Nr. 404: Karl-Heinz Neumann, Stephan Schmitt, Rolf Schwab unter Mitarbeit von Marcus Stronzik:
Die Bedeutung von TAL-Preisen für den Aufbau von NGA, März 2016
- Nr. 405: Caroline Held, Gabriele Kulenkampff, Thomas Plückerbaum:
Entgelte für den Netzzugang zu staatlich geförderter Breitband-Infrastruktur, März 2016
- Nr. 406: Stephan Schmitt, Matthias Wissner:
Kapazitätsmechanismen – Internationale Erfahrungen, April 2016
- Nr. 407: Annette Hillebrand, Petra Junk:
Paketshops im Wettbewerb, April 2016
- Nr. 408: Tseveen Gantumur, Iris Henseler-Unger, Karl-Heinz Neumann:
Wohlfahrtsökonomische Effekte einer Pure LRIC - Regulierung von Terminierungsentgelten, Mai 2016
- Nr. 409: René Arnold, Christian Hildebrandt, Martin Waldburger:
Der Markt für Over-The-Top Dienste in Deutschland, Juni 2016
- Nr. 410: Christian Hildebrandt, Lorenz Nett:
Die Marktanalyse im Kontext von mehrseitigen Online-Plattformen, Juni 2016
- Nr. 411: Tseveen Gantumur, Ulrich Stumpf:
NGA-Infrastrukturen, Märkte und Regulierungsregime in ausgewählten Ländern, Juni 2016
- Nr. 412: Alex Dieke, Antonia Niederprüm, Sonja Thiele:
UPU-Endvergütungen und internationaler E-Commerce, September 2016 (in deutscher und englischer Sprache verfügbar)
- Nr. 413: Sebastian Tenbrock, René Arnold:
Die Bedeutung von Telekommunikation in intelligent vernetzten PKW, Oktober 2016
- Nr. 414: Christian Hildebrandt, René Arnold:
Big Data und OTT-Geschäftsmodelle sowie daraus resultierende Wettbewerbsprobleme und Herausforderungen bei Datenschutz und Verbraucherschutz, November 2016
- Nr. 415: J. Scott Marcus, Christian Wernick:
Ansätze zur Messung der Performance im Best-Effort-Internet, November 2016
- Nr. 416: Lorenz Nett, Christian Hildebrandt:
Marktabgrenzung und Marktmacht bei OTT-0 und OTT-1-Diensten, Eine Projektskizze am Beispiel von Instant-Messenger-Diensten, Januar 2017
- Nr. 417: Peter Kroon:
Maßnahmen zur Verhinderung von Preis-Kosten-Scheren für NGA-basierte Dienste, Juni 2017
- Nr. 419: Stefano Lucidi:
Analyse marktstruktureller Kriterien und Diskussion regulatorischer Handlungsoptionen bei engen Oligopolen, April 2017
- Nr. 420: J. Scott Marcus, Christian Wernick, Tseveen Gantumur, Christin Gries:
Ökonomische Chancen und Risiken einer weitreichenden Harmonisierung und Zentralisierung der TK-Regulierung in Europa, Juni 2017
- Nr. 421: Lorenz Nett:
Incentive Auctions als ein neues Instrument des Frequenzmanagements, Juli 2017
- Nr. 422: Christin Gries, Christian Wernick:
Bedeutung der embedded SIM (eSIM) für Wettbewerb und Verbraucher im Mobilfunkmarkt, August 2017
- Nr. 423: Fabian Queder, Nicole Angenendt, Christian Wernick:
Bedeutung und Entwicklungsperspektiven von öffentlichen WLAN-Netzen in Deutschland, Dezember 2017
- Nr. 424: Stefano Lucidi, Bernd Sörries, Sonja Thiele:
Wirksamkeit sektorspezifischer Verbraucherschutzregelungen in Deutschland, Januar 2018

- Nr. 425: Bernd Sörries, Lorenz Nett:
Frequenzpolitische Herausforderungen durch das Internet der Dinge - künftiger Frequenzbedarf durch M2M-Kommunikation und frequenzpolitische Handlungsempfehlungen, März 2018
- Nr. 426: Saskja Schäfer, Gabriele Kulenkampff, Thomas Plückebaum unter Mitarbeit von Stephan Schmitt:
Zugang zu gebäudeinterner Infrastruktur und adäquate Bepreisung, April 2018
- Nr. 427: Christian Hildebrandt, René Arnold:
Marktbeobachtung in der digitalen Wirtschaft – Ein Modell zur Analyse von Online-Plattformen, Mai 2018
- Nr. 428: Christin Gries, Christian Wernick:
Treiber und Hemmnisse für kommerziell verhandelten Zugang zu alternativen FTTB/H-Netzinfrastrukturen, Juli 2018
- Nr. 429: Serpil Taş, René Arnold:
Breitbandinfrastrukturen und die künftige Nutzung von audiovisuellen Inhalten in Deutschland: Herausforderungen für Kapazitätsmanagement und Netzneutralität, August 2018
- Nr. 430: Sebastian Tenbrock, Sonia Strube Martins, Christian Wernick, Fabian Queder, Iris Henseler-Unger:
Co-Invest Modelle zum Aufbau von neuen FTTB/H-Netzinfrastrukturen, August 2018
- Nr. 431: Johanna Bott, Christian Hildebrandt, René Arnold:
Die Nutzung von Daten durch OTT-Dienste zur Abschöpfung von Aufmerksamkeit und Zahlungsbereitschaft: Implikationen für Daten- und Verbraucherschutz, Oktober 2018
- Nr. 432: Petra Junk, Antonia Niederprüm:
Warenversand im Briefnetz, Oktober 2018
- Nr. 433: Christian M. Bender, Annette Hillebrand:
Auswirkungen der Digitalisierung auf die Zustelloogistik, Oktober 2018
- Nr. 434: Antonia Niederprüm:
Hybridpost in Deutschland, Oktober 2018
- Nr. 436: Petra Junk:
Digitalisierung und Briefsubstitution: Erfahrungen in Europa und Schlussfolgerungen für Deutschland, Oktober 2018
- Nr. 437: Peter Kroon, René Arnold:
Die Bedeutung von Interoperabilität in der digitalen Welt – Neue Herausforderungen in der interpersonellen Kommunikation, Dezember 2018
- Nr. 438: Stefano Lucidi, Bernd Sörries:
Auswirkung von Bündelprodukten auf den Wettbewerb, März 2019
- Nr. 439: Christian M. Bender, Sonja Thiele:
Der deutsche Postmarkt als Infrastruktur für europäischen E-Commerce, April 2019
- Nr. 440: Serpil Taş, René Arnold:
Auswirkungen von OTT-1-Diensten auf das Kommunikationsverhalten – Eine nachfrageseitige Betrachtung, Juni 2019
- Nr. 441: Serpil Taş, Christian Hildebrandt, René Arnold:
Sprachassistenten in Deutschland, Juni 2019
- Nr. 442: Fabian Queder, Marcus Stronzik, Christian Wernick:
Auswirkungen des Infrastrukturwettbewerbs durch HFC-Netze auf Investitionen in FTTP-Infrastrukturen in Europa, Juni 2019
- Nr. 443: Lorenz Nett, Bernd Sörries:
Infrastruktur-Sharing und 5G: Anforderungen an Regulierung, neue wettbewerbliche Konstellationen, Juli 2019
- Nr. 444: Pirmin Puhl, Martin Lundborg:
Breitbandzugang über Satellit in Deutschland – Stand der Marktentwicklung und Entwicklungsperspektiven (Juli 2019)
- Nr. 445: Bernd Sörries, Marcus Stronzik, Sebastian Tenbrock, Christian Wernick, Matthias Wissner:
Die ökonomische Relevanz und Entwicklungsperspektiven von Blockchain: Analysen für den Telekommunikations- und Energiemarkt (August 2019)

ISSN 1865-8997