

# Potenziale von Blockchain 2.0 in der Energiewirtschaft – Analyse einer Applikation für einen lokalen Energiemarkt auf Basis von Smart Contracts

Christopher Schwöbel  
Fakultät Wirtschafts- und  
Sozialwissenschaften

Hochschule Osnabrück  
Caprivistrasse 30a  
49076 Osnabrück  
E-Mail:  
christopher.schwoebel@  
t-online.de

Frank Bensberg  
Fakultät Wirtschafts- und  
Sozialwissenschaften

Hochschule Osnabrück  
Caprivistrasse 30a  
49076 Osnabrück  
E-Mail:  
f.bensberg@hs-osnabrueck.de

Christian Gerth  
Fakultät Wirtschafts- und  
Sozialwissenschaften

Hochschule Osnabrück  
Caprivistrasse 30a  
49076 Osnabrück  
E-Mail:  
c.gerth@hs-osnabrueck.de

## ABSTRACT

Die Blockchain-Technologie gestattet in Verbindung mit Smart Contracts die automatische Abwicklung von Peer-to-Peer-Transaktionen ohne zentrale Instanz (Intermediär). Für die deutsche Energiewirtschaft ergeben sich aufgrund der Energiewende und der anhaltenden Digitalisierung disruptive Potenziale. So können durch Nutzung von Blockchain-Technologien Marktprozesse dezentralisiert werden und die Markteffizienz durch sichere Einbindung der unterschiedlichen Akteure und Rollen gesteigert werden. Um die Potenziale für die Energiewirtschaft nachzuweisen, wird eine auf Basis der Ethereum Blockchain realisierte dezentralisierte Anwendung (DApp) in Bezug auf unterschiedliche Wirkungsfelder für einen lokalen Energiemarkt untersucht. Durch Analyse der Funktionalitäten dieser DApp kann gezeigt werden, dass die Blockchain-Technologie die Disintermediation etablierter Marktakteure gestattet und somit Impulse für den nachhaltigen Strukturwandel in der Energiewirtschaft entfaltet. Mögliche Adressaten der erzielten Befunde sind Forschungseinrichtungen, Beratungsunternehmen sowie Entscheidungsträger in der Unternehmenspraxis.

## SCHLÜSSELWÖRTER

Digitalisierung, Blockchain, Smart Contracts, Energiewirtschaft, Energiewende, Smart Grid, Ethereum, Solidity

## PROBLEMSTELLUNG

Aufgrund der Energiewende befindet sich die deutsche Energiewirtschaft derzeit in einem fundamentalen Transformationsprozess (Madlener und Thomes, 2014). Das Umweltbundesamt weist für 2016 einen Anteil erneuerbarer Energien am Bruttostromverbrauch von 31,7 % aus (Umweltbundesamt 2017). Demnach wurde fast ein Drittel des in Deutschland verbrauchten Stroms aus nachhaltigen erneuerbaren Energiequellen gewonnen.

Nach der Fokussierung der Energiepolitik auf den Ausbau der erneuerbaren Energien rücken nunmehr systemische und technologische Fragestellungen, insbesondere vor dem Hintergrund der Digitalisierung, in den Fokus der Entscheidungsträger in Politik, Wirtschaft und Industrie. Ziel ist es dabei, ein ausgewogenes Verhältnis steuerbarer und fluktuierender Erzeugungstechnologien aufrecht zu erhalten. Dabei entsteht zwangsläufig die Herausforderung, Produzenten und Konsumenten regenerativer Energiequellen in die Marktprozesse zu integrieren. Im Zuge dieser Integration ist insbesondere auch das Phänomen zu handhaben, dass Haushalte sowohl als Produzenten als auch als Konsumenten von Energie auftreten können und somit im Energiemarkt als Prosumer agieren. Durch das 2016 verabschiedete Gesetz zur Digitalisierung der Energiewende und den forcierten Ausbau eines intelligenten Energiemarkts kommt der Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT) eine entscheidende Rolle zu. Die Realisierung eines intelligenten Stromnetzes in Form eines Smart Grids erfordert ein optimales Zusammenspiel der Bereiche Netz und Markt. Der durch das Gesetz zur Digitalisierung der Energiewende beschlossene Rollout intelligenter Messsysteme (Smart Meter) kann der erste Schritt sein, um Erzeugung und Verbrauch von Energie besser in Einklang zu bringen und dem Verbraucher Einsparpotenziale zu signalisieren. Auch die zunehmende Anzahl von Geräten mit Anbindung ans Internet der Dinge könnte diesen Trend verstärken. Doch noch sind dies häufig nur informationstechnologische Insellösungen. Es gilt diese übergreifend zu koordinieren respektive zu steuern, um Synergien und Integrationseffekte zu erzielen.

Durch die zunehmende Dezentralisierung der Energieerzeugung wird die Fragestellung aufgeworfen, welche Anwendungspotenziale Blockchain-Technologien in der Energiewirtschaft besitzen. Zur Beantwortung dieser Fragestellung werden zunächst die Grundlagen der Blockchain als Informationstechnologie näher beleuchtet, wobei der Schwerpunkt auf der Ethereum-Blockchain und Smart Contracts liegt. Darauf aufbauend wird die prototypische DApp Marketplace-in-Energy analysiert, die zur Unterstützung des lokalen Energiehandels

von dem Forschungskonsortium BRIE-ETLA initiiert und vom Forschungsprojekt BOND (Blockchains Boosting Finnish Industry) entwickelt wurde. Bei dem Konsortium handelt es sich um eine Zusammenarbeit zwischen dem amerikanischen BRIE (The Berkeley Roundtable on the International Economy) und dem finnischen ETLA (Research Institute of the Finnish Economy). Die Analyse der Funktionalitäten dieser DApp erfolgt im Rahmen eines generischen Akteursmodells für die Energiewirtschaft, auf welches das Evaluationsmodell für Blockchain-basierte IT-Lösungen des japanischen Wirtschaftsministeriums (Takagi et al. 2017, Zile und Strazdina 2018) angewendet wird. Auf diese Weise werden potenzielle Anwendungsfälle und Wirkungsfelder der Blockchain-Technologie im Kontext der Energiewirtschaft abgeleitet. Die Ergebnisse liefern Transparenz über die anwendungsbezogenen Potenziale eines bestehenden, frei verfügbaren IT-Artefakts (DApp) in einem branchenspezifischen Kontext, sodass eine Orientierungsgrundlage für weiterführende Forschungsarbeiten geschaffen wird. Abschließend werden zentrale Ergebnisse der Analyse zusammengefasst und Herausforderungen für die Weiterentwicklung identifiziert.

## **BLOCKCHAIN ALS TRANSFORMATIONALE INFORMATIONSTECHNOLOGIE**

### **Zentrale Merkmale der Blockchain-Technologie**

Blockchain bezeichnet ein dezentrales Transaktionssystem, das ohne Intermediäre, d.h. ohne Vermittler in Form zentraler Instanzen funktioniert. Transaktionen können unmittelbar zwischen zwei Teilnehmern ausgeführt werden, ohne dass Vertrauen gegenüber einer bislang benötigten dritten Partei (Trusted 3rd Party) entgegengebracht werden muss (Voshmgir 2016). Transaktionen sind dabei als Vorgang einer Wertübertragung zu verstehen (Iansiti und Lakhani 2017). Bei der Blockchain handelt es sich um eine Technologie zur Verifikation von Datentransaktionen, die es ermöglicht, zuvor zentral ausgerichtete Informationssysteme zu dezentralisieren. Die Blockchain stellt dabei eine dezentrale Datenbank dar, die im Netzwerk auf einer Vielzahl von Rechnern (sog. Nodes) gespiegelt vorliegt und deren Einträge in Blöcken gruppiert werden (Schlatt et al. 2016). Diese Blöcke sind in chronologischer Reihenfolge über eine kryptographische Signatur miteinander verknüpft. Die Einträge sind als Transaktionen zu verstehen. Zusammengehörige Transaktionen werden in einem Datenblock zusammengefasst und auf Basis eines Konsensmechanismus durch die Teilnehmer der Blockchain validiert. Der neu erzeugte Block wird anschließend an eine Kette bereits validierter Blöcke angehängt und bildet mit diesem die namensgebende Blockchain, zu Deutsch „Blockkette“ (Voshmgir 2016).

Aus technischer Sicht handelt es sich bei der Blockchain um ein verteiltes System bzw. eine verteilte Datenbank. Charakterisiert wird diese durch voneinander unabhängige Netzknoten (Nodes), die miteinander kommunizieren und sich synchronisieren. Der Ausfall einzelner Rechner beeinflusst andere Rechner dabei nicht, da jeder

Netzknoten einen gemeinsamen Status des Systems speichert, sodass der Ausfall einzelner Rechner nicht den (teilweisen) Verlust des Systemstatus impliziert. In Blockchain-Systemen werden die Daten der Blockchain in jedem Knoten redundant gespeichert (Schlatt et al. 2016).

Der Verzicht auf einen Intermediär kennzeichnet dabei das Kern-Charakteristikum der Blockchain-Technologie. Ihr Einsatz ist folglich dann sinnvoll, wenn „[...] komplexe Prozesse mit vielen Akteuren und Verträgen koordiniert werden müssen oder wenn zentral agierende Instanzen zu ersetzen sind“ (Neumann et al. 2017).

Die derzeitige Entwicklungsstufe Blockchain 2.0 ermöglicht darüber hinaus die Nutzung sogenannter Smart Contracts. Dabei handelt es sich um ein digitales Protokoll, das Verträge elektronisch abbildet und dadurch Transaktionen ohne Kontrolle durch Dritte automatisiert ausführen kann (Hasse et al. 2016). Die Entwicklungsstufe Blockchain 3.0 stellt noch ein visionäres Konzept dar. Suggestiert wird hierbei, dass die Blockchain in nahezu alle gesellschaftlichen Lebensbereiche Einzug halten wird (Kastrati und Weissbart 2016). Als mögliche Bereiche werden hierbei vor allem die Finanzdienstleistungen (Banken, Börsen, Versicherungen) sowie die in dieser Arbeit thematisierte Energiewirtschaft genannt (Hasse et al. 2016). Aber auch die Bereiche Gesundheit, Wissenschaft, Kultur und Kunst (Burgwinkel 2017) sowie der öffentliche Bereich (Schlatt et al. 2016) gelten als potenzielle Anwendungsdomänen. Denkbar ist auch, dass sich Smart Contracts zu virtuellen Unternehmen in Form sogenannter DAOs (Decentralised Autonomous Organisation) weiterentwickeln (Hasse et al. 2016).

Um das Potenzial der Blockchain bewerten zu können, ist es notwendig, die zugrundeliegenden Technologien transparent zu machen. Die Blockchain basiert auf den technologischen Grundlagen der asymmetrischen public-key Verschlüsselung, der Hashfunktion im Sinne einer digitalen Signatur sowie des Prinzips des Hash-Baum-Algorithmus (merkle tree). Neben diesen technologischen Grundlagen fußt die Blockchain auf dem Prinzip des gegenseitigen Vertrauens, um einen Intermediär zu substituieren und die Blockchain als Vertrauensinstanz zu etablieren. Ein entsprechendes Belohnungssystem für die Leistungserbringer fungiert als ökonomische Anreizfunktion (Motivation) und sichert die Aufrechterhaltung des Systems.

### **Dezentralisierung**

Die Blockchain Technologie basiert auf der Peer-to-Peer (P2P) Netzwerktechnologie. Bekanntgeworden ist diese Netzwerkstruktur bereits durch Filesharing-Dienste wie etwa dem BitTorrent-Netzwerk in Form von (Musik-)Tauschbörsen Ende der 1990er Jahre (Schütte et al. 2017). Die Dezentralisierung zeichnet sich dadurch aus, dass klassische Client-Server-Architekturen durch die verteilte Blockchain-Technologie substituiert werden. Daraus folgt, dass aus Perspektive der Systemarchitektur keine Instanz mehr existiert, die zentralen Steuerungs- oder Kontrolleinfluss auf das System ausübt. In einem

P2P-Netzwerk fungiert jeder Client durch das Bereitstellen von Rechenleistung zugleich auch als Server (Voshmgir 2016). Die Basisbestandteile der Blockchain sind die namensgebenden Blöcke. Diese enthalten Transaktionen bzw. Daten des jeweiligen Netzwerks. Die Blöcke sind über einen One-Way-Hash basierend auf dem Hash-Baum Algorithmus (auch Merkle-Tree-Algorithmus) miteinander verknüpft. Das bedeutet, dass der Hash von den Transaktionen aus dem vorherigen Block in den nächsten Block der Blockchain eingetragen wird (Burger et al. 2016).

Dadurch wird gewährleistet, dass die früheren Blöcke nicht unbemerkt modifiziert und dadurch manipuliert werden können. Blöcke von Transaktionen sind also untrennbar miteinander verkettet. Der Hash-Wert fungiert dabei als Instrument zur Aufdeckung von Manipulationen. Bei Manipulationsversuchen würde der Hash-Wert nicht mehr stimmen. Dadurch ist es auch nicht mehr möglich, einmal getätigte Transaktionen zu revidieren. Es sei denn, die Mehrheit aller Teilnehmer stimmt diesem, im Sinne des im Blockchain Protokoll definierten Konsensmechanismus zu. Das Resultat sind eine nachgewiesene Datenintegrität sowie Irreversibilität (Burger et al. 2016). Um eine Transaktion rückgängig zu machen, kann lediglich – wieder im Konsens – die entsprechende Gegentransaktion veranlasst werden (Schütte et al. 2017). Hierbei wird auch deutlich, dass in einem P2P-Netzwerk die Datenhoheit nicht mehr allein vom Serverbetreiber ausgeübt wird, sondern von den Teilnehmern des Netzwerks.

## Kryptographie

Die zu erreichende Datenintegrität wird mit Hilfe kryptographischer Verfahren gewährleistet. Durch sequentielle Verkettung der einzelnen Blöcke werden sowohl die zeitliche Reihenfolge als auch die Datenintegrität des gesamten Datenbestands sichergestellt und somit vor Manipulation geschützt (Burger et al. 2016). In der Blockchain tritt anstelle des Intermediärs der kryptographische Beweis (Hasse et al. 2016). Als Verschlüsselungssystem kommt dabei die bereits 1976 von Diffie und Hellman eingeführte asymmetrische Public-Key-Verschlüsselung zum Einsatz (Schlatt et al. 2016). Jeder Teilnehmer erhält dabei einen öffentlichen sowie einen privaten Schlüssel. Der öffentliche Schlüssel (Public Key) stellt eine eindeutige Empfängeradresse für eingehende Transaktionen dar und ist vergleichbar mit einer Kontonummer. Die Funktion des privaten Schlüssels (Private Key) ist es, dem Eigentümer den Zugang zu seinem Konto zu ermöglichen sowie ausgehende Transaktionen zu bestätigen. Zwischen beiden Schlüsseln besteht eine mathematische Asymmetrie, sodass ein Rückschluss vom öffentlichen auf den privaten Schlüssel unmöglich ist. Umgekehrt kann jedoch der private Schlüssel den öffentlichen Schlüssel berechnen. Für eine Transaktion benötigt der Absender folglich nur den öffentlichen Schlüssel des Empfängers sowie seinen eigenen privaten Schlüssel. Bedingt dadurch, dass keine weiteren Informationen benötigt werden, müssen die Teilnehmer nicht zwangsweise mit ihrem Klarnamen respektive einer geprüften

Identität agieren. Ziel ist es für Transparenz und Privatsphäre gleichermaßen zu sorgen (Voshmgir 2016).

## Validierungsprozess und Konsensverfahren

Um die Gültigkeit von Transaktionen zu bestätigen, bedarf es eines Algorithmus, der die Verifizierung der Daten vornimmt und dadurch die Validierung neuer Blöcke ermöglicht. Die dabei am häufigsten verwendeten Protokolle zur Konsensfindung stellen der Proof-of-Work-Algorithmus (PoW) sowie der Proof-of-Stake-Algorithmus (PoS) dar, die im Wesentlichen als ökonomische Anreize für die Teilnehmer fungieren (Voshmgir 2016).

Weiterhin kommt dem Mechanismus der verteilten Konsensfindung auch die Rolle eines vertrauenswürdigen Dritten zu. Dieser schafft damit die Grundlage für die Umgehung der Intermediäre. Das Vertrauen in einen Dritten weicht damit einem Vertrauen in ein „[...] Kollektiv, einer Technologie und ihrer Kryptographie“ (Schütte et al. 2017). Im Rahmen der Validierung neuer Transaktionen überprüft der Schwarm der Rechner sich selbst. Ein Abgleich mit der gespeicherten Blockchain würde bei Manipulationsversuchen eine Abweichung erkennen und die Transaktion nicht validieren. Der Validierungsprozess durch Konsensfindung ist als Protokoll dezentral in der Blockchain verankert und läuft automatisiert ab (Hasse et al. 2016). Beide Protokolle werden im Folgenden vorgestellt.

### *Proof-of-Work*

Beim Proof-of-Work Algorithmus (PoW) handelt es sich um einen Konsensmechanismus, bei dem jeder Block durch sogenanntes Mining validiert wird. Ziel dieses Algorithmus ist es zu beweisen, dass ein bestimmter Rechenaufwand betrieben wurde, um eine Transaktion respektive einen Block zu validieren (Burger et al. 2016). Im Folgenden wird der Prozess am Beispiel des Ethash-Algorithmus der Ethereum Blockchain verdeutlicht. Zunächst werden korrekte Transaktionen von den Minern (Mining-Netznoten, -Nodes) in einem Block zusammengefasst. Aus den Metadaten sowie einer Nonce (number used only once) wird ein Hash-Wert generiert, den es einem sogenannten Target-Wert anzugleichen gilt (Schlatt et al. 2016). Die Miner „graben“ bzw. „schürfen“ dabei namensgebend nach der Nonce, einer 32-Bit Integer Variablen. Der Nonce ist dabei vergleichbar mit einem Counter, der solange iteriert wird, bis sich die daraus berechnete Prüfsumme (Hash) dem target angeglichen hat (Giese 2017). Die einzelnen Miner stehen dabei in einem kompetitiven Wettbewerbsverhältnis. Denn nur der Miner, welcher als erstes einen Block mit dem vorgegebenen Target generiert, erhält drei (Stand Oktober 2018) neu generierte Ether-Token (Static Block Reward) sowie darüber hinaus eine Erstattung aller angefallenen Transaktionskosten (Ethereum Wiki 2018). Bei Ethereum werden Transaktionskosten in Form von Gas berechnet. Gas ist dabei als eine Arbeitseinheit zu verstehen. Entsprechend werden die Gas-Kosten als Gwei („Giga wei“) ausgewiesen. Ein Gwei entspricht dabei  $10^{-9}$  Ether. Jede Transaktion wird durch den benötigten Aufwand definiert.

Der Block Reward wird dabei von Zeit zu Zeit angepasst. Zuletzt wurde am 31.08.2018 beschlossen, den Block Reward zukünftig auf zwei Ether zu senken (Ethereum Improvement Proposal Repository 2018).

Die Bezeichnung des Schürfens (Mining) ist dabei in Analogie zum realen Schürfen nach Edelmetallen zu verstehen, denn auch hier spielen die Schürfkosten eine bedeutende Rolle für den Wert des Edelmetalls.

Nachdem der Miner seinen Block an das Netzwerk gesendet hat, wird die Lösung durch die anderen Teilnehmer (Nodes) geprüft und sodann in die Blockchain aufgenommen bzw. als neuer Block angehängt (Schlatt et al. 2016). Ein Konsens über die Richtigkeit des Blocks kommt zustande, wenn 50 Prozent der Nodes übereinstimmen. Eine Manipulation wäre demnach nur möglich, wenn ein potenzieller Angreifer mehr als 50 Prozent der Rechnerleistung kontrolliert (51 percent attack) (Federico und Göß 2017).

Bei einer derzeitigen durchschnittlichen Zeit zur Erzeugung eines Blocks von ca. 14 Sekunden ist es nicht unwahrscheinlich, dass zeitgleich mehrere Miner zum richtigen Ergebnis gelangen. Um auch die Arbeit des Miners finanziell zu kompensieren, dessen Block nicht ausgewählt wurde, wartet Ethereum dazu mit einem sogenannten Reward-System auf. Jener Miner, dessen Ergebnis ebenfalls richtig war, erhält in Form des Uncle Rewards eine geringfügig kleinere Entlohnung von 7/8 des Static Rewards, also 2,625 Ether (Ethereum Wiki 2018). Ferner wird dadurch auch einer Mining-Zentralisierung entgegengewirkt, da dadurch einer Monopolstellung vorgebeugt wird.

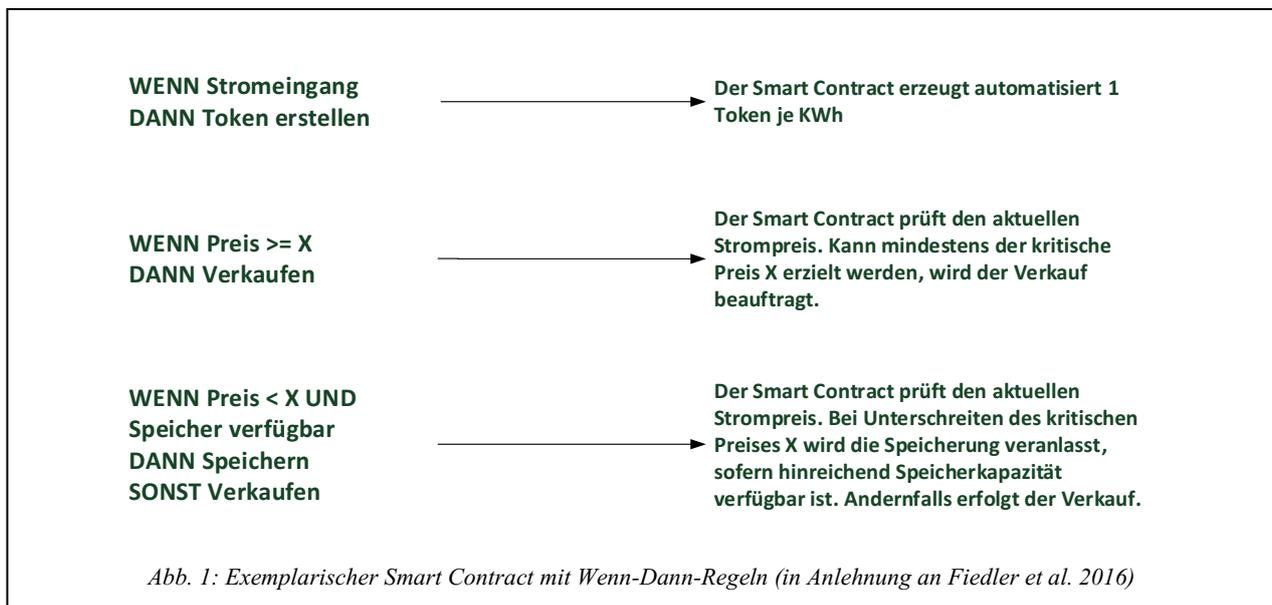
Neben dieser ökonomischen Anreizfunktion obliegt dem Konsensmechanismus auch die Steuerung der virtuellen Geldmenge. Als Folge stetig zunehmender Rechenleistung nach dem Moore'schen Gesetz würden sich die Intervalle, in denen neue Blöcke generiert werden, sogleich verkürzen. Das Resultat wäre ein inflationärer Anstieg der Krypto-Währungseinheiten. Um dem entgegenzuwirken, wird die Komplexität des kryptographischen Rätsels (Difficulty) immer dann erhöht, wenn sich die Zeitdauer

zur Lösung des Rätsels durch hinzugekommene Rechenkapazitäten zu verkürzen droht (Schütte et al. 2017). Es ist der derzeit am häufigsten verwendete Standard zur Konsensfindung. Der entscheidende Vorteil dieses Algorithmus ist, dass er mathematisch sicher ist und Vertrauen schafft. Der Nachteil ist, dass der Transaktionsdurchsatz stark reduziert ist. Nachfolgend wird dazu der Proof-of-Stake-Algorithmus gegenübergestellt.

#### *Proof-of-Stake*

Als Alternative zum PoW-Algorithmus wurde der Proof-of-Stake (PoS)-Algorithmus entwickelt (Burger et al. 2016). Die Grundidee dahinter ist, dass die Aktualisierung des Systems nur durch jene Netzknoten vollzogen werden soll, die einen großen Anteil an der jeweiligen Kryptowährung halten. Per Zufallsalgorithmus wird ein Teilnehmer ausgewählt, der anschließend berechtigt ist, den entsprechenden Block zu schürfen. Die Zufallschance steigt dabei mit der Höhe der Einlage. Der Anreiz soll hierbei durch die korrekte Aufrechterhaltung des Systems geschaffen werden (Schlatt et al. 2016). Dabei wird impliziert, dass ein Teilnehmer steigendes Interesse daran hat, dass ein bestimmtes Blockchain-System stabil läuft und nicht kompromittiert wird, je mehr Einlagen (Stakes) er am System hält. Der PoS Algorithmus ist aus Effizienzgesichtspunkten die bessere Alternative, was auch den Grund dafür darstellt, dass die Ethereum-Blockchain die systematische, sukzessive Umstellung von PoW auf das PoS-Protokoll beschlossen hat (Giese 2017).

Darüber hinaus existiert eine Vielzahl weiterer Ansätze zur Konsensfindung. So entstand mit dem Proof-of-Activity Protokoll beispielsweise ein Hybrid aus PoW und PoS. Das Proof-of-Capacity Protokoll verfolgt hingegen das Ziel, den Arbeitsnachweis in Form des beanspruchten Speicherplatzes zu erbringen. Im Bereich der nicht-öffentlichen (permissioned) Blockchains wird zudem der Proof-of-Authority viel diskutiert. Dabei können sich an der Konsensfindung lediglich sich bekannte Autoritäten beteiligen. Durch die Zugangsbeschränkung ist der



Proof-of-Authority-Algorithmus jedoch nur für private oder Konsortial-Blockchains geeignet.

### Smart Contracts

Smart Contracts haben die Blockchain 2.0 initiiert und dadurch weitere Potenziale der Blockchain-Technologie entfaltet. So versprechen Smart Contracts beispielsweise die vollautomatische Vertragserfüllung zuvor definierter Konditionen. Bei Smart Contracts handelt es sich um ein Transaktionsprotokoll, das die Bedingungen eines Vertrags implementiert. Bedingt durch die technische Architektur wird die Blockchain als geeignetes Medium zur technischen Ausführung solcher Kontrakte betrachtet (Schlatt 2016). Smart Contracts sind dabei als ausführbarer Code zu charakterisieren, der einer definierten Programmlogik im Sinne von Wenn-Dann-Regeln unterliegt (vgl. Abb. 1).

Die Implementierung erfolgt dabei in der eigens für Smart Contracts entwickelten und auf JavaScript basierenden Programmiersprache Solidity. Durch Smart Contracts initiierte Transaktionen werden automatisch ausgeführt, sobald die vertraglich festgehaltenen Konditionen von allen beteiligten Parteien erfüllt sind (Voshmgir 2016). Zudem könnten sich signifikante Synergieeffekte durch Implementierung von Smart Contracts auf Geräten ergeben, die über eine Anbindung an das Internet der Dinge verfügen (Lundqvist et al. 2017), um dadurch automatisierte Transaktionen zwischen Maschinen zu ermöglichen (M2M) (Lauslahti et al. 2017). Smart Contracts sollen dem realen Leistungsaustausch von digital referenzierten Gütern dienen. Da ihr rechtlicher Status noch nicht abschließend definiert ist, bedarf es an dieser Stelle einer weitergehenden juristischen sowie regulatorischen Auseinandersetzung (Kaulartz und Heckmann 2016). Smart Contracts haben maßgeblich dazu beigetragen, dass die Blockchain ein so großes wirtschaftliches und politisches Interesse geweckt hat.

### Ethereum als digitales Ökosystem für verteilte Anwendungen

Ethereum kombiniert die dezentrale Infrastruktur einer Blockchain mit den weitreichenden Möglichkeiten implementierbarer Smart Contracts. Die Idee stammt dabei von Vitalik Buterin, der Ethereum Ende 2013 erstmals allgemein beschrieb (Buterin 2013). Der Name Ethereum basiert auf der aristotelischen Idee vom Äther als allgegenwärtigem fünften Element. Buterins neue Blockchain sollte allgegenwärtig sein und auf allen teilnehmenden Rechnern laufen. Kurz darauf, Anfang 2014, wurde sie vom Ethereum Mitbegründer Gavin Wood weiter formalisiert (Wood 2014). Bei Ethereum handelt es sich im Gegensatz zu Bitcoin nicht um eine reine Kryptowährung. Es ist vielmehr eine Plattform zur Programmierung und Ausführung von dezentralisierten Anwendungen (DApps) und Smart Contracts. Gegenüber Bitcoin ermöglicht Ethereum somit jegliche Art von Peer-to-Peer-Wertaustausch und damit mehr als nur reine Geldtrans-

aktionen. Damit wird die Möglichkeit gesehen, die digitale Ökonomie zu revolutionieren (Internet of Values) (Tapscott und Tapscott 2016).

Seit dem Launch im Juli 2015 verfolgt die Ethereum Foundation das Ziel, die Ethereum Blockchain kontinuierlich weiterzuentwickeln und im Sinne einer öffentlichen Blockchain der Allgemeinheit zur Verfügung zu stellen (Voshmgir 2016).

### ANALYSE DER DAPP MARKETPLACE-IN-ENERGY

#### Das Projekt marketplace-in-energy

Bei dem Projekt marketplace-in-energy handelt es sich um eine von der finnischen ETLA (Research Institute of the Finnish Economy) in Kooperation mit dem finnischen Energiekonzern Fortum Oyj entwickelten Blockchain Applikation (DApp). Der Prototyp wurde von der ETLA über Github unter der MIT-Lizenz veröffentlicht (Hukkinen et al. 2017). Als Kernelement nutzt die Applikation Ethereum-basierte Smart Contracts, um die MarktAbstimmung zwischen den Energieproduzenten und Verbrauchern zu erleichtern. Mit der Entwicklung dieser Applikation soll untersucht werden, ob mit der Blockchain-Technologie verteilte Koordinations- und Datenmanagementarchitekturen für dezentrale Energiesysteme entwickelt werden können.

#### Analyse der DApp

Zur Analyse der DApp sind ihre potenziellen Wirkungsfelder im Kontext der energiewirtschaftlichen Akteure und Prozesse zu identifizieren. Die Wirkungsfelder bilden dabei verschiedene Nutzungspotenziale durch die Blockchain und Smart Contracts ab, die durch die bestehenden Funktionalitäten realisierbar sind. Die Identifikation der Wirkungsfelder erfolgt anlehnend an den vom japanischen Ministerium für Wirtschaft, Handel und Industrie veröffentlichten Kriterienkatalog zur Evaluation von Blockchain-Projekten (Takagi et al. 2017). Dazu wird die DApp anhand ausgewählter qualitativer Kriterien bewertet. Die Auswahl beschränkt sich aus Gründen der lokalen Instanziierung auf qualitative Merkmale, da eine Quantifizierung (z. B. der Skalierbarkeit oder des Transaktionsdurchsatzes) nicht möglich ist. Ziel ist es zu bewerten, wo Stärken und Schwächen dieser DApp liegen und daraus Handlungsempfehlungen für die Praxis abzuleiten. In Abb. 2 werden nun zunächst anhand eines generischen Akteursmodells für die Energiewirtschaft die Wirkungsfelder aufgezeigt, die durch den Einsatz der DApp potenziell entstehen.

Aus der Darstellung wird deutlich, dass Energiehandelstransaktionen entweder zentral über die Börse (EEX, European Energy Exchange in Leipzig) oder außerbörslich als Folge einer Direktvermarktung (als OTC-Geschäft) zustande kommen. Die Abwicklung der börslichen Geschäfte erfolgt dabei über ein Clearinghouse, das auch die Ausfallabsicherung der Vertragspartner

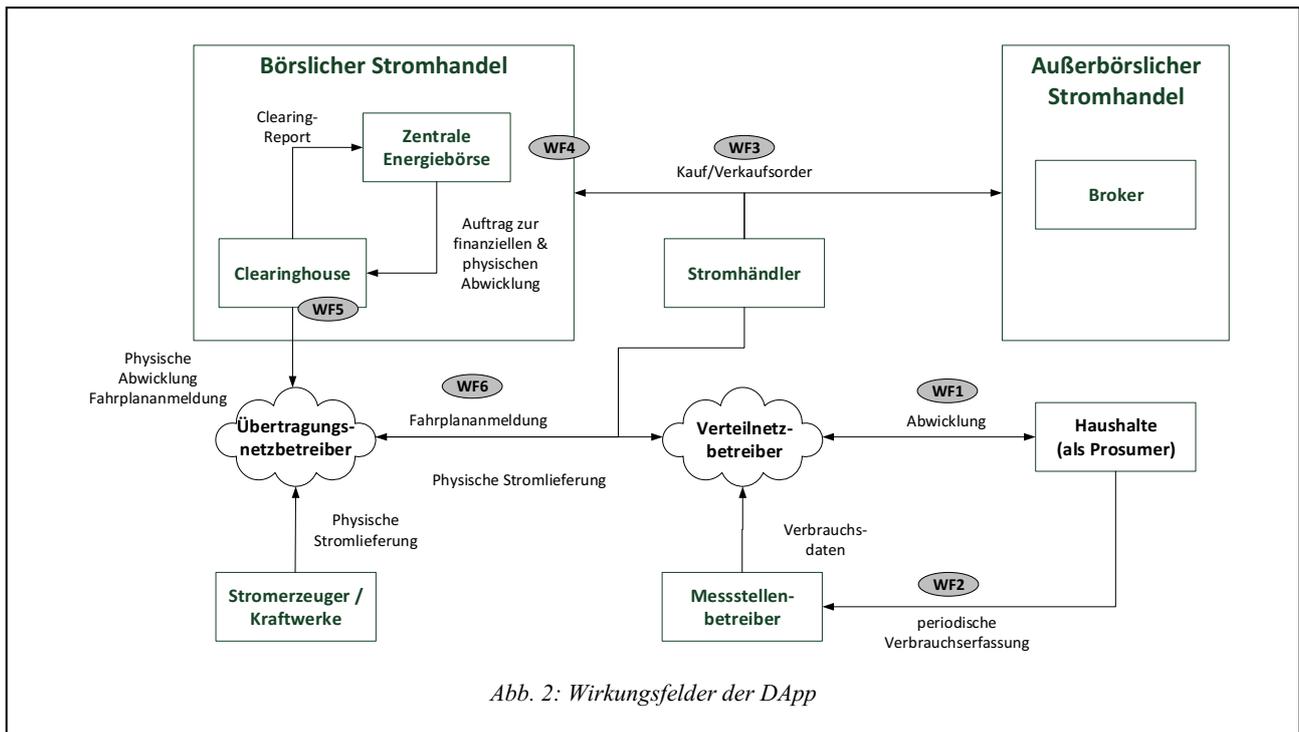


Abb. 2: Wirkungsfelder der DApp

übernimmt. Die physische Abwicklung der Stromlieferung erfolgt durch die Netzbetreiber, die für das Übertragungsnetz (Übertragungsnetzbetreiber, ÜNB) und das Verteilnetz zuständig sind. Das Verteilnetz wird dabei von Energieversorgungsunternehmen (EVU) betrieben, die die regionale Stromversorgung sicherstellen und damit das Bindeglied zum Endverbraucher bilden.

Zur Koordination der Lieferprozesse erfolgt eine Fahrplananmeldung, mit der die Netzbetreiber über die aus den Handelstransaktionen resultierenden Stromlieferungen informiert werden. Die Produktion der erforderlichen Strommengen findet durch dedizierte Stromerzeuger bzw. Kraftwerke oder aber auch durch dezentrale Haushalte statt, die durch die Nutzung regenerativer Energiequellen als Prosumer auftreten. Die Verbrauchserfassung erfolgt durch entsprechende Messgeräte (z. B. Smart Meter), die von Messstellenbetreibern (MSB) installiert, betrieben und abgelesen werden.

In diesem vereinfachten Marktmodell erschließen sich durch Blockchaining unterschiedliche Wirkungsfelder (WF), die an den Transaktionsbeziehungen zwischen den unterschiedlichen Akteuren ansetzen. In Abb. 2 werden sechs Wirkungsfelder identifiziert (WF1,...,WF6), die im Folgenden näher erläutert werden.

### Wirkungsfeld 1: Direkter P2P-Handel ohne Energieversorgungsunternehmen

Die Kernfunktionalität der DApp besteht in der Unterstützung direkter P2P-Handelstransaktionen auf Grundlage der Smart Contracts. Die Institution des Energieversorgers kann obsolet werden, da die ausgeübte Mittlerfunktion zwischen Energieerzeuger und -verbraucher nicht mehr benötigt wird. Durch Umgehung des Energieversorgers (Disintermediation) treten Käufer und Ver-

käufer respektive Verbraucher und Erzeuger in unmittelbare Vertragsbeziehungen, z. B. in Form eines Smart Contracts.

Damit der Smart Contract zustande kommen kann, müssen bestimmte Attribute definiert werden. So ist festzulegen, wer die Rolle des Verkäufers bzw. Käufers übernimmt, damit der Smart Contract im weiteren Verlauf die Zahlung anweisen kann. Die Vertragsgestaltung sieht jedoch keine Realnamen vor, sondern erfordert lediglich einen Alias in Form eines Ethereum-Kontos. Nachdem vertraglich festgehalten ist, wer mit wem handeln möchte, sind weiterhin die Smart Meter-Adressen zu bestimmen. Diese werden benötigt, um die spätere physische Lieferung zu ermöglichen sowie die Fahrplananmeldung zu initiieren. Eine entsprechende Funktion sorgt dafür, dass die zugehörigen Smart Meter dem Käufer und Verkäufer zugeordnet werden. Dies ist die Grundvoraussetzung für die finanzielle und physikalische Abwicklung des Vertrags. Dazu existieren im Smart Contract die Variablen *sellerReport* sowie *buyerReport*, die als boole'sche Variablen deklariert sind und im Falle einer korrekten physikalischen Stromlieferung auf True gesetzt werden, um den Smart Contract zu veranlassen, den Bezahlvorgang im Sinne der finanziellen Abwicklung anzustoßen. Anschließend werden die für einen Kaufvorgang wohl entscheidendsten Kriterien festgelegt: Die Energiemenge sowie deren Preis. Da der Verkäufer zunächst ein Angebot offeriert, gibt dieser zunächst seine zu verkaufende Energiemenge sowie die zugehörige Preisvorstellung an (s. Abb. 3).

Der anfängliche Status des Smart Contracts steht dabei auf *Waiting for Acceptance*, sodass auf einen entsprechenden Abnehmer gewartet wird. Potenzielle Käufer können sich nun entscheiden, dieses Angebot anzunehmen. Entscheidet sich der Käufer für die Annahme des

Stromangebots, hat der Smart Contract alle erforderlichen Variablen für einen erfolgreichen Vertragsabschluss, der Status wechselt auf *Accepted* und es kommt zu einem Vertragsabschluss (s. Abb. 4).

abdecken, entsteht das Potenzial zur Disintermediation von Energieversorgungsunternehmen. Allerdings realisiert die DApp aus ökonomischer Perspektive lediglich einen einseitig fixierten Markt (Tietz 1982). So hat ein

**Offers**

Show: 10

Search:

ID	Seller	Seller smart meter	Buyer	Buyer smart meter	Price	Electricity amount	Start time	End time	State	Recipient
1349	0x22d491bde2303f2f43325b2108d26f1eaba1e32b	0xffcf8fdee72ac11b5c542428b35eef5769c409f0	undefined	undefined	1200000000	110	12:05:10, January 15th 2027	12:05:11, January 15th 2027	Waiting for acceptance	undefined

Showing 1 of 1 records Pages: Previous 1 Next

*Abb. 3: Strom-Verkaufsangebot (Offer) im lokalen Energiemarkt*

**Balances**

Show: 10

Search:

Identity	Account	Balance
Smart contract	0xcfeb869f69431e42cdb54a44f105c19c080a601	1200000000
Seller	0x22d491bde2303f2f43325b2108d26f1eaba1e32b	99999999999999786912
Buyer	0xd03ea8624c8c5987235048901fb614fdca89b117	9999999999799921726

Showing 3 of 3 records Pages: Previous 1 Next

*Abb. 4: Durch DApp zustande gekommener Smart Contract*

Der Smart Contract weist den korrekten Preis aus und wartet nun auf die Bestätigung der physikalischen Lieferung in Form einer Rückmeldung durch die angeschlossenen Smart Meter auf Käufer- und Verkäuferseite. Wie sich erkennen lässt, weisen sowohl Käufer als auch Verkäufer einen abnehmenden Saldo auf (zu erkennen in der Spalte *Balance*). Dies ist damit zu begründen, dass Ethereum für jede Transaktion Gas-Gebühren veranschlagt. Sollten die Rückmeldungen nicht innerhalb von 30 Minuten von beiden Seiten erfolgen, impliziert der Smart Contract, dass die Stromlieferung nicht erfolgreich war und geht somit auch nicht in den nächsten Zustand *Ready for Withdrawal* über.

Die 30-minütige Deadline wird durch die Funktion *hasReportedDeadlineExpired()* implementiert. Dabei wird auf den Zeitstempel für das Zustandekommen des Smart Contracts die Zeit der *maxTimeFromEndToReportDeadline* (1800 Sekunden) addiert und im Falle einer Zeitüberschreitung über die Funktion *makeReadyForWithdrawal()* eine Exception ausgelöst. Dies führt dazu, dass die Transaktion abgebrochen wird, da die Vertragsbedingungen nicht erfüllt wurden. Melden jedoch beide Smart Meter positive Reports an den Smart Contract zurück, erfolgt über die Funktion *withdraw()* die Anweisung der Zahlung. Dadurch sind physikalische und finanzielle Abwicklung im Sinne der Abwicklungsphase der Marktkoordination abgeschlossen. Der Status des Smart Contracts wechselt auf den finalen Zustand *resolved* und ist damit abgeschlossen. Der Verkäufer erhält die vereinbarte Summe Ether und der Käufer die entsprechende Strommenge.

Da diese Funktionalitäten der DApp sämtliche Phasen der Markttransaktion – von der Informationsphase über die Vereinbarungsphase bis hin zur Abwicklungsphase –

potenzieller Käufer nur die Möglichkeit, ein fixiertes Angebot anzunehmen oder abzulehnen. Eine bilaterale Verhandlung (nicht-fixierter Markt) oder ein zentraler Abgleich von Angebot und Nachfrage (zweiseitig fixierter Markt) im Rahmen einer Börse wird nicht unterstützt. Darüber hinaus ist anzumerken, dass der DApp eine adäquate Benutzeroberfläche fehlt und die Marktpartizipation somit ein hohes Maß an Programmierkompetenzen erfordert. In dem aktuellen Entwicklungsstand ist daher davon auszugehen, dass die DApp keine nennenswerte Akzeptanz erfahren wird, um den Stromhandel zwischen privaten Haushalten nachhaltig zu stimulieren.

### Wirkungsfeld 2: Blockchaining von Ableseprozessen

Das WF2 bezieht sich auf den Ableseprozess für die Stromzähler, mit dem die Verbrauchsmengen erfasst werden. Durch die Einbindung der Smart Meter in die Blockchain entsteht die Möglichkeit, sämtliche Verbrauchsdaten der Abnehmer automatisch in der Blockchain festzuschreiben. Die Rolle des Messstellenbetreibers kann sich demzufolge auf die Installation und Wartung der Smart Meter als Endgeräte zur Verbrauchsdatenerfassung beschränken. Ein Erfolgsfaktor für dieses Wirkungsfeld ist allerdings die weitere Diffusion von Smart Meter-Geräten als intelligente Messsysteme. Da der Gesetzgeber durch das Gesetz zur Digitalisierung der Energiewende nur Haushalte mit vergleichsweise hohen Durchschnittsverbräuchen zur Nutzung von Smart Metern verpflichtet, ist gegenwärtig nicht mit einem nachhaltigen Aufgabenwandel der Messstellenbetreiber zu rechnen.

### Wirkungsfeld 3: OTC-Blockchaining

Ein weiteres Wirkungsfeld der Blockchain bildet die Möglichkeit zur Unterstützung des OTC-Handels (Direkthandel), der beispielsweise zwischen überregionalen Handelspartnern erfolgt. Die Abwicklung des Transaktionsprozesses erfolgt dabei über Brokerunternehmen bzw. deren Handelsplattformen. Die Marktpartner vereinbaren dabei die Vertragsparameter individuell. Durch die Einführung der Blockchain entsteht in diesem Wirkungsfeld die Möglichkeit, Brokerunternehmen mit ihren Handelsplattformen zu umgehen. Voraussetzung dafür ist allerdings die weitestgehende Standardisierung von Blockchain-Systemen auf drei Ebenen (Merz 2016):

- Nutzung einheitlicher Kommunikationsprotokolle und Messaging-Standards zum Datenaustausch.
- Einsatz einheitlicher Datenformate und -modelle zur Abbildung des energiewirtschaftlichen Marktgeschehens.
- Standardisierung der Funktionen und Prozesse unter Einhaltung der Regulierungsvorgaben.

Zur Handhabung der Standardisierungsproblematik werden interoperable Schnittstellen vorgeschlagen. Abb. 5 zeigt ein exemplarisches Schichtenmodell für vertikale Programmierschnittstellen (API) in unterschiedlichen Domänen (z. B. Finanz-, Versicherungs- und Energiewirtschaft), die letztlich auf einer einheitlichen Blockchain mit entsprechender Kommunikationsprotokollen basieren. Zentrales Element stellt dabei der Chain Adapter dar. Dieser befindet sich oberhalb der technischen API (Marketplace Generic Trading API) und schafft dadurch die Verbindung zur jeweiligen fachlichen Ebene der angebundenen DApp. Dem Chain Adapter kommt dabei eine marktspezifische Rolle zu, da auf der fachkonzeptionellen Ebene definiert wird, wie Datenformate und Prozesse in die Blockchain zu integrieren sind.

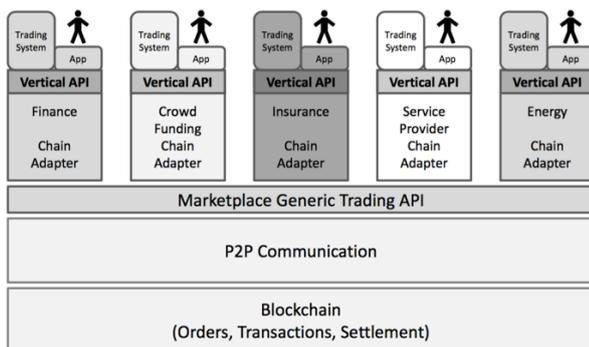


Abb. 5: Domänenübergreifende Blockchain-Integration durch vertikale Schnittstellenlösungen (Merz 2016)

### Wirkungsfeld 4: Einführung einer dezentralen Börse auf Blockchain-Basis

Eine Alternative zum OTC-Handel besteht im börslichen Stromhandel. Das im WF1 aufgezeigte Potenzial des Handels im lokal begrenzten Markt kann dabei (analog zum im WF3 vorgestellten OTC-Blockchaining) auf einen überregionalen Markt ausgeweitet werden. Die

DApp ist dazu über eine Schnittstelle an eine dezentrale Energiebörse anzubinden. Eine derartige Lösung bietet derzeit das australische Projekt der Decentralized Energy Exchange (deX) an, eine dezentrale Börse für den Energiemarkt, die seit Anfang 2017 als Pilot getestet wird. Wichtige Partner sind u.a. Siemens und Tesla. Diese ermöglicht das Konzept einer offenen Börse, in der Energiekapazitäten zwischen Haushalten, Unternehmen und Kommunen vermittelt werden können.

Das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie hat dazu in seinem Newsletter zwei kontroverse Meinungen zum Thema „Blockchain als Revolutionär der Energiewirtschaft“ zweier Branchenexperten aufzeigt, Paul-Georg Garmer, Senior Manager Public Affairs beim ÜNB TenneT (Pro Blockchain) sowie Dr. Maximilian Rinck, Experte für Strommarkt-Design bei der EEX (Contra Blockchain). Garmer ist dabei der Auffassung, dass die Blockchain mit weitreichenden Potenzialen für die Energiewirtschaft einhergeht, insbesondere auch für die flexible überregionale Stromversorgung: „Hier liegt das Potenzial der Blockchain. Sie vernetzt dezentral verteilte Anlagen sicher, intelligent und schafft dadurch einen überregionalen Markt für Flexibilitäten.“ (BMW 2017).

Rinck sieht die Rolle der Intermediäre wie Börse und Clearinghouse durch die Blockchain bedroht. Dabei rechtfertigt Rinck die Beibehaltung eben genannter zentraler Instanzen wie folgt: „Börsen und Clearinghäuser nehmen jedoch wesentlich mehr Aufgaben wahr als die logistische Verbindung von Angebot und Nachfrage oder die finanzielle Abwicklung von Transaktionen. [...] Die wichtigsten Aufgaben der Börse und ihrer Marktsteuerung sind neben dem eigentlichen Betrieb des Marktplatzes die Überwachung und Absicherung des Handels gegen Manipulationen und regelwidriges Verhalten sowie die Dokumentation des Marktgeschehens durch die Feststellung von Schlusskursen.“ (BMW 2017)

Einige Hauptaufgaben der zentralen Instanzen Börse und Clearinghouse wie Schutz vor Manipulation und Dokumentation des Marktgeschehens sind Kerncharakteristika der Blockchain, sodass langfristig mit entsprechenden Alternativen zu den bislang etablierten Strombörsen zu rechnen ist.

### Wirkungsfeld 5: Clearinghouse-Blockchaining

Die Aufgabe des Clearinghouse besteht darin, als zentraler Kontrahent zwischen den Vertragspartnern für die Erfüllung der Geschäfte zu sorgen. So übernimmt z. B. die European Commodity Clearing (ECC AG) als Tochtergesellschaft der EEX die Abwicklung von Geschäften mit Energie bzw. energienahen Produkten. Darüber hinaus stellt das Clearinghouse auch Dienste für das Risikomanagement zur Verfügung, indem z. B. das Ausfallrisiko über die Hinterlegung von Sicherheitsleistungen reduziert wird.

Die evaluierte DApp bietet mithilfe von Smart Contracts die Möglichkeit, den Transaktionsverlauf zu steuern und auf die Erfüllung der notwendigen Vertragskonditionen zu warten. Damit zeigt die DApp, dass Smart Contracts in der Lage sind, die grundsätzlichen Funktionen des

Clearinghouse zu übernehmen. Voraussetzung dafür ist die korrekte Implementierung und Parametrisierung der gewünschten Smart Contracts. Ferner ist zu beachten, dass die DApp die Zahlungsabwicklung lediglich auf Guthabenbasis (in Form der Summe an Ether in der Wallet des entsprechenden Kontos) simuliert. Zudem handelt es sich bei den vorgestellten Stromhandelsgeschäften jeweils um Kassageschäfte. An dieser Stelle ist daher überprüfen, wie sich Smart Contracts auf Termingeschäfte sowie Inanspruchnahmen möglicher Kreditlinien anwenden lassen. Eine Zahlungsabwicklung in der Zukunft könnte dabei zu Problemen führen, wenn ein Handelspartner nicht über hinreichende Liquidität verfügt. Aufgrund der aktuellen rechtlichen Unsicherheit von Smart Contracts sowie der fehlenden Mehrwertdienste (z. B. Risikomanagement) ist eine Disintermediation des Clearinghouse aktuell nicht realistisch.

### **Wirkungsfeld 6: Blockchaining der Fahrplananmeldung**

Dieses Wirkungsfeld knüpft an das WF3 und WF5 an. Die Fahrplananmeldung kann insofern durch die Blockchain automatisiert werden, als dass bei Transaktionsausführung die Lieferdaten transparent in der Blockchain festgeschrieben werden.

Bei Börsenhandelsgeschäften ist das Clearinghouse für die physische Abwicklung der Stromlieferung und damit auch der Fahrplananmeldung verantwortlich. Zur Disintermediation ist daher die Frage zu beantworten, wer für die Fahrplananmeldung nach einem dezentralen Stromgeschäft via Blockchain verantwortlich sein wird. Eine Möglichkeit besteht darin, den Übertragungsnetzbetreiber an die Blockchain anzubinden, sodass sämtliche Transaktionen überwacht werden können. Voraussetzung hierfür ist, dass die involvierten Stromhandelspartner den Netzbetreiber die entsprechende physische Lieferung avisieren. Durch Automatisierung des Handelsprozesses via Blockchain ist dieser Anmeldeprozess realisierbar.

### **Gesamtergebnis der Evaluation**

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass die WF1, WF2 und WF6 durch die verfügbare DApp prinzipiell realisiert werden können. Die WF3 und WF4 bedürfen jedoch der Anbindung an einen überregionalen Marktplatz in Form einer dezentralen Börse bzw. einer OTC-Handelsplattform, die eine ausgeprägte informationstechnologische Infrastruktur und Standardisierung voraussetzt. Das WF5 kann indes nur erschlossen werden, wenn das Problem der finanziellen Absicherung von Stromhandelsgeschäften via Blockchain gelöst ist.

Aus der Anwendung der Blockchain resultieren daher für den lokalen Stromhandel maßgebliche Potenziale, die insbesondere durch die Dezentralisierung der Energieerzeugung stimuliert werden. So entsteht mithilfe der Blockchain die Möglichkeit, dass private Haushalte als Energieproduzenten und -konsumenten über ein lokales Microgrid miteinander in eine Handelsbeziehung treten

(Mengelkamp et al. 2017). Smart Grids streben an, das Rückgrat einer solchen regionalen Energieversorgung zu sein und damit auch eine wesentliche Rolle für die Systemstabilität zu übernehmen (Birnbauer 2017). Produzierende Haushalte können ihren überschüssigen Strom innerhalb des Microgrids handeln und anderen Verbrauchern zur Verfügung stellen. Diese Entwicklung wird durch die Verfügbarkeit kosteneffizienter Speichertechnologien stimuliert, die eine zunehmende Unabhängigkeit von überregionalen Energielieferanten gewährleisten können. Zum jetzigen Zeitpunkt ist die Speichertechnologie jedoch noch vergleichsweise kostenintensiv, sodass der lokale Energiehandel mithilfe der Blockchain deutlichen Barrieren unterliegt.

### **FAZIT UND AUSBLICK**

Durch die Blockchain verschiebt sich das derzeitige zentral ausgerichtete Transaktionsmodell mit Fokus auf die Energieversorger hin zu einem dezentralen Transaktionsmodell mit den Konsumenten und Produzenten im Mittelpunkt. Diese Dezentralisierung wird auch vom Weltenergieerat (World Energy Council) betont, der die Blockchain als „digitalen Treiber in der Energiewende“ und „Enabler der Dezentralisierung“ betrachtet (Weltenergieerat 2017). Transaktionen können dabei ohne Einschaltung einer zentralen Instanz zwischen Produzenten und Konsumenten direkt abgewickelt werden. Dies geht mit dem Potenzial zur Flexibilisierung einher, da zuvor manuell ausgeführte Prozessschritte automatisiert durch Smart Contracts abbildbar sind. Damit kann die Blockchain zur Senkung der Transaktionskosten und Prozessbeschleunigung der Energiewirtschaft beitragen (Hasse et al. 2016). Hiervon können nicht nur Verbraucher und Produzenten regenerativer Energien profitieren, sondern auch etablierte Energieunternehmen (Eble 2017, Strüker 2016).

Neben Effizienzgewinnen und Kostensenkungspotenzialen fördert die Blockchain auch die Unabhängigkeit von zentralen Instanzen. Die bislang dominierenden Intermediäre – insbesondere die Energieversorgungsunternehmen – verfügen noch über die Datenhoheit (Datenmonarchie), die durch Blockchain-Mechanismen tendenziell aufgeweicht werden kann. Vor allem die Rolle des Prosumers wird durch die Dezentralisierung deutlich gestärkt. Prosumer erhalten über die Blockchain-Technologie die Option, mit einem hohen Grad an Unabhängigkeit die von ihnen erzeugte Energie direkt zu handeln. Dies bildet einen potenziellen Vorteil für die zukünftige Energieversorgung, die nicht mehr auf zentrale Großkraftwerke setzt, sondern von zahlreichen dezentralen Anlagen mit wetter- und zeitabhängiger und damit stark schwankender Leistung geprägt wird. Gelingt es dem Prosumer, höhere Absatzpreise zu erzielen, sinkt die Amortisationsdauer für Erzeugungsanlagen, was den Aufbau neuer Kapazitäten für regenerative Energien stimuliert.

Technische Barrieren für das Blockchaining in der Energiewirtschaft bestehen derzeit insbesondere durch das Fehlen einheitlicher Systemstandards, Protokollen und Schnittstellen, um dezentrale Strombörsen und OTC-

Handelsplätze unter Wahrung der Datensicherheit an lokale Microgrids anzubinden. Dabei ist auch das Problem der Skalierbarkeit zu berücksichtigen. Für eine Anwendung in lokalen Energiemärkten muss eine Blockchain jedoch in der Lage sein, Tausende Transaktionen zeitgleich abwickeln zu können. Aktuelle Blockchain-Lösungen sind dazu technisch noch nicht im Stande, allerdings befindet sich die Entwicklung noch in einem frühen Stadium. Das Leistungspotenzial der Blockchain wird zudem begrenzt durch den rechenintensiven (und damit auch energieaufwändigen) *Proof-of-Work*-Konsensalgorithmus. Entwicklungen wie *Proof-of-Stake* zielen hingegen auf eine Verringerung des Verbrauchs an Rechnerleistung. Ethereum hat den Umstieg auf den *Proof-of-Stake* Algorithmus daher sukzessive beschlossen. Mittlerweile haben sich alternative Plattformen zu Ethereum entwickelt. Deren fortschreitende Entwicklung könnte die Skalierbarkeit mittelfristig verbessern. Plattformen wie Cardano, EOS oder NEO treten dabei als hochperformante Wettbewerber auf. Dieses Potenzial zeigt sich auch deutlich in deren Marktkapitalisierung. Ethereum selbst wird dadurch angehalten, die eigene Plattform skalierbarer zu gestalten und forciert dazu mit dem sogenannten Sharding die Aufteilung des Ethereum-Netzwerks in Sub-Domains (Shards).

Weiterhin ist hervorzuheben, dass die eingesetzten Blockchain-Technologien noch ein hohes Maß an Rechtsunsicherheit aufweisen. So gelten Smart Contracts im Rechtssinne bislang noch nicht als Verträge. Infolgedessen ist abzuwarten, wie die Handhabung von Rücktritts-, Widerrufs-, Nachbesserungs- oder Gewährleistungsrechten im Umfeld von Smart Contracts durch den Gesetzgeber ausgestaltet wird.

## LITERATUR

- Birnbaum, Leonhard (2017): Die Energiewelt der Zukunft erfordert ein Umdenken. Handelsblatt Journal Energiewirtschaft - Eine Sonderveröffentlichung der EUROFORUM Deutschland SE, (August 2017), S. 18-19
- Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) (2017, 27. Juni): Wird die Blockchain-Technologie die Energiewirtschaft revolutionieren? Online verfügbar unter: <http://www.bmwi-energie-wende.de/EWD/Redaktion/Newsletter/2017/11/Meldung/kontrovers.html> [15.10.2017]
- Burger, Christoph; Kuhlmann, Andreas; Richard, Philipp; Weinmann, Jens (2016): Blockchain in der Energiewende - Eine Umfrage unter Führungskräften der deutschen Energiewirtschaft. In: Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena), EMST European School of Management and Technology GmbH (Hrsg.): Berlin
- Burgwinkel, Daniel (Hrsg.) (2017): Blockchain Technology - Einführung für Business- und IT Manager. Berlin ; Boston: De Gruyter
- Buterin, Vitalik (2013): A Next-Generation Smart Contract and Decentralized Application Platform. Online verfügbar unter: <https://github.com/ethereum/wiki/wiki/White-Paper>
- Eble, Georg (2017): Blockchain: Energieversorgung ohne EVU. ZfK - Zeitung für kommunale Wirtschaft [28.08.2017]
- Ethereum Wiki: Mining. GitHub, Inc. Online verfügbar unter: <https://github.com/ethereum/wiki> [15.03.2018]
- Ethereum Improvement Proposal Repository. GitHub, Inc. Online verfügbar unter: <https://github.com/ethereum/EIPs/blob/master/EIPS/eip-1234.md> [12.10.2018]
- Federico, Tobias; Göß, Simon (2017): Blockchain-Technologie in der Energiewirtschaft. ew - Magazin für die Energiewirtschaft, (2/2017), S. 70-72
- Fiedler, Ingo; Fiedler, Frank; Ante, Lennart (2016): Die Vision eines integrierten Energiemarktes - Wie die Verknüpfung der Technologien Smart Meter, Blockchain und Echtzeitauktionen einen effizienten Markt schafft und die notwendige Regelleistung drastisch reduziert. Online verfügbar unter: <http://www.blockchainresearchlab.org/wp-content/uploads/2017/01/Die-Vision-eines-integrierten-Energiemarktes.pdf>
- Giese, Philipp (2017, 7. Mai): Proof of Stake dank Casper: die Zukunft vom Ethereum. Online verfügbar unter: <https://www.btc-echo.de/proof-of-stake-dank-casper-die-zukunft-vom-ethereum/> [09.10.2017]
- Hasse, Felix; von Perfall, Axel; Hillebrand, Thomas; Smole, Erwin; Lay, Lena; Charlet, Maximilian (2016, 26. Juli): Blockchain - Chance für Energieverbraucher? (PricewaterhouseCoopers Aktiengesellschaft Wirtschaftsprüfungsgesellschaft, Hrsg.). Im Auftrag der Verbraucherzentrale NRW, Düsseldorf
- Hukkinen, Taneli; Mattila, Juri; Ilomäki, Juuso; Seppälä, Timo (2017): A Blockchain Application in Energy. ETLA Reports No. 71 Online verfügbar unter: <https://www.etla.fi/wp-content/uploads/ETLA-Raportit-Reports-71.pdf> [12.09.2017]
- Iansiti, Marco; Lakhani, Karim R. (2017): The truth about blockchain: it will take years to transform business, but the journey begins now. Harvard Business Review Digital Articles, (Vol. 95 Issue 1)
- Kastrati, Gresa; Weissbart, Christoph (2016): Kurz zum Klima: Blockchain-Potenziale und Herausforderungen für den Strommarkt/Climate Notes: Blockchain-Potential and Challenges for the Electricity Market. Ifo Schnelldienst, 69 (23), S. 74
- Kaulartz, Markus; Heckmann, Jörn (2016): Smart Contracts - Anwendungen der Blockchain-Technologie. Computer und Recht, 32 (9), S. 618-624
- Lauslahti, Kristian; Mattila, Juri; Seppälä, Timo (2017): Smart Contracts - How Will Blockchain Technology Effect Contractual Practices? ETLA Reports No. 68 Online verfügbar unter: <https://pub.etla.fi/ETLA-Raportit-Reports-68.pdf>
- Lundqvist, Thomas; de Blanche, Andreas; Andersson, H. Robert H. (2017): Thing-to-thing electricity micro payments using blockchain technology. In: Global Internet of Things Summit (GIoTS), 2017 (S. 1-6).

- IEEE Online verfügbar unter: <http://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8016254/> [12.09.2017]
- Madlener, Reinhard; Thomes, Paul (2014): Prosumer-Haushalte als Schlüsselakteure der Energietransformation. RWTH Themen, (2/2014), S. 22-25
- Mengelkamp, Esther; Notheisen, Benedikt; Beer, Carolin; Dauer, David; Weinhardt, Christof (2017): A blockchain-based smart grid: towards sustainable local energy markets. Computer Science - Research and Development Online verfügbar unter: <http://link.springer.com/10.1007/s00450-017-0360-9> [12.09.2017]
- Merz, Michael (2016): Potential of the Blockchain Technology in Energy Trading. In: Daniel Burgwinkel (Hrsg.): Blockchain technology: An introduction for business and IT managers (S. 51-97). De Gruyter
- Nakamoto, Satoshi (2008): Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System. Online verfügbar unter: <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf> [17.09.2017]
- Neumann, Susanne; Demidova, Ekaterina; Kohlhoff, Mareike (2017): Potenziale der Blockchain in der Energiewirtschaft. ew Spezial - Magazin für die Energiewirtschaft, (I/2017), S. 20-26
- Schlatt, Vincent; Schweizer, André; Urbach, Nils; Fridgen, Gilbert (2016): Blockchain: Grundlagen, Anwendungen und Potenziale. Projektgruppe Wirtschaftsinformatik des Fraunhofer-Instituts für Angewandte Informationstechnik FIT
- Schütte, J.; Fridgen, G.; Prinz, W.; Rose, T.; Urbach, N.; Hoeren, T.; Guggenberger, N.; Welzel, C.; Holly, S.; Schulte, A.; Sprenger, P.; Schwede, C.; Weimert, B.; Otto, B.; Dalheimer, B.; Harz, M.; Kreutzer, M. (2017): Blockchain - Technologien, Forschungsfragen und Anwendungen. Fraunhofer
- Strüker, Jens (2016): Bit für Bit in das Internet der Energie. Handelsblatt Journal Energiewirtschaft - Sonderveröffentlichung von Handelsblatt und Euroforum, (Juni 2016), S. 3-4
- Takagi, Soichiro; Edgar, Edmund; Oiwa, Hiroshi; Kano, Yuzo; Kusunoki, Masanori; Shibata, Koichi; Sugii, Yasunori; Takagi, Masanobu; Cho, Toshiya; Toriyama, Shinichi; Hatta, Masayuki; Hirose, Kazumi; Yamazaki, Shigeichiro (2017, 12. April): Evaluation Forms for Blockchain-Based System ver. 1.0. (METI - Ministry for Economy, Trade and Industry, Hrsg.) Online verfügbar unter: [http://www.meti.go.jp/english/press/2017/pdf/0329\\_004a.pdf](http://www.meti.go.jp/english/press/2017/pdf/0329_004a.pdf) [03.10.2017]
- Tapscott, Don; Tapscott, Alex (2016): Die Blockchain-Revolution: wie die Technologie hinter Bitcoin nicht nur das Finanzsystem, sondern die ganze Welt verändert. (2. Aufl.). Kulmbach: Plassen Verlag
- Tietz, R. (1982): Verhandlungsprozesse als Bausteine ökonomischer Systeme, in: Systemtheorie und Kybernetik in Wirtschaft und Verwaltung, Beiträge zur Tagung der Gesellschaft für Wirtschafts- und Sozialkybernetik 1981, Hrsg.: R. Pfeiffer, H. Lindner, Berlin 1982, S. 389-400.
- Umweltbundesamt (Hrsg.) (2017): Erneuerbare Energien in Deutschland Daten zur Entwicklung im Jahr 2016, S. 5-13
- Voshmgir, Shermin (2016): Blockchains, Smart Contracts und das Dezentrale Web. (Christian Hammel, Hrsg.). Technologiestiftung Berlin
- Weltenergieerat - Deutschland e.V. (Hrsg.) (2017): Energie für Deutschland - Fakten, Perspektiven und Positionen im globalen Kontext | 2017; Schwerpunktthema: Blockchain - Digitaler Treiber für die Energiewende. Berlin
- Wood, Gavin (2014): Ethereum: A secure decentralised generalised transaction ledger. Ethereum Project Yellow Paper
- Zile, Kaspars; Strazdina, Renate (2018): Blockchain Use Cases an their Feasibility. Applied Computer Systems, (Vol. 23, No. 1), S. 12-20.

## KONTAKT

Christopher Schwöbel, B. Sc.  
Hochschule Osnabrück  
Caprivistrasse 30a, 49076 Osnabrück  
[Christopher.Schwoebel@t-online.de](mailto:Christopher.Schwoebel@t-online.de)

Prof. Dr. Frank Bensberg  
Hochschule Osnabrück  
Caprivistrasse 30a, 49076 Osnabrück  
[F.Bensberg@hs-osnabrueck.de](mailto:F.Bensberg@hs-osnabrueck.de)

Prof. Dr. Christian Gerth  
Hochschule Osnabrück  
Caprivistraße 30a, 49076 Osnabrück  
[C.Gerth@hs-osnabrueck.de](mailto:C.Gerth@hs-osnabrueck.de)