

3.1 Blaupause 7: Peer-to-Peer Stromhandel mittels Blockchain

Blaupause	
Zielgruppen	<ul style="list-style-type: none"> ■ Forschung ■ Energieversorger ■ Aggregatoren/ VKW-Betreiber
Ausgangslage und Problemstellung	<p>Besonders bei regionalen und lokalen P2P-Märkten, die eine Vielzahl von Anlagen und Verbrauchern in den Handel einbinden möchten, rücken Fragen zum Umgang mit großen Datenmengen und des Datentransfers in nahezu Echtzeit in den Mittelpunkt. Dabei muss ein sicherer und vertrauenswürdiger Austausch von Daten gewährleistet werden. Zusätzlich dürfen für den Handel mit sehr geringen Energiemengen nur geringe Transaktionskosten anfallen.</p>
Lösungsansatz	<p>Dies verspricht die Blockchain-Technologie, mit der eine unveränderliche und transparente Aufzeichnung von Erzeugungs- und Verbrauchsdaten, Transaktionen und Vermögenswerten ermöglicht wird. In zwei Schaufenstern wurden unterschiedliche Anwendungsfälle eines P2P-Marktes mittels Blockchain erprobt.</p>
Einordnung in Prozessschema der Flexplattformen	<p>Kontrakt-dauer</p> <p>1 M</p> <p>1 d</p> <p>4 h</p> <p>1 h</p> <p>30 min</p> <p>15 min</p> <p>beliebig</p> <p>System-/Regelzonenebene</p> <p>FCR Frequency Containment Reserve</p> <p>mFRR manual Frequency Restoration Reserves</p> <p>aFRR automatic Frequency Restoration Reserves</p> <p>reBAP regelzonenübergreifender einheitlicher Bilanz-Ausgleichsenergiepreis</p> <p>Regional (HS-Ebene)</p> <p>NEW 4.0: Energieplattform</p> <p>Lokal (Nachbarschaft, NS/MS-Ebene)</p> <p>C/sells: WIRCommunity</p> <p>Mittelfrist/ Langfrist</p> <p>M-0</p> <p>D-2</p> <p>D-1</p> <p>D-0</p> <p>t₀</p> <p>D+1</p> <p>M+1</p>
Technologiereifegrad	<p>1 2 3 4 5 6 7 8 9</p> <p>TRL 6 – 7: Z. T. Demonstrationsanlage/-konzept in anwendungsähnlicher Umgebung funktioniert. Z. T. Prototyp mit systemrelevanten Eigenschaften existiert und wird im Betriebsumfeld getestet.</p>
Eingeflossene SINTEG-Aktivitäten	<ul style="list-style-type: none"> ■ WIRCommunity ■ EnergiePlattform
Innovationsgehalt	<ul style="list-style-type: none"> ■ Für den OTC-Bereich konnten neuartige Handelsprodukte erprobt werden. ■ Die rechtskonforme Einbindung von Daten aus SMGWs auf einer Blockchain-basierten Plattform konnte demonstriert werden.
Bedingungen für Übertragbarkeit und Skalierbarkeit	<ul style="list-style-type: none"> ■ Weiterentwicklung der Ansätze und großflächige Demonstration unter realitätsnahen Bedingungen in Verbindung mit einer systematischen Bewertung alternativer Marktmechanismen und Plattfordesigns. Hierfür müssen Fragen der Skalierbarkeit und Interoperabilität der Blockchain-Technologie geklärt werden. ■ Anpassung des regulatorischen Rahmens (Anreize für lokalen P2P-Handel, Rolle eines Prosumers und des Plattformbetreibers); Klären rechtlicher Fragen zu Datenschutzaspekten, Status von Krypto-Assets und Smart Contracts. ■ Flächendeckende Ausstattung mit Smart-Meter-Infrastruktur.

PROBLEMSTELLUNG

Der P2P-Handel, der insbesondere im C2C-Bereich einen direkten Handel zwischen kleinteiligen Erzeugern, wie PV-Aufdachanlagen auf Privathäusern, und dem Endverbraucher ermöglichen soll, steht vor der Herausforderung mit großen Datenmengen effizient umzugehen. Daher ist das Thema P2P-Handel eng mit Themen der Digitalisierung des Energiesystems verlinkt. Erst durch den Einsatz von digitalen Plattformen können die Kosten für das Sammeln, den Austausch und das Nutzen von Daten gesenkt werden. Die Transaktionskosten müssen für den P2P-Handel so weit gesenkt werden, dass ein tragbares Kosten-Nutzen-Verhältnis für die Marktteilnehmer entsteht, und der Handel von unter Umständen sehr geringen Energiemengen ermöglicht wird. Herausforderungen zeigen sich ebenfalls bei der sicheren und geschützten Erhebung, Aufbewahrung und Weitergabe von Daten. Insbesondere im B2B-Bereich spielen auch zuverlässige und nachvollziehbare Systeme zur Verifikation einer berechtigten Marktteilnahme und Transaktion eine große Rolle. Neben der Gestaltung des Marktdesigns oder der Produkte, stehen also maßgeblich Fragen der praktischen Umsetzung im Vordergrund.

AUSSERHALB VON SINTEG ERREICHTER KENNNTNIS- UND ENTWICKLUNGSSTAND

Um diese Herausforderungen zu adressieren, wird der Einsatz der Blockchain-Technologie insbesondere im Zusammenhang mit P2P-Märkten diskutiert. Bei der Blockchain-Technologie handelt es sich um eine verteilte Datenbank („distributed ledger“). In dieser werden digitale Datensätze, Ereignisse oder Transaktionen in chronologischer Reihenfolge für alle Teilnehmenden nachvollziehbar in Datenblöcken gespeichert und unveränderbar miteinander verkettet. Im Gegensatz zu herkömmlichen Datenbankstrukturen erfolgt die Datenhaltung nicht auf zentralen Servern, sondern alle im Netzwerk beteiligten Akteure sind an der Datenhaltung beteiligt. Neue Transaktionen werden in einem automatisierten Abstimmungsprozess im Konsens hinzugefügt. Aus dieser Funktionsweise leiten sich die Vorteile der Blockchain-Technologie ab.

Von besonderer Bedeutung ist, dass der Konsensmechanismus der Blockchain-Technologie Vertrauen zwischen (sich unbekannt) Akteuren schafft, ohne die Notwendigkeit einer zentralen Instanz. Dadurch können klassische Intermediäre wie z. B. Zahlungsdienstleister oder Börsen ersetzt werden. Weiterhin gilt die Blockchain als manipulationssicher und durch ihre dezentrale Verteilung als besonders zuverlässig. Grundsätzlich kann die gesamte Transaktionshistorie von jedem Mitglied jederzeit eingesehen werden. Dies kann besonders für unterschiedliche Akteure, die eine gemeinsame Datenbasis benötigen, ein entscheidender Vorteil sein. Zusätzlich schafft die Transparenz Vertrauen unter den Akteuren und macht somit die Vermittlungsfunktion eines Intermediärs überflüssig. Nicht zuletzt verspricht vor allem die Implementierung von sogenannten Smart Contracts ein signifikantes Automatisierungspotenzial. Durch deren automatisierte Ausführung kann eine höhere Vertragssicherheit gewährleistet werden, da nachträgliche Änderungen der getroffenen Vereinbarung nur schwer möglich sind. Dadurch können grundsätzlich Transaktionskosten gesenkt werden (BNetzA, 2019b).

Die Konzepte auf denen Blockchains basieren, beruhen auf mehr als dreißig Jahren Forschung. Im Jahr 2008 wurde das Konzept der Kryptowährung Bitcoin in dem Paper „Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System“ beschrieben. Darauf folgte in 2009 der erste praktische Anwendungsfall der Blockchain-Technologie im Finanzsektor mit Bitcoin (FFE,

2018). Seitdem hat sich die Technologie rasant entwickelt. Mit Bitcoin zeigt die Technologie, dass Transaktionen zwischen sich unbekanntem Akteuren ohne Intermediär automatisiert und zuverlässig durchführbar sind. Die seit 2015 öffentlich zugängliche Blockchain von Ethereum, die um sogenannte Smart Contracts erweitert wurde, belegt, wie komplexe Geschäftsprozesse automatisiert mit Hilfe der Blockchain-Technologie abgebildet werden können. Dennoch steht die Blockchain-Technologie in vielen Bereichen mit ihrer Entwicklung noch am Anfang (BNetzA, 2019b).

Nach dem ersten Hype um die Blockchain-Technologie, der BDEW stellt eine Lücke zwischen hohen Erwartungen und einer geringen Anzahl an marktreifen Anwendungen und Einschätzungen zur technischen Machbarkeit sowie zu dem wirtschaftlichen Mehrwert der Technologie fest (BDEW, 2017a). Neuere Studien und Veröffentlichungen von Branchenvertretern versuchen daher das Potenzial der Blockchain-Technologie für verschiedene Anwendungsfälle in der Energiewirtschaft einzuordnen, derzeit bestehende Limitationen der Technologie aufzuzeigen und ihre technologische Reife einzuschätzen. Ein hohes theoretisches Potenzial in Deutschland wird der Technologie in den Bereichen Grün- und Regionalstromzertifizierungen, Abrechnungsprozesse im Bereich der E-Mobilität, P2P-Stromhandelsmodelle, Marktkommunikationsprozesse und der Bereitstellung und Abrechnung von Systemdienstleistungen und Flexibilitäten zugeschrieben (BDEW, 2017a; dena, 2019a).

In den letzten Jahren sind zahlreiche Konzepte, Versuche und Pilotprojekte in der Energiewirtschaft entstanden. Einen systematischen Überblick der globalen Aktivitäten liefert Andoni et al. (2019) und die im Rahmen von SINTEG entstandene Studie der Technischen Universität Berlin (TU Berlin) von Corusa, Predel und Schöne (2020), sowie im Blockchain-Radar des BDEW und PricewaterhouseCoopers [PwC] (2019), der auf europäische Projekte fokussiert. Basierend auf diesen Veröffentlichungen zeigen sich die folgenden Entwicklungen:

- **Geographische Verteilung:** Eine hohe Anzahl an Projekten befindet sich auf dem europäischen Kontinent. Hier sticht insbesondere Deutschland mit vielen Projekten hervor. Zusätzlich weisen die Niederlande, Großbritannien und die Schweiz hohe Aktivitäten auf. Eine hohe Anzahl an Projekten findet sich ebenso in den USA.
- **Verteilung nach Anwendungsbereich:** Ungefähr jedes dritte Projekt kann in den Bereich P2P-Handel eingeordnet werden. Hier liegen Unterschiede der Projekte besonders in dem Einzugsbereich der P2P-Plattform (regional, überregional, landesweit, grenzüberschreitend). Ein weiterer Bereich mit vielen Aktivitäten sind sogenannte Shared-Investments und das Assetmanagement. Eine bisher eher geringere Anzahl von Aktivitäten ist im Bereich der Elektromobilität zu finden.
- **Verteilung nach Blockchain-Plattform:** Die meisten Blockchain-Lösungen stützen sich auf die etablierte Ethereum-Blockchain. Andere populäre Plattformen, die von einem Anbieter zur Verfügung gestellt werden, sind das Energy Web, Hyperledger und Tendermint. Corusa et al. (2020) weist zusätzlich daraufhin, dass viele Unternehmen nicht bereit sind, die von ihnen gewählte Plattform transparent darzulegen.

Andoni et al. (2019) zeigen außerdem, dass die meisten Projekte noch auf den äußerst energieintensiven Proof-of-Work Konsensmechanismus zurückgreifen. Der Anteil könnte allerdings in Zukunft deutlich abnehmen, wenn Ethereum den schon formulierten Wunsch zu anderen Konsensmechanismen zu wechseln in die Tat umsetzt. Nach einer Konsulta-

tion der BNetzA (2020) finden in den Netzsektoren in Deutschland öffentliche Blockchains (insbesondere solche, die den Proof-of-Work Konsensmechanismus verwenden) praktisch keine Anwendung.

IN SINTEG AUFGEZEIGTE WEITERFÜHRENDE LÖSUNGSANSÄTZE BZW. ALTERNATIVE LÖSUNGSANSÄTZE

Die in SINTEG erarbeiteten Lösungen für P2P-Märkte fokussieren sich auf zwei unterschiedliche Anwendungsfälle, den lokalen C2C-Handel sowie den regionalen B2B-Handel. Für deren Beschreibung wird zwischen einer Marktebene, die das Markt- und Produktdesign darstellt, und der Plattformebene, die den Handel und Datenaustausch ermöglicht, unterschieden. Wie bereits bei den Produktdefinitionen für die Flexplattformen (siehe Abschnitt 2.1) festgestellt wurde, zeigen die SINTEG-Lösungen auch hier, dass Marktdesign- und Produktparameter angepasst werden können, ohne die Plattformprozesse und Informationsflüsse anpassen zu müssen. Dadurch ist das Plattfordesign grundsätzlich für die Darstellung oder Kombination unterschiedlicher Anwendungsfälle und Produkte geeignet. Die Blockchain schafft hierfür eine transparente, vertrauenswürdige Datenbasis von Erzeugungs- und Verbrauchsdaten, die auch von anderen Akteuren genutzt werden könnten, beispielsweise dem BKV oder NB.

Im Folgenden werden die Lösungen beider Lösungsansätze beschrieben:

- Im **WIRCommunity**-Projekt wurden fünf Haushalte und Gewerbeeinheiten mit PV-Erzeugungsanlagen im Raum Waghäusel eingebunden, sowie 33 virtuelle Konsumenten über eine Handelsplattform miteinander vernetzt. Für den Feldtest wurden erstmals Einspeisedaten aus installierten SMGW eingebunden, die vom zuständigen Messstellenbetreiber NetzeBW ausgelesen wurden. Reine Verbrauchszähler wurden zum Auslesen mit einer OLI-Box der OLI Systems GmbH ausgestattet. Zusätzlich wurde die Handelsplattform von implementierten Steuerboxen mit Daten gespeist, sowie dem angebundenen D3A-Simulationsframework der Energy Web Foundation. Die Handelsplattform besteht dabei aus einer Webplattform, die durch die Blockchain-Technologie abgesichert ist. Mit Hilfe des Simulationsframeworks und unter dem Einsatz von (intelligenten) Bietagenten werden Erzeugung und Verbrauch prognostiziert und Kaufs- und Verkaufsgebote vollautomatisch platziert. Konsumenten würden Strom über die WIRCommunity beziehen, wenn dieser günstiger ist als die herkömmliche Strombelieferung. Angebot und Nachfrage werden auf der Webplattform gematcht. Die Blockchain übernimmt die Dokumentation von Geboten und Handelsergebnis. Die Smart Contracts schließen einen Doppelverkauf aus und können ebenfalls das Clearing und Settlement abwickeln, wobei diese Prozessschritte nicht im Rahmen des SINTEG-Projekts erprobt wurden. Als Blockchain wurde die Volta Blockchain der Energy Web Foundation ausgewählt. Im Rahmen des Projekts wurden ebenfalls Simulationen auf Basis unterschiedlicher Szenarien durchgeführt. Hierfür wurde der Handel mit unterschiedlichen Verbrauchs- und Erzeugungszeitreihen über die WIRCommunity modelliert. Die Ergebnisse zeigen, dass mit dem untersuchten lokalen P2P-Handel ein Selbstversorgungsgrad von 50 % erreicht (ohne Einbindung von Speichern oder Flexibilisierung der Nachfrage) und die wirtschaftliche Vermarktung von Post-EEG-Anlagen ermöglicht werden kann. Für die Erreichung höherer Autonomiegrade wäre eine Flexibilisierung der Nachfrage notwendig (Brenner et al., 2020).
- Bei der **EnergiePlattform** konnten im Feldtest drei Industrieunternehmen als Großverbraucher Überschussenergie handeln, sowie Windstrom für eine Power-to-Heat-Anlage und die Kunden eines Stadtwerkes bezogen werden. Die Energieplattform besteht dabei

aus dem Marktplatz und einer sogenannten „Fernwirkplattform“. Die technische Umsetzung des Marktplatzes basiert dabei auf dem Projekt Enerchain der Ponton GmbH. Auf der Marktseite werden über eine API-Schnittstelle zu den Händlern, Kaufs- und Verkaufsgabote in die Blockchain geschrieben. Alle Marktteilnehmer, die auf die Blockchain zugreifen, erhalten somit Order-Nachrichten und können diese in ihren Handelssystemen darstellen. Soll ein Zuschlag erfolgen, wird eine Execution-Nachricht an die Blockchain gesendet. Durch das Validieren der Nachrichten im Rahmen des Konsensmechanismus der Blockchain kann festgestellt werden, ob eine Order bereits durch einen anderen Händler konsumiert wurde. Kommt es zum Zuschlag, wird das Ergebnis als verbindlicher Vertrag über die Blockchain an die Fernwirkplattform mit dem von Hamburg Energie entwickelten Fernwirk-Adapter übermittelt. Über diese können die Erzeugungs- und Verbrauchsanlagen für das entsprechende Zeitintervall angesteuert werden. Für die vollautomatische und instantane Abwicklung des Handels wurden sogenannte „Bots“ eingesetzt. Für die eingesetzte konsortiale Blockchain wurde die Software von Tendermint verwendet. Die eingestellten Gebote können zusätzlich mit Eigenschaften, wie Art der Erzeugungsanlage und Herkunft ausgestattet werden.

In beiden Projekten wurde die Blockchain-Technologie eingesetzt. Sie übernimmt in beiden Projekten auch ähnliche Funktionen. Sie stellt eine manipulationssichere, transparente und dennoch pseudonymisierte Möglichkeit dar, jeden Prozessschritt zu dokumentieren. Die Datenerfassung und der Datenabgleich über die Blockchain ermöglichen es die zeitgleiche Erzeugung und den Verbrauch von Strom zu belegen. Damit kann sie einen detaillierten Nachweis der Belieferung mit regionalem, regenerativ erzeugtem Strom liefern. Bei der Energieplattform ersetzt die Blockchain vollständig eine zentrale Instanz und die Daten werden ausschließlich dezentral verwaltet. Smart Contracts kommen nicht zum Einsatz, stattdessen werden auf Kundenseite intelligente Handelsagenten eingesetzt, die die Interessen und Präferenzen des jeweiligen Teilnehmers repräsentieren und externe Einflussfaktoren (bspw. Wetterlagen) mit beachten. In der WIRCommunity wird ein hybrides Modell verfolgt, in dem das Matching über eine zentrale Plattform im Rahmen einer Auktion erfolgt, diese leitet die Daten zur Absicherung an die Blockchain weiter. Grundsätzlich wäre das Matching auch mit den eingesetzten Smart Contracts durchführbar, aber aufgrund der Erhöhung der Transaktionskosten wurde dies nicht über die Blockchain umgesetzt (Brenner et al., 2020).

In der nachfolgenden Tabelle 11 wird das Markt- und Plattfordesigns der beiden SINTEG-Lösungen noch einmal zusammenfassend dargestellt. Darauf folgt eine Einschätzung des Mehrwerts der SINTEG-Lösungen in Bezug auf den spezifischen Anwendungsfall.

Charakteristika	P2P Handel im B2B Bereich - EnergiePlattform	P2P Handel im C2C Bereich - WIRCommunity
Marktebene		
Marktstruktur	<ul style="list-style-type: none"> ■ Regionaler Markt (HS-Ebene); ■ „Echter P2P-Markt“ mit multi-bilateralen (verbindlichen) Verträgen (OTC). 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Lokaler Markt (Nachbarschaft); ■ P2P-Markt mit Auktionator und Intermediär, der energiewirt. Verpflichtungen übernimmt.
Produkt	<ul style="list-style-type: none"> ■ Bilateraler ID-Handel bis in die Erbringungsviertelstunde; ■ Minuten Zeitscheiben möglich; ■ Menge-Preis-Gebot mit Angabe des Erzeugungsortes, Erzeugungsart oder CO2-Einsatz, teilweiser Zuschlag möglich. 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Kontinuierlicher ID-Handel bis 15 min vor Echtzeit; ■ 15 min Zeitscheiben; ■ Menge-Preis-Gebot, teilweiser Zuschlag möglich.
Plattformebene		
Handel und Datenaustausch	<p>Marktseite:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Handelsprogramme, sogenannte „Bots“, erstellen vollautomatisiert Gebote und schreiben diese in die Blockchain; ■ Bots kommunizieren einen Zuschlag an die Blockchain. <p>Fernwirkseite:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Gebote sind mit Anlagen-IDs versehen; nach digitalem Vertragsabschluss werden Handelsdaten an die Fernwirkseite übermittelt; ■ Der sog. Fernwirkadapter steuert Anlagen entsprechend des Marktergebnisses. 	<p>Webplattform:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Ermöglicht die Eingabe von Standortdaten, Anlagentyp und ID; ■ Erstellung von Kaufs- und Verkaufsgeboten und übermittelt diese an die Smart Contracts; ■ Führt das Matching durch; ■ Bekommt Verbrauchs- und Erzeugungsdaten von aktiven externem Marktteilnehmer aus iMSys und übermittelt diese an die Smart Contracts.
Funktionalität der Blockchain	<ul style="list-style-type: none"> ■ Kommuniziert Angebot und Nachfrage zwischen Marktteilnehmern, sowie das Handelsergebnis zwischen Marktplatz und Fernwirkplattform; ■ Schließt Doppelverkauf aus; ■ Speichert unveränderlich Angebot und Nachfrage, sowie Marktergebnis; ■ Schafft zeitlich und örtlichen Nachweis des regionalen Grünstrombezugs; 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Speichert unveränderlich Angebot und Nachfrage, sowie das Marktergebnis; <p>Smart Contract:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Verifiziert die Matchingergebnisse, prüft ob ausreichend Tokens vorhanden sind, schließt Doppelverkauf aus; ■ Kommuniziert die Ergebnisse an die Webplattform; ■ Initiiert Settlement mit Transfer von Tokens;
Mehrwert der SINTEG-Lösung	<ul style="list-style-type: none"> ■ Ermöglicht den Ausgleich kurzfristiger Erzeugungs- und Verbrauchsschwankungen mit regionalen, grünen Produkten ohne Intermediär; ■ Der bilaterale Handel ermöglicht eine individuelle Produktgestaltung hinsichtl. der zeitlichen Auflösung; ■ Anlagen können basierend auf abgeschlossenen Verträgen in Echtzeit angesteuert werden. 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Rechtskonforme Einbindung in SMGW-Infrastruktur; ■ Durch die Einbettung in ein Simulationsframework konnten verschiedene Bieterstrategien, Marktmechanismen und Förderregime (EEG-Anlagen, Nicht-EEG-Anlagen) untersucht werden.

Tabelle 11: Darstellung der in SINTEG erarbeiteten Lösungsansätze eines Peer-to-Peer-Handels mittels Blockchain

INNOVATIONSGEHALT

Hinsichtlich der eingesetzten Blockchain-Technologie reihen sich die SINTEG-Aktivitäten in den Kontext internationaler Forschungsinitiativen und Projektaktivitäten ein. Die noch junge Technologie ist bisher noch nicht in der Energiewirtschaft etabliert, viele diskutierte Anwendungsfälle (bspw. Abwicklung des Stromlieferantenwechsels, Abrechnung von Entgelten und Umlagen) befinden sich bisher in einem Proof-of-Concept Stadium und nur einzelne Lösungen wurden bereits in Pilotprojekten getestet. Die technische Machbarkeit und der wirtschaftliche Nutzen der Blockchain-Technologie ist für viele Anwendungsfälle in der

Energiewirtschaft noch unklar (dena, 2019a). Entsprechend bedeutete die Erprobung der Technologie unter praxisnahen Bedingungen in den SINTEG-Projekten für die beteiligten Unternehmen einen Wissensgewinn für mögliche Geschäftsmodelle, den Umgang mit der Blockchain-Technologie und für mögliche Vorteile hinsichtlich der Abbildung eines Marktplatzes mit der Hilfe der Blockchain-Technologie. Dieser Wissensgewinn wurde insbesondere dadurch gefördert, dass die Pilotprojekte von verschiedenen Akteuren aus der Wirtschaft, sowie Technikunternehmen, Unternehmen aus der Energiewirtschaft und Industrieunternehmen sowie Institutionen aus der Wissenschaft begleitet wurden.

Als Neuheit ist hierbei die Kombination von Blockchain-Technologie und Einbindung der SMGW-Infrastruktur bei der WIRCommunity zu bewerten. Dies wurde durch die Zusammenarbeit mit dem grundzuständigen Messstellenbetreiber und dessen Einbindung in den P2P-Handel ermöglicht. Aufbauend auf dem Vorgängerprojekt Enerchain, zeigte die EnergiePlattform, dass über die Blockchain-Technologie ein gänzlich neuartiger OTC-Handelsplatz ohne Intermediär aufgebaut werden kann. Dieser erlaubt den Unternehmen erstmals in Echtzeit regionalen, regenerativen Strom zu handeln und das Handelsergebnis automatisiert an den jeweiligen Anlagen umzusetzen. Die Projekte zeigten jedoch auch, dass der Übertragbarkeit und Skalierbarkeit der entwickelten Handelsplätze mittels Blockchain-Technologie derzeit noch Grenzen gesetzt sind. Diese derzeit noch offenen Fragen für weitere Forschung und Erprobung werden in den nächsten Abschnitten behandelt.

WEITERE ENTWICKLUNGSMÖGLICHKEITEN

Der größte Mehrwert für die Umsetzung von Blockchain-basierten P2P-Märkten in SINTEG entstand durch die Kollaboration entlang verschiedener Partner zur Entwicklung der Blockchain-Lösungen. Somit konnten Kompetenzen und Ressourcen gebündelt werden. Die erfolgreiche Durchführung der Feldtests im Rahmen von SINTEG zeigte die praktische Machbarkeit der vorgestellten Konzepte. Die dargestellten Bedingungen der Skalierbarkeit und Übertragbarkeit beschreiben die derzeit offenen Fragen für weitere Forschungsarbeiten und Pilotprojekte. Dazu gehört die praktische Erprobung der Interoperabilität und Skalierbarkeit sowie eine Bewertung des regulatorischen und wirtschaftlichen Potenzials für einen breitflächigen Einsatz einer Blockchain-Lösung in P2P-Märkten. Weiterhin erfordern die beiden vorgestellten Lösungsansätze in SINTEG noch weitere Entwicklungsschritte, um alle Anforderungen einer Endanwendung zu erfüllen.

Die in SINTEG durchgeführten Tests der WIRCommunity zeigen, dass deren Aufbau und Konzept in einer anwendungsähnlichen Umgebung funktioniert. Für die weitere Entwicklung der Plattform und den tatsächlichen Betrieb müssten noch die Abrechnungsprozesse erprobt werden. In dem Projekt konnte das Bieterverhalten nur weitgehend automatisiert und simulativ getestet werden und damit das reale Bieterverhalten nicht analysiert werden. Dies wäre allerdings auch erst ab einer hohen Teilnehmendenzahl möglich. Die durchgeführten Simulationen zeigen, dass der Selbstversorgungsgrad mit weiteren Maßnahmen, bspw. wenn eine aktive Steuerung von Erzeugung und Last vorgenommen wird, erhöht werden kann. Dies sollte Fokus weiterer Forschung sein. Eine mögliche Umsetzung dieser aktiven Steuerung könnte die Erweiterung der Handelsplattform um eine Komponente ähnlich der Funktion, die die „Fernwirkplattform“ bei der EnergiePlattform sein.

Bei der Umsetzung der EnergiePlattform wurden die Schnittstellen zu den Marktteilnehmern für den Feldtest individuell entwickelt. Für eine großflächigere Umsetzung wäre eine Standardisierung vermutlich sinnvoll. Zusätzlich sollten Fragen der Governance (wer erhält Schreib-

und Leserechte?) und des Plattformbetriebs (wer übernimmt Wartung und Instandhaltung? Wie wird der Marktzugang geregelt?) im Detail vorab geklärt werden. Die Beantwortung dieser Fragen kann einen entscheidenden Einfluss auf die Bewertung eines möglichen kommerziellen Betriebs einer auf Blockchain basierenden Handelsplattform haben. Die EnergiePlattform könnte durch die geringen Transaktionskosten auch prinzipiell für kleine Anlagen oder sogar Prosumer attraktiv sein, wobei deren Einbindung nicht erprobt wurde.

BEDINGUNGEN FÜR ÜBERTRAGBARKEIT UND SKALIERBARKEIT

Für einen breitflächigen Einsatz der Blockchain-Technologie in der Energiewirtschaft bestehen noch Herausforderungen hinsichtlich der Skalierbarkeit und offene rechtliche Fragen gegenüber, die in weiteren Pilotprojekten und Forschungsarbeiten aufgelöst werden müssen. Dazu gehört unter anderem die Transaktionsgeschwindigkeit. Bei der Erprobung der EnergiePlattform, konnte gezeigt werden, dass eine zweistellige Anzahl von Transaktionen in Sekundenschnelle abgewickelt werden kann. Die Herausforderung bei der Skalierbarkeit besteht darin, dass sich mit steigender Transaktionsanzahl die Durchlaufzeit, also die Zeit, die es dauert, bis die Nachricht eines Teilnehmers bei einem anderen Teilnehmer ankommt, merklich verlangsamt. Dies konnte durch die Abwicklungen einzelner Transaktionen bzw. Use Cases im Rahmen von SINTEG mit realen Marktteilnehmern nicht weiter erprobt werden. Im Rahmen der EnergiePlattform wird davon ausgegangen, dass mit Optimierungsmaßnahmen die Anzahl der Transaktionen auf 100 – 200 je Sekunde erhöht werden könnte. Das Erreichen einer ähnlich hohen Durchlaufzeit wie bei einem zentralen System wird zwar bezweifelt, allerdings wird die Umsetzung von Transaktionen im dreistelligen Bereich pro Sekunde als ausreichend für einen regional begrenzten Handel eingeschätzt (NEW 4.0 - Norddeutsche Energiewende, 2021a, S. 675).

Ein weiteres Hindernis stellt die Interoperabilität dar. Es ist bisher nicht möglich, dass Informationen zwischen den unterschiedlichen Blockchains ausgetauscht werden, Vermögenswerte transferiert werden oder Smart Contracts auf Basis unterschiedlicher Blockchains ausgeführt werden (BNetzA, 2019b). Ein Handel zwischen P2P-Märkten ist daher bislang nur möglich, wenn diese auf Basis der gleichen Blockchain-Architektur aufgebaut sind. Neueste Arbeiten zeigen jedoch, dass dieses Hindernis mit weiterer Entwicklung der Technologie überwunden werden kann (Meinel & Gayvoronskaya, 2020).

Hinsichtlich des Rechtsrahmens kollidiert die Unveränderbarkeit von Daten bzw. Transaktionen, der maßgebliche Vorteil der Blockchain-Technologie mit fundamentalen Rechtsgrundsätzen wie der Nichtigkeit, der Anfechtbarkeit, der Rückabwicklung oder schwebenden Unwirksamkeit von Verträgen. Auch wenn diese Aspekte bei privaten und konsortialen Blockchains durch das bekannt sein der Teilnehmer weniger stark ausgeprägt sind, müssen jedoch die Verantwortlichkeiten im Falle einer mangelhaften oder Nichtleistung innerhalb des Netzwerkes klar geregelt sein. Dazu gehören auch insbesondere im C2C-Bereich die Vorgaben des Datenschutzrechtes. Hierbei muss geregelt werden, wie das Recht auf Löschung der eigenen personenbezogenen Daten, das Recht auf „Vergessenwerden“ sowie das Recht auf Datenportabilität umgesetzt werden.

Für einen breitflächigen Einsatz der Blockchain-Technologie sind intelligente Messsysteme unerlässlich. Die Digitalisierung des Messwesens gilt als Grundlage jeglicher Anwendungsfälle für die Blockchain. Die vertrauenswürdigen, abrechnungsrelevanten und geeichten SMGW könnten eine sehr gute Grundlage für den Einsatz der Blockchain-Technologie darstellen. Mit der Nutzung des SMGW kann die WIRCommunity damit überall dort eingesetzt wer-

den, wo diese Messinfrastruktur zum Einsatz kommt. Wird aufgrund eines fehlenden SMGW eine Parallelinfrastruktur installiert, um geeichte Zähler auszulesen, sind die so erfassten Messwerte nicht als abrechnungsrelevant zu betrachten (FFE, 2018).

In der WIRCommunity konnten PV-Anlagen auf Privathaushalten und Gewerbeeinheiten eingebunden werden, sowie exemplarisch zwei Freiflächen-PV-Anlagen, welche normalerweise über ein Power Purchase Agreement (PPA) direkt einen Großverbraucher beliefern. Diese können somit Überschussstrom im lokalen Markt anbieten. Dies zeigt die technische Umsetzbarkeit des Konzepts für verschiedene Typen von PV-Anlagen. Allerdings wurden Konsumenten ausschließlich virtuell eingebunden. Für die Umsetzbarkeit und Skalierbarkeit eines P2P-Marktes im C2C-Bereich ist die weitreichende Partizipation von Haushalten jedoch essenziell. Die entsprechende Bereitschaft an einem solchen Markt teilzunehmen oder sogar Anlagen in Privathaushalten aktiv ansteuern zu lassen, sowie reales Konsumentenverhalten innerhalb des Marktes gilt es für die Entwicklung und den Nachweis eines erfolgreichen Geschäftsmodells weiter zu untersuchen.

HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN

Auf Basis der in SINTEG erarbeiteten und bereits erprobten Lösungen können Forschungseinrichtungen Methoden und Modelle zur Simulation und Bewertung der energiewirtschaftlichen Rückwirkungen eines möglichen breitflächigen Einsatzes der Blockchain-Technologie aus Akteurs- und Systemsicht entwickeln. Für die Bewertung des Potenzials und Mehrwertes eines P2P-Handels mittels Blockchain ist weiterhin ein systematischer Vergleich mit dem Status quo und alternativen Lösungsansätzen (bspw. andere Distributed Ledger Technologien, dezentrale Web-Anwendungen) notwendig. Dabei stellt sich insbesondere die Frage des wirtschaftlichen Einsatzes der Technologie. Auch wenn die Blockchain niedrige Transaktionskosten verspricht, muss noch weiter belegt werden, welche Funktionen von der Blockchain übernommen werden können, um tatsächlich wirtschaftliche Transaktionen von wenigen Cents zu erlauben und selbst kaum Kosten zu verursachen.

Die weitere großflächige Erprobung von P2P-Märkten mittels Blockchain-Technologie mit der Einbindung von verschiedenen Akteuren aus Wirtschaft und Wissenschaft nach dem Vorbild der in SINTEG durchgeführten Projekte, ist anzuraten. Nur so können die derzeit noch bestehenden offenen Fragestellungen zu Interoperabilität und der Transaktionsgeschwindigkeit für die praktische Umsetzung des Marktes beantwortet werden. Dies gilt auch für das Verhalten von Prosumern und Konsumenten auf einem P2P-Markt im C2C-Bereich, das im Rahmen der WIRCommunity nicht untersucht wurde. In entsprechenden Demonstrationen könnten auch die auf Kategorieebene angesprochenen offenen Fragen der Ausübung von Marktmacht und strategischem Verhalten untersucht werden.

Der breitflächige Einsatz der Blockchain-Technologie hängt neben technischen Herausforderungen auch von der Klärung vieler rechtlicher und regulatorischer Fragestellungen ab. Dazu gehören Datenschutzaspekte, der rechtliche, steuerliche und buchhalterische Status von Krypto-Assets und der rechtliche Status von Smart Contracts. Hierfür müssten bestehende gesetzliche Regelungen angepasst oder tatsächlich neu definiert werden.