

Working Paper

Chancen und Risiken der Digitalisierung für eine nachhaltige
Energiewirtschaft – Am Beispiel von neuen Handlungsoptionen für
Markt und Netz

Öko-Institut Working Paper 5/2019

Christoph Heinemann
Dr. Dierk Bauknecht
Öko-Institut e.V.

Joß Florian Bracker



Öko-Institut e.V. / Oeko-Institut e.V.
Geschäftsstelle Freiburg / Freiburg Head Office
Postfach / P.O. Box 17 71
79017 Freiburg. Deutschland / Germany
Tel.: +49 761 45295-0
Fax: +49 761 45295-288

Büro Darmstadt / Darmstadt Office
Rheinstraße 95
64295 Darmstadt. Deutschland / Germany
Tel.: +49 6151 8191-0
Fax: +49 6151 8191-133

Büro Berlin / Berlin Office
Schicklerstraße 5-7
10179 Berlin. Deutschland / Germany
Tel.: +49 30 405085-0
Fax: +49 30 405085-388

info@oeko.de
www.oeko.de

Working Paper

Chancen und Risiken der Digitalisierung für eine nachhaltige Energiewirtschaft – Am Beispiel von neuen Handlungsoptionen für Markt und Netz

Christoph Heinemann

Dr. Dierk Bauknecht

Öko-Institut e.V.

Joß Florian Bracker

Working Paper 5/2019 Öko-Institut e.V. / Oeko-Institut e.V.

Oktober 2019

Download: <https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/05-WP-Digitalisierung-Energiewirtschaft.pdf>

Eigenprojekt gefördert durch

stiftung **zukunftserbe** 



Dieses Werk bzw. Inhalt steht unter einer Creative Commons Namensnennung, Weitergabe unter gleichen Bedingungen 4.0 Lizenz. Öko-Institut e.V. [Jahr]
This work is licensed under Creative Commons Attribution-Share Alike 4.0. Oeko-Institut e.V. [year]

Die Working Paper Series des Öko-Instituts ist eine Sammlung wissenschaftlicher Beiträge aus der Forschungsarbeit des Öko-Instituts e.V. Sie präsentieren und diskutieren innovative Ansätze und Positionen der aktuellen Nachhaltigkeitsforschung. Die Serie ist offen für Arbeiten von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern aus anderen Forschungseinrichtungen. Die einzelnen Working Paper entstehen in einem sorgfältigen wissenschaftlichen Prozess ohne externes Peer Review.

Oeko-Institut's Working Paper Series is a collection of research articles written within the scope of the institute's research activities. The articles present and discuss innovative approaches and positions of current sustainability research. The series is open to work from researchers of other institutions. The Working Papers are produced in a scrupulous scientific process without external peer reviews.

Zusammenfassung & Schlussfolgerung

Das Fokuspapier zeigt mögliche Nachhaltigkeitseffekte der Digitalisierung in der Energiewirtschaft auf. Dabei werden exemplarisch neue digitale Handelsplattformen für Energie und Flexibilität in den Blick genommen. Die Digitalisierung in der Energiewirtschaft wird vermehrt im Kontext des Energiehandels und der Nutzung von Flexibilität (Speichern und Lastmanagement) für den Netzbetrieb diskutiert. Dabei geht es um neue digitale Handelsplattformen, die zu neuen Prozessen in der Energiewirtschaft führen können und z.T. auf dezentralen Datenbanken und der Distributed-Ledger-Technik wie Blockchain basieren. Die Nachhaltigkeitseffekte der Digitalisierung werden einerseits am Beispiel von digitalen Plattformen für den Handel von regionaler Flexibilität für den Netzbetrieb (Flexibilitätsplattformen) diskutiert und andererseits anhand von digitalen Peer-to-Peer Handelsplattformen, die einen direkten Stromhandel ermöglichen.

Effizienter Betrieb des Energiesystems durch Digitalisierung

Das Energiesystem kann durch den Einsatz von Digitalisierungstechnologien effizienter betrieben werden. Zum einen, weil mittels Digitalisierungstechnologien die bestehende Infrastruktur (Kraftwerke, Netze) optimaler genutzt werden kann, zum anderen, weil die datenseitige Vernetzung Schnittstellen zwischen Erzeugung, Verbrauch, dem Netz und auch zwischen den Sektoren für einen effizienten Systembetrieb ermöglicht. Basis dafür ist die konstante Messung, Einbindung von Prognosen und teilweise automatisierte Steuerung von Kraftwerken und Elektrizitätsnetzen. Der effizientere Betrieb kann dazu führen, dass Ressourcen (z.B. Brennstoffe, neue Kraftwerke und Netze) eingespart werden. Die zusätzliche Vernetzung zwischen Akteuren und Anlagen auch in unterschiedlichen Sektoren ermöglicht die gesteuerte und optimierte Einbindung von kleinteiligen erneuerbaren Erzeugungsanlagen und dezentralen Flexibilitätsoptionen (Speicher und Lastmanagement).

Digitalisierung ermöglicht Integration im Energiesystem

Digitalisierungstechnologien können zudem eine Enabler-Funktion einnehmen. So wird über geringe Transaktionskosten und automatisierte digitale Prozesse die Integration von neuen Akteuren, neuen Geschäftsmodellen und die Sektorenintegration (Elektromobilität, Wärmepumpen) ermöglicht.

Die Datenerfassung durch Digitalisierungstechnologien im Rahmen der digitalen Handelsplattformen sollte kritisch beobachtet werden, um Datenmissbrauchsrisiken zu minimieren

In Bezug auf den Schutz privater Daten müssen digitale Handelsplattformen kritisch betrachtet werden, da die notwendige detaillierte Erfassung des Stromverbrauchs ein Datenmissbrauchsrisiko darstellt. Dabei ist die Datenerfassung durch Smart Meter aufgrund hoher Sicherheitsanforderungen an die Geräte nicht das Hauptproblem. Vielmehr geht von der Speicherung entsprechender Verbrauchsdaten durch Plattformbetreiber oder andere Dritte, die für die Abwicklung dezentraler Transaktionen verantwortlich sind, die größere Gefahr aus.

Distributed-Ledger bzw. Blockchain-Technologien weisen für den Einsatz im Rahmen von digitalen Handelsplattformen Vor- und Nachteile auf

Als Vorteil im Speziellen für dezentrale Datenbanken bzw. die Blockchain-Technologie wird die möglicherweise erhöhte Sicherheit gegen Ausfall der IT-Struktur durch die dezentrale Struktur der Blockchain aufgeführt. Zudem wird die Echtzeit-Übertragung herausgestellt, die insbesondere im Netzmanagement notwendig ist. Zentraler Nachteil der heutigen Blockchain-Technologien ist der immense Stromverbrauch für das Finden eines Konsenses zwischen den dezentralen Teilnehmern. Möglicher weiterer Nachteil von dezentralen Datenbanken bzw. der Blockchain-Technologie kann die Transparenz dieses Ansatzes sein. Es gilt zu überprüfen, ob die Manipulation der kritischen

Netzinfrastruktur durch die dezentrale Speicherung und Veröffentlichung aller Daten einfacher möglich ist. Diese Transparenz kann auch zu einem Missbrauchsrisiko für die Teilnehmerdaten führen. Zudem ist zu überprüfen, ob die Nachteile der Technologie in Kauf zu nehmen sind, wenn in der Energiewirtschaft etablierte Vertrauensinstanzen wie beispielsweise die Bundesnetzagentur existieren.

Flexibilitätsplattformen

Flexibilitätsplattformen sind digitale Plattformen für den Handel von regionaler Flexibilität für den Netzbetrieb. Flexibilitätsplattformen bieten die Grundlage mit einer hohen Prozessgeschwindigkeit kleine Anlagen automatisiert in das Netzmanagement einzubinden und die Kosten des Netzbetriebs über einen solchen Prozess zu minimieren. Der Netzbetreiber tritt als Nachfrager nach Flexibilität auf, um beispielsweise einen Netzengpass zu verhindern. Die Nutzung von dezentralen Flexibilitätsoptionen (z.B. Speicher und Lastverlagerung) würde also eine Alternative zur Abregelung der Einspeisung darstellen.

Ressourcen- und Energieverbrauch von Technologien zur Messung und Steuerung von flexiblen Lasten und Erzeugern sowie der Energieverbrauch der digitalen Handelsplattform ist zu berücksichtigen

Unter der Annahme, dass die Steuerung von Anlagen nicht manuell, sondern automatisiert durchgeführt wird, bilden digitale Messsysteme und Steuerungseinheiten die technologische Basis für die Bereitstellung und Abrechnung von Flexibilität. Detaillierte, auf den Lebensweg dieser Technologien bezogene Analysen, die auch die weitere notwendige Infrastruktur (Mobilfunknetz, Server etc.) berücksichtigen, existieren derzeit nicht. Der Energieverbrauch für den Betrieb der Handelsplattformen ist eine weitere zu berücksichtigende Komponente. Dabei ist zu berücksichtigen, wo die entsprechenden Server verortet sind und welcher Strommix von diesen genutzt wird. Derzeitige Blockchain-Technologien haben einen im Vergleich zu zentralen Datenbanken besonders hohen Stromverbrauch pro Transaktion.

Vermiedene Abregelung von EE-Erzeugungsanlagen, vermiedener oder verzögerter Netzausbau und Energieverluste durch Nutzung von Flexibilität zu erwarten

Durch den Einsatz von lokaler Flexibilität vor dem Netzengpass kann eine Abregelung von EE-Erzeugungsanlagen verhindert werden. Der erzeugte Strom kann in Speicher zwischengespeichert oder durch Lasterhöhungen direkt genutzt werden. Werden durch die Speicherung oder die Lasterhöhung unmittelbar oder zu einem späteren Zeitpunkt fossile Energieträger ersetzt, so reduzieren sich die Treibhausgasemissionen aufgrund der dadurch vermiedenen konventionellen Stromerzeugung. Durch den Einsatz von Flexibilität im Netzbetrieb kann zudem ein notwendiger Netzausbau verzögert oder ggf. auch vermieden werden. Dadurch können die Ressourcen für einen Ausbau des Netzes effizienter eingesetzt oder ggf. eingespart werden. Weiter weisen unterschiedliche Flexibilitätsoptionen Umwandlungsverluste und CO₂-Vermeidungspotenziale auf. Im Sinne einer ökologischen Merit-Order der Flexibilitätsoptionen sollten die Optionen zuerst genutzt werden, die hohe CO₂-Vermeidungspotenziale aufweisen.

Akzeptanzverlust für physischen Netzausbau sowie die Gefahr der Doppelvermarktung möglich

Es ist zu untersuchen, inwieweit die Möglichkeit der (temporären) Substitution des Netzausbaus mittels Nutzung von Flexibilitätsoptionen dazu führt, dass der für die weitere Energiewende notwendige Netzausbau weniger Akzeptanz erfährt. Ggf. könnte die Erwartungshaltung entstehen, dass kein Netzausbau mehr notwendig ist, und die Nutzung von Flexibilitätsoptionen den physikalischen Netzausbau ersetzen kann. Insbesondere bei parallel betriebenen Flexibilitätsplattformen ist zu

klären, wie eine Doppelvermarktung von Flexibilität vermieden werden kann. Wäre es möglich die angebotene Flexibilität auf mehreren Plattformen parallel zu vermarkten, würde im Falle eines Abrufes die Flexibilität ggf. nicht zur Verfügung stehen und die Systemstabilität gefährden. Darüber hinaus könnte eine Doppelvermarktung ebenso die Erhöhung der Kosten des Netzbetriebs nach sich ziehen, da zwei Zahlungen für die Bereitschaft einer Flexibilitätsoption geleistet werden. Aus diesem Grund sind Prozesse zum Abgleich zwischen unterschiedlichen Vermarktungsplattformen zu etablieren.

Peer-to-Peer Stromhandel

Einem direkten Stromhandel auf Basis von digitalen Peer-to-Peer Handelsplattformen wird oftmals ein großes Potenzial zugesprochen, die Transformation des Energiesystems hin zu einer erneuerbar basierten Stromversorgung stark zu unterstützen. Bestehende Plattformen bauen dabei auf Blockchain-Technologien auf. Die Effekte von digitalen Handelsplattformen für Strom sind jedoch insbesondere für die zukünftigen Marktrollen und Prozesse im Stromvertrieb relevant.

Energie- und Ressourcenverbrauch von Messeinrichtungen sowie der Stromverbrauch der digitalen Handelsplattform sind zu berücksichtigen

Der Energieverbrauch von Digitalisierungstechnologien stellt einen potenziellen Effekt dar, welcher bei einer umfassenden Nachhaltigkeitsbetrachtung nicht vernachlässigt werden darf. Darunter fallen einerseits Ressourcen und Energieverbrauch für Messeinrichtungen (Smart Meter). Auch der hohe Stromverbrauch von derzeitigen Blockchain-Technologien hat negative Auswirkungen auf die THG-Bilanz dezentraler Handelsplattformen. Zukünftige Anwendungen von Distributed Ledger/Blockchain-Technologien für die Abwicklung eines P2P-Handels sollten daher auf energiesparsamere Technologien basieren, damit der Nutzen dieser Anwendungen den dafür erforderlichen Energiebedarf rechtfertigt. Entsprechende technologische Weiterentwicklungen erscheinen hier wahrscheinlich.

Nur potenziell zusätzliche Zahlungsbereitschaft für neue oder bestehende erneuerbare Stromerzeugungsanlagen

Es ist von keinen starken Impulsen für einen zusätzlichen Ausbau der erneuerbaren Energien auszugehen. Grund hierfür ist, dass bisher nicht erkennbar ist, dass digitale Handelsplattformen relevante zusätzliche Erlösströme für erneuerbare Energien-Erzeuger bewirken, die über die zusätzliche Zahlungsbereitschaft von Kunden für erneuerbaren Strom hinaus gehen. Möglicherweise kann jedoch die zusätzliche Zahlungsbereitschaft insbesondere für Anlagen, die keine EEG-Förderung mehr erhalten besonders relevant sein.

Akzeptanz für einen zusätzlichen EE-Ausbau und Anreize für Nachfrageflexibilisierung zu untersuchen

Neue digitale Handelsplattformen und ein Peer-to-Peer (P2P)-Handel für erneuerbaren Energien können die Verbindung zwischen Verbrauchern und Stromerzeugern stärken. So kann theoretisch auch die Akzeptanz für den notwendigen weiteren Ausbau von EE-Anlagen gesteigert werden. Es liegen aber bisher keine empirischen Untersuchungen zu den realen Auswirkungen digitaler Handelsplattformen und einem P2P-Handel vor. Grundsätzlich könnte ein Handel auf digitalen Plattformen die Energiewende unterstützen, indem durch zeit-differenzierte Stromkostenanreize für einen systemdienlichen Energieverbrauch gegeben werden. Solche Anreize sind aber prinzipiell auch ohne digitale Handelsplattformen und einen P2P-Handel möglich, basieren dennoch auf digitalen Anwendungen.

Politische Empfehlungen

- Die Digitalisierung ist Basis für eine effiziente Einbindung von fluktuierenden Energien und Speichern sowie Integration von neuen Akteuren und Geschäftsmodellen und somit ein grundlegender Baustein für das Gelingen der Energiewende. Aus diesem Grund sollten die Rahmenbedingungen für den Einsatz neuer Technologien und Prozesse so gestaltet werden, dass Innovationen ermöglicht werden. Regulierung sollte zunächst Verbote vermeiden. Dabei stellt sich die Frage nach der Form der Digitalisierung: Was wird benötigt, um die effiziente Einbindung dezentraler Komponenten sicherzustellen? Anpassungen im regulatorischen Rahmen, um spezifische Geschäftsmodelle zu ermöglichen, sollten nur mit vorheriger Analyse von direkten, indirekten und systemischen Effekten auf die Nachhaltigkeit durchgeführt werden. Diese Analyse könnte unter anderem in regulatorischen Innovationszonen stattfinden.
- Auch in einem Szenario, in dem in Zukunft Peer-to-Peer-Stromlieferverträge einen relevanten Marktanteil haben, sollte die Verantwortlichkeit für Nachhaltigkeitsaspekte nicht komplett (oder hauptsächlich) in die Hände einzelner Konsumenten gelegt werden. Die Sozialisierung des notwendigen Beitrags zum Klimaschutz über öffentliche Fördermechanismen und ordnungspolitische Standards für die Zulassung und den Betrieb von EE-Anlagen sollten deshalb nicht aufgegeben werden. Standards zur Ökostrom-Zertifizierung sowie notwendige Förderungen zum EE-Ausbau zur Zielerreichung sollten nicht verwässert werden. Es sollte sichergestellt werden, dass darüber hinausgehende positive Beiträge zur Energiewende bestimmter Ökostrom-Angebote durch die Verbraucher leicht identifiziert und bei ihrer Konsum-Entscheidung berücksichtigt werden können.
- Grundlage für den Betrieb digitaler Handelsplattformen und für den P2P-Handel für (erneuerbare) Energien sind datenschutztechnisch sensible, zeitlich und räumlich hochaufgelöste Daten über den Stromverbrauch. Der vertrauensvolle und sichere Umgang mit diesen Daten muss durch entsprechende regulatorische Rahmenbedingungen und klare Verantwortlichkeiten sichergestellt werden. Verbraucherschützer, Regulierungsbehörden und die Politik sollten daher der Durchsetzung von Datenschutzleitlinien und -prinzipien wie der Datensparsamkeit und der Transparenz über die Sammlung und Nutzung der Verbraucherdaten eine hohe Priorität einräumen. Aus technologischer Sicht stellt sich die Frage, in wie weit digitale Handelsplätze für Energie und Flexibilität geschaffen werden können, welche die Speicherung sensibler nutzerbezogener Daten und damit auch das Datenmissbrauchsrisiko minimieren.
- Digitale Flexibilitätsplattformen für den Netzbetrieb können den Bedarf an einem Ausbau der Infrastrukturausbau (z.B. Übertragungsnetzausbau) zeitlich verschieben oder auch vermindern. Der Einsatz dieser Option sollte jedoch nicht dazu führen, dass notwendige Infrastrukturvorhaben vermieden oder verspätet umgesetzt werden, oder Netzengpässe unverrückbar werden. Aus diesem Grund muss von den zuständigen Stellen regelmäßig evaluiert werden, inwieweit dennoch ein Infrastrukturausbau für die Transformation des Energiesystems notwendig ist und die Ergebnisse auch mit Blick auf die Akzeptanz von Infrastrukturvorhaben in die Öffentlichkeit kommuniziert werden.

Forschungsbedarf

- Die quantitativen Vor- und Nachteile von neuen Handelsplattformen (sowohl für den Energiehandel als auch für das Netzmanagement) müssen wissenschaftlich und in der Praxis untersucht werden. Dazu gehört auch, den Anpassungsbedarf der regulatorischen Regeln zu evaluieren. Insbesondere nur schwer evaluierbare Kriterien wie beispielsweise erhöhte Akzeptanz für EE-Ausbau durch Peer-to-Peer Angebote sollten in den Fokus der Forschung rücken, da aus Nachhaltigkeitssicht hier die größten Effektunsicherheiten bestehen.
- Zu untersuchen ist zudem, welche Art und Größe der Plattformen effizient ist. Dabei stellt sich auch die Frage nach Monopolisierungstendenzen und den Effekten auf die Nachhaltigkeit und Datensicherheit. Grundsätzlich ist zu prüfen, ob Handelsplattformen ab einer bestimmten Größe

eine zu regulierende Infrastruktur darstellen, weil datenseitig eine Marktmacht entstehen kann und ggf. Zutrittsbarrieren aufgebaut werden können.

Möglichkeiten einer Doppelvermarktung von Energie (bzw. der diesbezüglichen Erzeugungseigenschaften), aber auch von Flexibilität, auf unterschiedlichen Plattformen müssen vermieden werden. Wird z.B. die Bereitschaft für die Lasterhöhung auf mehreren Märkten oder Plattformen parallel angeboten, so kann von einer Doppelvermarktung gesprochen werden. Besonders relevant ist das Thema bei schwer nachprüfaren Produkteigenschaften wie „Erzeugung aus erneuerbaren Energien“. Im Falle von Doppelvermarktung entstehen Gefahren für die Glaubwürdigkeit der Ökostromvermarktung oder auch für Höhe der Systemkosten und sogar der Versorgungssicherheit (im Falle einer „Mehrfachvermarktung“ der gleichen Flexibilitätsleistung). Geeignete Lösungskonzepte zum Ausschluss von Doppelvermarktungen z.B. durch einen Abgleich der Angebote zwischen unterschiedlichen Plattformen müssen daher erarbeitet werden.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung & Schlussfolgerung	5
Abbildungsverzeichnis	12
1. Einleitung	13
2. Methodik – direkte, indirekte und systemische Effekte	13
3. Digitalisierung in der Energiewirtschaft	14
3.1. Begriffsdiskussion „Digitalisierung in der Energiewirtschaft“	14
3.2. Status quo der Digitalisierung in der Energiewirtschaft	14
3.3. Allgemeine Potenziale der Digitalisierung in der Energiewirtschaft	15
4. Distributed Ledger Technologie, Blockchain, Bitcoin	16
5. Datensparsamkeit und –sicherheit auf digitalen Marktplätzen	17
6. Fokusthema I: Neue Koordinationsformen von Flexibilitätsoptionen für das Netzmanagement (Flexibilitätsplattformen)	18
6.1. Beschreibung von Flexibilitätsplattformen	18
6.2. Energiewirtschaftliche Effekte von Flexibilitätsplattformen	19
6.3. Analyse zentraler Nachhaltigkeitsaspekte	20
6.3.1. Direkte Nachhaltigkeitseffekte	20
6.3.2. Indirekte Nachhaltigkeitseffekte	21
6.3.3. Systemische Nachhaltigkeitseffekte	21
6.3.4. Distributed Ledger Technologien für Flexibilitätsplattformen	21
7. Fokusthema II: Peer-to-Peer-Handel mit Energie als neue Optionen für Verbraucher und Erzeuger erneuerbarer Energien	23
7.1. Beschreibung von Peer-to-Peer-Handel als neue Option für Verbraucher und Erzeuger	23
7.2. Energiewirtschaftliche Effekte von Peer-to-Peer-Handel mit Energie	25
7.3. Analyse zentraler Nachhaltigkeitsaspekte	27
7.3.1. Direkte Nachhaltigkeitseffekte	27
7.3.2. Indirekte Effekte	27
7.3.3. Systemische Nachhaltigkeitseffekte	28
8. Literaturverzeichnis	29

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 7-1: Akteursbeziehungen im heutigen Stromhandel und beim Peer-to-Peer-Handel 23

1. Einleitung

Die Digitalisierung in der Energiewirtschaft ermöglicht einerseits durch neue Mess- und Kommunikationstechnologien technisch eine effizientere Integration und Organisation von vielen kleinen Stromerzeugungsanlagen. Andererseits wird Digitalisierung auch vermehrt im Kontext des Energiehandels und der Nutzung von Flexibilität (Speichern und Lastmanagement) für den Netzbetrieb diskutiert. Dabei geht es vermehrt um neue digitale Handelsplattformen, die zu neuen Prozessen in der Energiewirtschaft führen können und z.T. auf dezentralen Datenbanken und der Distributed-Ledger-Technik wie Blockchain basieren.

Ziel dieses Fokuspapiers ist eine Einschätzung, welchen Einfluss die fortschreitende Digitalisierung in der Energiewirtschaft auf Nachhaltigkeitsaspekte hat und wie die Aspekte der Nachhaltigkeit in diesem Umfeld durch politische Maßnahmen gestärkt werden können. Die Einschätzung basiert auf der Analyse von Flexibilitätsplattformen für den Netzbetrieb und P2P-Handelsplattformen für den Stromhandel. Im Rahmen der Nachhaltigkeitseffekte werden in dem vorliegenden Fokuspapier insbesondere direkte, indirekte und systemische Effekte im Stromsystem behandelt (Erläuterung siehe unten). Vereinzelt wird auf Datensicherheitsaspekte eingegangen. Zunächst wird ein Überblick erarbeitet, wie der momentane Stand der Digitalisierung in der Energiewirtschaft ist, welche Tendenzen derzeit zu erkennen sind und welche zukünftigen Einsatzfelder abzusehen sind. Das Papier fokussiert auf zwei Schwerpunkte, die derzeit stark in der Energiewirtschaft diskutiert werden und in Verbindung mit der Entwicklung von digitalen Plattformen und der Blockchain-Technologie stehen:

- Erstens wird die Nutzung von Flexibilitätsoptionen für das Stromnetzmanagement auf Basis von digitalen Plattformen mit Blick auf die Nachhaltigkeit untersucht.
- Zweitens werden neue Möglichkeiten für den Handel von Strom auf Basis von P2P-Handel diskutiert und deren Auswirkungen auf Nachhaltigkeitsaspekte untersucht.

Für beide Themenfelder wird eine Einordnung der Blockchain-Technologie in diesem Kontext vorgenommen. Es sind dabei die Effekte der Digitalisierung auf das Energiesystem im Fokus. Einzelne Geschäftsmodelle oder Lösungen wie z.B. Systeme zur Visualisierung des Stromverbrauchs werden nicht betrachtet.

2. Methodik – direkte, indirekte und systemische Effekte

In der Analyse der zwei Fokusthemen wird zwischen direkten, indirekten und systemischen Effekten unterschieden. Die Analyse basiert auf einer Literaturrecherche.

- Direkte Effekte beziehen sich unmittelbar auf die Anwendung und die eingesetzten Technologien. Klima- und Umweltwirkungen ergeben sich auf dieser Ebene vor allem aus der Herstellung, dem Betrieb und der Entsorgung von Anwendungen bzw. Technologien.
- Die indirekten Effekte beziehen sich auf die Folgen der Anwendung. Das umfasst einen effizienten Umgang mit gegebenen Ressourcen durch die Anwendung, den Ersatz von anderen Anwendungen oder die vollständige Obsoleszenz. Diese Effekte stehen im Vordergrund der Diskussion zu möglichen Klimaschutzwirkungen der Digitalisierung. Bisherige Arbeiten in diesem Bereich zeigen, dass häufig die positiven Umweltwirkungen überschätzt werden, wenn der Fokus nur auf den indirekten Effekten liegt (vgl. z.B. Hilty et al. 2018).
- Die systemischen Effekte sind insbesondere die sogenannten Rebound Effekte und Verhaltensänderungen. Sie beschreiben eine Verhaltens- oder Strukturänderung, die sich aus dem Einsatz von Digitalisierungstechnik ergeben die über die indirekten Effekte hinausgehen.

3. Digitalisierung in der Energiewirtschaft

3.1. Begriffsdiskussion „Digitalisierung in der Energiewirtschaft“

In aktuellen Studien und Befragungen zum Thema „Digitalisierung in der Energiewirtschaft“ fehlt zumeist eine klare Definition des Begriffs *Digitalisierung*. Im Rahmen des vorliegenden Fokuspapiers wird nicht der Anspruch erhoben, den Begriff Digitalisierung umfänglich zu definieren. Vielmehr soll der Begriff für den Untersuchungsgegenstand durch Nennung der hierfür relevanten Hauptbestandteile beschrieben werden.

Grundsätzlich basiert die Digitalisierung in der Energiewirtschaft auf der Nutzung von Erzeugungs- und Verbrauchsdaten sowie auf Prognosen in den Bereichen Netz und Markt und gekoppelten Sektoren. Basis für diese Daten sind Messsysteme (z.B. Smart Meter). Diese Daten können für verschiedene Zwecke verwendet werden (Überwachung von Betriebsmitteln, Ansteuerung von Anlagen, Marktprozesse, Steuerung des Netzes, etc.). Dazu werden Daten ausgetauscht, verknüpft, aggregiert und ausgewertet. Diese Vernetzung zwischen den Akteuren und Anlagen ist eine zentrale Komponente der Digitalisierung und kann auch auf Marktplätzen geschehen. Automatisierte Steuerungen können dabei auf Algorithmen basieren.

3.2. Status quo der Digitalisierung in der Energiewirtschaft

Die Digitalisierung in der Energiewirtschaft im Sinne einer starken Vernetzung und Automatisierung befindet sich am Anfang (Hans Böckler Stiftung 2018, S. 6) und beeinflusst unterschiedliche Ebenen. Auf Basis der gängigen Ebenen Erzeugung, Netz und Vertrieb werden hier die wesentlichen bestehenden Einsatzfelder dargestellt.

Auf der **Ebene der Erzeugung** ist insbesondere ein Ausbau der Messsysteme und Sensorik festzustellen. Bei großen Kraftwerken spielt die Sensorik eine bedeutende Rolle, um zustandsbasierte Wartungen durchführen zu können (Hans Böckler Stiftung 2018, S. 25). Insbesondere auf dezentraler Erzeugungsebene sind bereits IKT-Schnittstellen oder Messsysteme in Anschlussbedingungen oder Förderbedingungen vorgeschrieben (z.B. bei PV-Anlagen oder durch die KfW geförderte Speichersysteme), um die Einbindung in das Netz und die Märkte zu verbessern (HTW 2016). Die Digitalisierung ermöglicht auf der Ebene der Erzeugung auch die Vernetzung vieler kleiner Anlagen (z.B. PV-Anlagen oder Speicher). Viele kleinere Anlagen bilden hierbei größere „virtuelle Kraftwerke“, die intern aufeinander abgestimmt und gesteuert, aber als Einheit auf den Märkten gehandelt werden können (Aengenvoort 2015).

Auf der **Ebene Handel** werden derzeit Digitalisierungstechnologien insbesondere für die Aggregation von kleinen Einheiten (z.B. www.next-kraftwerke.de) sowie für den kurzfristigen Energiehandel an der Börse genutzt. Aggregierte Anlagen werden auf zentralen Märkten z.B. Regelenergiemärkten als virtuelles Kraftwerk vermarktet.

Auf der **Ebene Netz** kommt der Sensorik eine bedeutende Rolle zu, da insbesondere in den Verteilnetzen durch viele dezentrale Erzeugungsanlagen bidirektionale Stromflüsse auftreten und Netze temporär überlastet werden können. Für ein effizientes Netzmanagement müssen zunächst die Netzzustände über Sensorik erfasst werden. Im nächsten Schritt können Steuerungselemente im Verteilnetz (z.B. fernregelbare Ortsnetztrafos) ein effizientes Netzmanagement ermöglichen. Erste Verteilnetze sind mit solchen Technologien ausgestattet. Tests für neue digitale Technologie-Optionen gibt es auch auf Übertragungsnetzebene. Ein Beispiel ist das Freileitungsmonitoring, bei dem die Strombelastung einer Leitungsstrecke unter Berücksichtigung der aktuellen Wetterverhältnisse, der Temperatur oder des Durchhangs der Leitung dynamisch angepasst werden kann (Agora

Energiewende 2018), dadurch kann bei sonst unveränderter Infrastruktur der Leitungsstrecke mehr Übertragungskapazität genutzt werden.

Auf der **Ebene Vertrieb** werden durch die fortschreitende Digitalisierung neue Geschäftsmodelle ermöglicht. Smart Meter¹ bei den Endkunden sind dabei oft die technologische Basis, die heute bei größeren Sanierungen und Neubauten installiert werden. Softwaretechnologien bilden die Basis für Handels- und Abrechnungsprozesse. Neue Geschäftsmodelle können sich dabei beispielsweise auf die Tarifstruktur (dynamische Tarife), neue Kommunikationskanäle (Online-Produkte) oder neue Qualitätskriterien für Strom (Öko-Strom) beziehen. Derzeit werden neue Vertriebskonzepte über Handelsplattformen entwickelt und getestet (PriceWaterhouseCoopers 2017, S. 29).

3.3. Allgemeine Potenziale der Digitalisierung in der Energiewirtschaft

Befragungen von Energieversorgungsunternehmen zeigen, dass insbesondere interne Prozesse und Geschäftsmodelle durch digitale Technologien Veränderungen erfahren werden (vgl. BBH 2017). Diese Prozesse beziehen sich beispielsweise auf die Abrechnung oder Kundenmanagementsysteme. Zur Bewertung der Potenziale der Digitalisierung auf die Nachhaltigkeit sind jedoch insbesondere Effekte auf das Netz und den Markt relevant.

Das Energiesystem kann durch den Einsatz von Digitalisierungstechnologien effizienter betrieben werden. Zum einen kann mittels Digitalisierungstechnologien die Infrastruktur (Kraftwerke, Netze) optimaler genutzt werden. Dadurch können Ressourcen (z.B. Brennstoffe, neue Kraftwerke und Netze) eingespart werden. Dies wird durch die konstante Messung, Einbindung von Prognosen und teilweise automatisierte Steuerung von Kraftwerken und Elektrizitätsnetzen ermöglicht (vgl. Heinrich-Böll-Stiftung 2019). Höhere Datenverfügbarkeit und deren Aufbereitung tragen zu verbesserten Erzeugungs- und Verbrauchsprognosen bei. Die Netzauslastung kann dadurch mit höherer Zuverlässigkeit geplant werden und so die Betriebsmittel effizienter eingesetzt werden. Die hohe Datenverfügbarkeit basiert dabei auf einer erhöhten Messstellendichte. Die Steuerung der Anlagen und Betriebsmittel kann auf Basis von Digitalisierungstechnologien automatisiert und in Echtzeit durchgeführt werden. Auch dies ermöglicht einen effizienteren Einsatz der Infrastruktur. Zum anderen ermöglicht die datenseitige Vernetzung Schnittstellen zwischen Erzeugung, Verbrauch, dem Netz und auch zwischen den Sektoren für einen effizienten Systembetrieb. Die zusätzliche Vernetzung zwischen Akteuren und Anlagen auch in unterschiedlichen Sektoren ermöglicht die gesteuerte und optimierte Einbindung von kleinteiligen erneuerbaren Erzeugungsanlagen und dezentralen Flexibilitätsoptionen (Speicher und Lastmanagement).

Digitalisierungstechnologien haben zudem Enabler-Funktionen für neue Geschäftsbeziehungen und neue Akteure. Digitale Prozesse können bei Marktprozessen zu geringeren Transaktionskosten und somit zu effizienteren Marktprozessen führen. Die Digitalisierung ermöglicht so in Verbindung mit neuen technischen Möglichkeiten neue Geschäftsbeziehungen und lässt eine Integration von neuen Marktteilnehmern zu. Beispielsweise können Prosumer² ihren erzeugten Strom auf neuen Plattformen selbst vermarkten³ und werden so zu einem aktiven Akteur nicht nur im physischen System sondern auch auf den Märkten.

Aufbauend auf diesen hier dargestellten allgemeinen Potenzialen der Digitalisierung in der Energiewirtschaft fokussiert dieses Papier auf neue Koordinationsformen von Flexibilitätsoptionen für das

¹ Hier definiert als digitale Stromzähler zur Messung des Langgangs.

² Privatpersonen die sowohl Energie konsumieren als auch erzeugen.

³ Siehe zum Beispiel: <https://www.enyway.com/de>

Netzmanagement sowie digitale Plattformen und Peer-to-Peer-Handel für Verbraucher und Erzeuger.

4. Distributed Ledger Technologie, Blockchain, Bitcoin

Da im Rahmen der Digitalisierung in der Energiewirtschaft momentan die Begriffe Distributed Ledger, Blockchain und Bitcoin als zum Teil disruptive Technologien diskutiert werden, soll an dieser Stelle zunächst eine Begriffseinordnung stattfinden.

Distributed Ledger (verteilt Hauptbuch) ist ein System einer dezentralen Datenbank, in der Transaktionen gespeichert werden. Dezentral bedeutet, dass kein einzelner Akteur die Datenbank verwaltet, sondern prinzipiell jeder Teilnehmer des Systems eine Kopie führt. Ein solches System kann eingesetzt werden, wenn es entweder keinen zentralen Akteur gibt, dem alle Teilnehmer hinreichend vertrauen, oder wenn ein solcher nicht etabliert werden kann. Da aber die Teilnehmer prinzipiell beliebige und ggf. ungültige Transaktionen erzeugen können, muss ein Distributed Ledger Mechanismen bereitstellen, um zum einen Manipulationen zu verhindern und zum anderen einen Konsens im Netzwerk der Teilnehmer zu etablieren (TAB 2016).

Eine Blockchain stellt eine solche Variante eines Distributed Ledger dar. Dabei werden jeweils mehrere Transaktionen zu einem „Block“ zusammengefasst, mittels eines kryptografischen Verfahrens signiert und in die Kette („chain“) der vorherigen Blöcke eingefügt. Ein bekanntes Beispiel für ein Blockchain-System ist Bitcoin. Die Transaktionen sind hier der Austausch von Einheiten der digitalen Währung desselben Namens. Bei Bitcoin führt nur eine Teilmenge der Akteure, die an Transaktionen teilnehmen, eine komplette Kopie der gesamten Kette, bzw. fügen neue Blöcke ein. Teilnehmer, die das tun, werden Miner genannt. Der Konsens zwischen abweichenden Zweigen von der Kette wird hergestellt, indem sich die Teilnehmer darauf verständigen, die längste Kette als die derzeit gültige zu betrachten. Da das Erstellen eines Blockes sehr rechenaufwendig ist, sollen Manipulationen in Form einer invaliden, alternativen Kette erschwert werden, da diese länger als die Hauptkette sein muss. Dies wird als Proof-of-Work bezeichnet, weil das Erzeugen eines Blockes nachweist, dass der Miner einen hohen Rechenaufwand geleistet hat. Damit einher geht allerdings auch ein hoher Energieverbrauch (Strom). Im Zuge der wachsenden Popularität der Kryptowährung Bitcoin wird der hohe Energiebedarf der Blockchain-Technologie, auf der die Währung basiert, von Umweltverbänden kritisiert (z.B. BUND⁴). Laut aktueller Schätzung liegt der Stromverbrauch der Bitcoin-Währung derzeit bei über 70 TWh pro Jahr⁵. Dies entspricht ca. 0,25% des globalen Strombedarfs und liegt damit im Bereich ganzer Staaten (z.B. Österreich). Der hohe Stromverbrauch ist besonders problematisch, da die benötigten Rechenzentren größtenteils in China liegen und der dortige Strom überwiegend aus fossilen Energien mit hohen THG-Emissionen erzeugt wird. In der Energiewirtschaft wird jedoch zumeist auf private oder halb-öffentliche Blockchain-Technologien gesetzt, welche den aufwändigen Validierungsprozess der Bitcoin-Blockchain nicht benötigen und entsprechend weniger Energie für die Validierung benötigen. Auch werden zukünftig vermehrt alternative Distributed Ledger/Blockchain-Technologien eingesetzt, die aufgrund anderer Validierungsmethoden zur sicheren Abwicklung der Transaktionen einen deutlich geringeren Energiebedarf besitzen. So benötigt die ebenfalls auf Blockchain basierende Technologie Ethereum im Vergleich zu Bitcoin bereits nur 1/10 des Energiebedarfs.

Eine weitere Eigenschaft von Bitcoin ist, dass Transaktionen vergleichsweise langsam in Blöcken in die Kette eingehängt werden. Es gibt Varianten von Bitcoin bzw. alternative Blockchain-Implementierungen, die Alternativen zu Proof-of-Work verwenden, um das Distributed Ledger konsistent und

⁴ <http://www.bund-rvso.de/bitcoin-strom-energie-verbrauch-umwelt-gier.html>

⁵ <https://digiconomist.net/bitcoin-energy-consumption>

manipulationsfrei zu halten, die aber alle mit ihren eigenen Vor- und Nachteilen einhergehen, bzw. deren Sicherheit noch nicht in der Praxis auf die Probe gestellt werden konnte.

Auch wenn es Anwendungsmöglichkeiten für Blockchains im Bereich der Energiewirtschaft, wie z.B. direktem Peer-to-Peer-Handel zwischen Kleinerzeugern und Verbrauchern gibt, ist aber noch nicht klar, ob nicht einige dieser Anwendungsbereiche effizienter mit einer klassischen, zentralen Plattform gelöst werden könnten. Mit Bilanzkreisverantwortlichen, der Börse und der BNetzA gibt es zudem in der (deutschen) Energiewirtschaft Instanzen, die eine zentrale Verwaltungsrolle übernehmen könnten.

Weiterhin muss die Frage des Datenschutzes betrachtet werden. Prinzipiell sind die Transaktionen in Distributed Ledgern zwar hinter unpersönlichen Adressen anonymisiert. Alle Transaktionen sind aber für alle Teilnehmer einsichtig. Ggf. können bestimmte Transaktionsmuster verwendet werden, um Rückschlüsse auf die Identität eines Teilnehmers zu ziehen. Mit Blick auf Blockchain-Lösungen muss also beachtet werden, dass die dezentrale Speicherung der Transaktionen den Datenschutz schwächen kann (TAB 2016, S. 10).

5. Datensparsamkeit und –sicherheit auf digitalen Marktplätzen

Die Teilnahme an digitalen Marktplätzen setzt eine entsprechende IT-Infrastruktur auf Verbraucherebene voraus, welche eine präzise Erfassung und Übertragung des Stromverbrauchs ermöglichen. Wenn diese nutzerbezogenen Daten durch einen Handelsplattformbetreiber erfasst und gespeichert werden, entsteht ein Risiko des Datenmissbrauchs, da diese Daten für ungewollte Zwecke genutzt oder durch Dritte ausspioniert werden könnten.

Stromverbrauchsdaten sind datensicherheitstechnisch hochsensibel, da sie es ermöglichen, Rückschlüsse auf die Gerätenutzung zu ziehen und somit detaillierte Verhaltensprofile zu erstellen⁶. Bis dato erfolgt die Stromverbrauchsmessung in Haushalten mit so genannten Ferraris-Zählern, welche den Stromverbrauch nicht zeitgenau erfassen, sondern nur einen Mengenbilanz erstellen. Digitale Marktplätze basieren hingegen zumeist auf der Nutzung digitaler Kommunikationsschnittstellen wie Smart Meter. Zwar könnten dezentrale Handelbeziehungen prinzipiell auch ohne Smart Meter abgewickelt werden, jedoch sind dann zeit-differenzierte Verbraucherpreise und -bilanzierungen und entsprechende positive Effekte des regionalen Ausgleichs von Verbrauch und Erzeugung nur schwer zu implementieren.

Die Etablierung von digitalen Plattformen in Kombination mit der Nutzung von Smart Metern birgt daher die Gefahr des Datenmissbrauchs und wirft Fragen bzgl. der Datensicherheit auf. Es ist denkbar, dass die Verbrauchsdaten von Plattformbetreibern für ungewollte Zwecke genutzt werden und z.B. an andere Akteure weitergegeben werden. Darüber hinaus könnten die Daten durch unbeteiligte Dritte ausspioniert werden. Diese Gefahren der Datensicherheit sind jedoch nicht direkt mit der Nutzung der digitalen Plattformen verbunden, sondern entstehen auch bereits durch die Nutzung von Smart Metern bei einem „normalen“ Strombezug. Da Smart Meter mittelfristig zum Standard für alle Verbraucher werden, bewirken die digitalen Plattformen keine zusätzliche Gefahr für den Datenschutz.

Aufgrund der Datenschutzrisiken die mit der Datenerhebung von Smart Metern einhergehen, wurden vom Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik Datensicherheitsstandards für Smart

⁶ Von Forscher der Fachhochschule Münster wurde z.B. gezeigt, dass es durch das Hacken eines Smart Meters möglich war, das geschauten Fernsehprogramm zu bestimmen (<https://www.spektrum.de/wissen/5-fakten-ueber-smartmeter/1493561>).

Meter-Systeme entwickelt. Diese sicherheitstechnischen Vorgaben müssen von allen Smart Meter Systemen eingehalten werden und werden in Zertifizierungsverfahren geprüft.

6. Fokusthema I: Neue Koordinationsformen von Flexibilitätsoptionen für das Netzmanagement (Flexibilitätsplattformen)

6.1. Beschreibung von Flexibilitätsplattformen

Im Rahmen der Energiewende kommt es unter anderem zu einer Veränderung der Größenstruktur der technischen Anlagen im Stromsystem. Während bislang vornehmlich große Erzeugungsanlagen (Kraftwerke), die an das Übertragungsnetz angeschlossen sind, Strom produziert haben, werden diese nach und nach durch kleinere Einzelanlagen ersetzt (z.B. Windkraftanlagen, PV-Anlagen oder Biomassekraftwerke), die in das Verteilnetz einspeisen. Zudem werden die dezentralen Kraftwerke durch dezentrale Anlagen zur Speicherung von Energie oder Lastverlagerung im System ergänzt (z.B. Batteriespeicher). Während bislang große Kraftwerke und Speicher (Pumpspeicherwerke) netzdienliche Flexibilität bereitgestellt haben, muss diese Aufgabe in Zukunft eine Vielzahl kleinerer Anlagen mit heterogener Struktur übernehmen.

Die netzdienliche Flexibilität wird in zwei Bereiche unterschieden. Zum einen wird die Bereitstellung von Regelleistung (Systemdienlichkeit), zum anderen das Management von Netzengpässen betrachtet. Dabei werden zunächst die Potenziale und Effekte der Digitalisierung im Allgemeinen und im zweiten Schritt speziell die Effekte eines möglichen Einsatzes der Blockchain-Technologie beschrieben.

Regelleistung wird von den Übertragungsnetzbetreibern zum Ausgleich von Schwankungen der Stromnetzfrequenz abgerufen. Diese Schwankungen können durch ungenaue Prognosen der EE-Einspeisung und des Verbrauchs oder durch Ausfall eines Kraftwerks entstehen. Mit der Transformation von wenigen großen Kraftwerken mit planbarer Stromerzeugung hin zu vielen kleinen volatilen Kraftwerken muss die Bereitstellung der Regelleistung zukünftig durch kleine Erzeugungseinheiten oder Speicher sichergestellt werden. Das führt zu einer Vervielfachung der Steuersignale und die Systemkomplexität erhöht sich entsprechend. Momentan werden zum Teil kleine Anlagen aggregiert und im Markt als ein größeres virtuelles Kraftwerk vermarktet (z.B. Next Kraftwerke). Dieser Schritt der Aggregation wird durch digitale Techniken (Messen, Datenübertragung und Steuern) ermöglicht. Auch die schrittweise Reduktion von Mindestangebotsgrößen⁷ in den Reservemärkten wird zum Teil durch die Digitalisierung vereinfacht. Insbesondere die Transaktionskosten können durch automatisierte Prozesse reduziert werden, wodurch die Digitalisierung die Integration von kleinen Einzelanlagen in das Gesamtsystem ermöglicht.

Da ein Großteil der fluktuierend erzeugenden Erneuerbaren Energieanlagen in das Verteilnetz einspeist, kommt auf die Verteilnetzbetreiber in Zukunft eine aktivere Rolle im **Engpassmanagement** zu. Während auf der Übertragungsnetzebene durch Redispatchmaßnahmen⁸ ein aktives Netzengpassmanagement durchgeführt wird, finden auf Verteilnetzebene zumeist Maßnahmen nach §14 EEG statt (Abregelung der Einspeisung). Um die Abregelung auch bei weiterem Ausbau von Erneuerbaren Energien gering zu halten, wird in diesem Kontext diskutiert, wie eine verbesserte EE-Integration in das Verteilnetz stattfinden kann. Unter anderen erwähnt die Bundesnetzagentur interaktive Plattformen für den Handel mit Flexibilität, die ggf. diese Integration unterstützen können

⁷ Zum Beispiel lag in der Sekundärreserve die Mindestangebotshöhe bei 5 MW, seit dem 12. Juli 2018 liegt sie bei 1 MW.

⁸ Eingriff des Netzbetreibers in den Erzeugungsfahrplan der Kraftwerke mit dem Ziel, regionale Überlastungen der Netzbetriebsmittel zu vermeiden.

(BNetzA 2017). Der Netzbetreiber würde als Nachfrager nach Flexibilität auftreten, um einen Netzengpass zu verhindern. Die Nutzung von dezentralen Flexibilitätsoptionen (Speicher, Lastverlagerungsoptionen etc.) würde also eine Alternative zur Abregelung der Erzeugung darstellen (Germanwatch 2018).

6.2. Energiewirtschaftliche Effekte von Flexibilitätsplattformen

Digitale Plattformen zur Koordination von Flexibilität für das Netzmanagement können einen direkten Einfluss auf heutige energiewirtschaftliche Prozesse haben. So könnten beispielsweise Prognoseungenauigkeiten bei der EE-Einspeisung sehr zeitnah korrigiert und Leistungsschwankungen ausgeglichen werden. Insbesondere die schnelle Transaktionsabwicklung durch digitale Plattformen ist beim Netzbetrieb wertvoll. Dieser Zeitgewinn ermöglicht es, die vorhandenen Netzkapazitäten effizienter auszunutzen, wodurch der Einsatz von meist CO₂-intensiver Ausgleichsenergie verringert würde. Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, dass für das Netzmanagement sehr zuverlässige Prozesse notwendig sind. Anlagen die bestimmte Flexibilität anbieten, müssen eine Präqualifikation durchlaufen, damit sichergestellt ist, dass im Ernstfall die angebotene Leistung erbracht wird. Die Teilnahmehürden sind somit als hoch zu bezeichnen.

Da Stromnetze regulierte natürliche Monopole sind, ist eine offene Frage, inwieweit eine Beschaffung von Flexibilität über digitale Plattformen für den sicheren, störungsarmen Netzbetrieb diskriminierungsfrei und zu minimalen Kosten erfolgen kann. Bei mehreren Hundert Netzbetreibern in Deutschland und ggf. einer ähnlichen Anzahl von Flexibilitätsplattformen müssen Prozesse entwickelt werden, die eine Überprüfung der Leistungsabrufe seitens der Regulierungsbehörden ermöglichen. Hierfür sind von Politik und Regulierungsbehörde die Kosten und Nutzen zu ermitteln und abzuwägen.

Eine wichtige Fragestellung bezüglich der Plattformen ist, auf welcher Ebene diese angesiedelt sein sollten und wer diese betreibt. Regionale Plattformen, erscheinen zunächst intuitiv, weil hier direkt regionale Probleme mit dem Einsatz von regionalen Anlagen im Verteilnetz gelöst werden können. Insbesondere bei regionalen Plattformen muss jedoch sichergestellt werden, dass keine Doppelvermarktung einzelner Anlagen auf verschiedenen Plattformen oder Märkten stattfindet. Diese Problemstellung ist insbesondere im Netzbetrieb relevant, da hier bei Nichterfüllung der angebotenen Leistung einzelner Anlagen im Übrigen nicht nur Wohlfahrtsverluste zu erwarten sind, sondern die Stabilität des Netzes gefährdet wird. Zudem muss sichergestellt werden, dass durch den Plattformbetrieb z.B. eines Verteilnetzbetreibers keine Marktmacht entsteht und keine Diskriminierung einzelner Marktteilnehmer stattfinden kann. Bei regional begrenzten Plattformmärkten mit nur wenigen Akteuren kann es auch seitens der Marktteilnehmer die Flexibilität anbieten zu Marktmacht und Wettbewerbsverzerrungen kommen. Diese können im Extremfall dazu führen, dass ein kosteneffizienter Einsatz von Flexibilität zur Vermeidung von EE-Abregelung nicht möglich ist und wiederum auf den Netzausbau zurückgegriffen werden muss.

Praxisbeispiel I: TenneT & Sonnen: Blockchain-Projekt zur Stabilisierung des Stromnetzes

Im Jahr 2017 haben der Übertragungsnetzbetreiber *TenneT* und der Speicherhersteller und -betreiber *Sonnen* ein blockchainbasiertes Projekt zur Stabilisierung des Stromnetzes gestartet. Im Projekt werden über ganz Deutschland verteilte und vernetzte private Stromspeicher in Haushalten zur Stabilisierung des Stromnetzes genutzt. Für die Prozessabwicklung wird eine Blockchain-Technologie genutzt. Das intelligente Management der Batteriespeicher passt sich individuell der jeweiligen Situation im TenneT-Netz an. So kann der vernetzte Speicher-Pool bei Netzengpässen Strom (insbesondere in Norddeutschland) aufnehmen oder abgeben (insbesondere in Süddeutschland) und damit dazu beitragen, Transportengpässe im Netz zu reduzieren.

In den vorhandenen Informationen zum Projekt wird der Vorteil, kleine Anlagen digital zu vernetzen und für das Netzmanagement einsetzen zu können, klar herausgestellt. Welchen speziellen Vorteil die Blockchain-Technologie in diesem Projekt erbringt, wird jedoch nicht deutlich.

Weitere Informationen: <https://www.tennet.eu/de/news/news/europaweit-erstes-blockchain-projekt-zur-stabilisierung-des-stromnetzes-startet-tennet-und-sonnen-e/>

Praxisbeispiel II: Plattformen für Flexibilität im SINTEG Projekt ,C/sells (gefördert durch das BMWi)

Im Rahmen des C/sells-Projektes werden von unterschiedlichen Verteilnetzbetreibern Flexibilitätsplattformen entwickelt. Diese Plattformen zielen darauf ab, die Flexibilität von Speichern, Erzeugung oder Lastmanagementoptionen für den Netzbetrieb nutzen zu können, um so EE-Abregelung zu vermeiden oder Netzausbau zu verzögern. Nachfrager auf der Plattform sind die Verteilnetzbetreiber bzw. Übertragungsnetzbetreiber. Regionale Flexibilitätsplattformen können so auch als Aggregator für Flexibilität auftreten und diese dem Übertragungsnetz zur Verfügung stellen. Ziel ist zunächst, die technische Einbindung der Flexibilitätsoptionen zu ermöglichen und die notwendigen Transaktionsprozesse zu definieren. Im weiteren Verlauf des Projektes wollen die Flexibilitätsplattformen im Betrieb demonstriert werden.

Weitere Informationen: <https://www.csells.net/de/ueber-c-sells/arbeitspakete/48-arbeitspaket1-5.html>

6.3. Analyse zentraler Nachhaltigkeitsaspekte

Die Effekte von netzdienlichen Flexibilitätsplattformen auf die Nachhaltigkeit werden folgend in direkte, indirekte und systemische Effekte unterschieden.

6.3.1. Direkte Nachhaltigkeitseffekte

Direkte Nachhaltigkeitseffekte durch die Nutzung von Flexibilitätsplattformen beziehen sich insbesondere auf den Ressourcen- und Energieverbrauch von Technologien zur Messung und Steuerung von flexiblen Lasten und Erzeugern sowie den Energieverbrauch der digitalen Handelsplattform. Unter der Annahme, dass die Steuerung von Anlagen nicht manuell, sondern automatisiert durchgeführt wird, bilden digitale Messsysteme und Steuerungseinheiten die technologische Basis für die Bereitstellung und Abrechnung von Flexibilität. Detaillierte, auf den Lebensweg dieser Technologien bezogene Analysen existieren derzeit nur vereinzelt und zeigen einen relevanten Stromverbrauch sowie Ressourceneinsatz auf (Aleksic und Mujan 2018). Intelligente Messsysteme verbrauchen ungefähr 40 kWh Energie pro Jahr mehr als gängige Ferrariszähler (BMW 2013). Der Energieverbrauch für den Betrieb der Handelsplattformen ist eine weitere zu berücksichtigende Komponente. Dabei ist zu beachten, wo die entsprechenden Server verortet sind und welcher Strommix von diesen genutzt wird. Derzeitige Blockchain-Technologien verbrauchen im Vergleich zu zentralen Datenbanken ein Vielfaches an Strom pro Transaktion (Heinrich-Böll-Stiftung 2019). Die Diskussion des Energieverbrauchs von Blockchain-Technologien wurde in Kapitel 4 geführt. Zudem muss auch ein Teil der Vernetzungsinfrastruktur (mobiles Datennetz, Glasfaserkabel etc.) berücksichtigt werden.

6.3.2. Indirekte Nachhaltigkeitseffekte

Indirekte Nachhaltigkeitseffekte durch die Nutzung von Flexibilitätsplattformen sind in den Bereichen vermiedene Abregelung von EE-Erzeugungsanlagen, vermiedener oder verzögerter Netzausbau und Energieverluste durch Nutzung von Flexibilität zu erwarten. Durch den Einsatz von lokaler Flexibilität vor dem Netzengpass kann eine Abregelung von EE-Erzeugungsanlagen verhindert werden. Der erzeugte Strom kann in Speicher zwischengespeichert oder durch Lasterhöhungen direkt genutzt werden. Werden durch die Speicherung oder die Lasterhöhung direkt oder zu einem späteren Zeitpunkt fossile Energieträger ersetzt, so reduzieren sich die Treibhausgasemissionen aufgrund der dadurch vermiedenen konventionellen Stromerzeugung. Durch den Einsatz von Flexibilität im Netzbetrieb kann zudem ein notwendiger Netzausbau verzögert oder ggf. auch vermieden werden, wobei zwischen dem Verteilnetz und dem Übertragungsnetz unterschieden werden muss (BNetzA 2017, S. 32). Dadurch können die Ressourcen für einen Ausbau des Netzes effizienter eingesetzt oder ggf. eingespart werden. Zu berücksichtigen ist jedoch, dass unterschiedliche Flexibilitätsoptionen Umwandlungsverluste und CO₂-Vermeidungspotenziale aufweisen. Im Sinne einer ökologischen Merit-Order der Flexibilitätsoptionen sollten die Optionen zuerst genutzt werden, die hohe CO₂-Vermeidungspotenziale aufweisen (Öko-Institut 2016).

6.3.3. Systemische Nachhaltigkeitseffekte

Systemische Nachhaltigkeitseffekte durch die Nutzung von Flexibilitätsplattformen können ein Akzeptanzverlust für physischen Netzausbau sowie die Gefahr der Doppelvermarktung und somit Gefährdung der System-Resilienz und eine Erhöhung der Kosten des Netzbetriebs sein. Es ist zu untersuchen, inwieweit die Möglichkeit der (temporären) Substitution des Netzaubaus mittels Nutzung von Flexibilitätsoptionen dazu führt, dass der für die weitere Energiewende notwendige Netzausbau weniger Akzeptanz erfährt. Ggf. könnte die Erwartungshaltung entstehen, dass kein Netzausbau mehr notwendig ist, und die Nutzung von Flexibilitätsoptionen den physikalischen Netzausbau ersetzen kann. Weiter ist insbesondere bei parallel betriebenen Flexibilitätsplattformen zu klären, wie eine Doppelvermarktung von Flexibilität vermieden werden kann. Wäre es möglich die angebotene Flexibilität auf mehreren Plattformen parallel zu vermarkten, würde im Falle eines Abrufes die Flexibilität ggf. nicht zur Verfügung stehen und die Systemstabilität gefährden. Darüber hinaus könnte eine Doppelvermarktung auch eine Erhöhung der Kosten des Netzbetriebs nach sich ziehen, da zwei Zahlungen für die Bereitschaft einer Flexibilitätsoption geleistet werden. Aus diesem Grund sind Prozesse zum Abgleich zwischen unterschiedlichen Vermarktungsplattformen zu etablieren.

6.3.4. Distributed Ledger Technologien für Flexibilitätsplattformen

Die in diesem Kapitel diskutierten Plattformen für netzdienliche Flexibilität können von einem Akteur (z.B. Verteilnetzbetreiber) zentral betrieben werden oder dezentral verteilt sein. In der Literatur werden einige Vor- und Nachteile von dezentralen Datenbanken und im Speziellen der Blockchain-Technologie für den Einsatz im Netzbetrieb aufgeführt (BDEW 2017; Carl von Ossietzky Universität; IÖW 2018; HTW 2017). Die Literatur basiert dabei jedoch zumeist auf Experteninterviews. Wissenschaftliche Auswertungen von Feldtests sind nicht bekannt. Aus diesem Grund können Vor- und Nachteile nur als Hypothesen formuliert werden, die durch zukünftige Forschungsarbeiten zu überprüfen sind.

- Als Vorteil im Speziellen für dezentrale Datenbanken bzw. der Blockchain-Technologie wird die möglicherweise erhöhte Sicherheit gegen Ausfall der IT-Struktur durch die dezentrale Struktur von Blockchain aufgeführt. Zudem wird die Echtzeit-Übertragung herausgestellt, die insbesondere im Netzmanagement notwendig ist (HTW 2017).

- Mögliche Nachteile von dezentralen Datenbanken bzw. der Blockchain-Technologie kann die Transparenz dieses Ansatzes sein. Es gilt zu überprüfen, ob die Manipulation der kritischen Netzinfrastruktur durch die dezentrale Speicherung und Veröffentlichung aller Daten einfacher möglich ist. Diese Transparenz führt auch zu einem geringen Schutz der Daten der Teilnehmer. Zudem ist zu überprüfen, ob der Mehraufwand (insbesondere Energieaufwand) für dezentrale Datenbanken notwendig ist, wenn in der Energiewirtschaft etablierte Vertrauensinstanzen wie beispielsweise die BNetzA existieren. Es drängt sich die Forschungsfrage auf, ob die Transaktionen einer öffentlich zugänglichen Blockchain für den Regulierer einfacher zu überprüfen ist als eine proprietäre Lösung eines einzelnen Verteilnetzbetreibers. Alternativ könnte jedoch auch eine zentrale Plattform beim Regulierer angesiedelt sein (Carl von Ossietzky Universität; IÖW 2018).

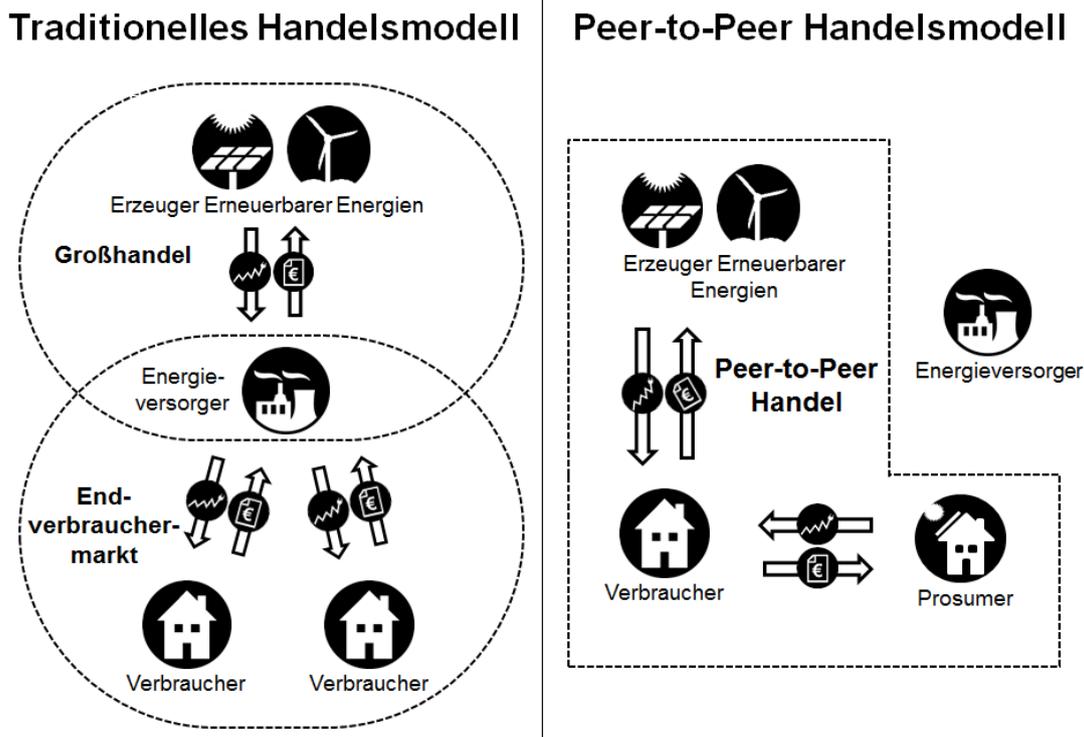
7. Fokusthema II: Peer-to-Peer-Handel mit Energie als neue Optionen für Verbraucher und Erzeuger erneuerbarer Energien

7.1. Beschreibung von Peer-to-Peer-Handel als neue Option für Verbraucher und Erzeuger

Neue digitale Handelsplattformen für Strom ermöglichen, dass Verbraucher mit Stromerzeugern und Prosumers in einen direkten Handelskontakt treten. Bisher haben Energieversorger eine Vermittlerrolle zwischen Erzeugern und Verbraucher angenommen, indem sie die Nachfrage vieler Verbraucher gebündelt und entsprechende großvolumige Strombezugsverträge zur Deckung der Nachfrage abgeschlossen haben. Ein direkter Handel zwischen Verbrauchern und Erzeugern, auch Peer-to-Peer-Handel (P2P) genannt, kann ermöglichen, dass Verbraucher nicht mehr auf Energieversorger als Intermediatoren angewiesen sind. Grundlage für den P2P-Handel sind Digitalisierungstechnologien: Smart Meter ermöglichen die Bilanzierung direkter kleinteiliger Transaktionen durch eine zeitlich präzise Messung der Erzeugung und des Verbrauchs. Blockchain-Technologien können für die dezentrale Abwicklung der Transaktionen als Vertrauensinstanz eingesetzt werden. Sie stellen jedoch keine Grundvoraussetzung für den Betrieb entsprechender Plattformen dar.

Ein P2P-Handel auf Basis digitaler Handelsplattformen stellt eine neue Handelsebene dar, die den bestehenden Großhandelsmarkt und den Endkundenhandel ergänzt oder auch ersetzen kann. Abbildung 7-1 veranschaulicht die veränderten Akteursbeziehungen durch P2P-Handel.

Abbildung 7-1: Akteursbeziehungen im heutigen Stromhandel und beim Peer-to-Peer-Handel



Quelle: Eigene Darstellung

Im Vergleich zum klassischen Stromhandel unterscheidet sich der P2P-Handel auf digitalen Plattformen insbesondere durch die Möglichkeit, mit geringeren Transaktionskosten personalisierte Lieferverträge abzuschließen. Im derzeitigen Strommarkt können Verbraucher in der Regel zwischen

verschiedenen Produkten wählen, welche sich im Wesentlichen nur durch die Erzeugungstechnologien unterscheiden. Auch wenn in Einzelfällen spezifische Erzeugungstechnologien als Produktmerkmale beworben werden, so findet zumeist nur eine Differenzierung zwischen „Graustromprodukten“ ohne spezifische Erzeugungsqualitäten und „Grünstromprodukten“ auf Basis erneuerbarer Energien statt. Die Bilanzierung erfolgt in der Regel auf einer Jahresmengen-Basis und die Stromlieferung bleibt für ein Lieferjahr für alle Kunden eines Stromprodukts gleich in Bezug auf Preis und Erzeugungsquellen.

Digitale Marktplätze in Kombination mit P2P-Geschäften ermöglichen hingegen sehr flexible individuelle Strombezüge. Erzeugung und ihre Eigenschaften (Ort der Anlage, Technologie) kann minutengenau einzelnen Verbrauchern zugeordnet werden, Lieferzeiträume könnten dann flexibel ohne zeitliche Restriktionen geändert werden, Verbraucher könnten mehrere Bezugsverträge mit verschiedenen Erzeugern abschließen und Strompreise könnten kundenspezifisch und zeitlich dynamisch angepasst werden. Zudem könnten Verbraucher selbst so genannte „smart contracts“ abschließen. Diese schließen bestimmte Handelskontrakte auf Basis von zuvor definierenden Faktoren (z.B. Angebotspreis, Tageszeit) automatisch ab. Es ist somit möglich, dass ein Privatverbraucher Strom nur von zuvor ausgewählten regionalen Erzeugungsanlagen einkauft, wenn diese einen definierten Maximalpreis nicht überschreiten (z.B. PV-Erzeugung des Nachbarhauses, Windpark im Umland).

Die Entwicklung von digitalen Handelsplattformen befindet sich noch in einer frühen Phase und der P2P-Handel hat noch keinen Eingang in den Massenmarkt gefunden. In vielen Ländern und auch in Deutschland werden derzeit Pilotprojekte zu digitalen Handelsplattformen durchgeführt und die ersten kommerziellen Anbieter haben den Betrieb entsprechender Plattformen aufgenommen (siehe Infobox). In vielen Fällen ermöglichen die Plattformen jedoch noch keinen „echten“ P2P-Handel. Die Plattformbetreiber nehmen derzeit in der Regel noch die Rolle des klassischen Energieversorgers ein und die Plattform ermöglicht vor allem eine differenzierte direkte Auswahl von Erzeugungsanlagen für Verbraucher.

Praxisbeispiele für neue Handelsplätze

Enyway

Enyway ist ein digitaler Marktplatz auf dem Stromverbraucher und Erzeuger von erneuerbaren Energien direkte Handelskontrakte (P2P-Handel) eingehen können. Das Unternehmen ist eine Ausgründung des klassischen Ökostromanbieters Lichtblick und bereits am Markt tätig.

Ein zentraler Unterschied im Vergleich zu einem klassischen Ökostromangebot ist dabei, dass der Energieversorger als „Mittelsmann“ zwischen Verbrauchern und Erzeugern entfällt. Erzeuger können auf der Plattform selber entscheiden, für welchen Preis sie ihren Strom anbieten. Verbraucher können zwischen den teilnehmenden Erzeugern die Preise, aber auch insbesondere weitere Aspekte des Stromangebots wie Regionalität, Erzeugungstechnologie und Anlagengröße vergleichen und einen Erzeuger ihrer Wahl aussuchen. Die Enyway-Plattform dient dabei jedoch nicht nur als Kommunikationsschnittstelle zur Anbahnung direkter Vertragsbeziehungen, sondern übernimmt auch administrative und regulatorisch notwendigen energiewirtschaftliche Prozesse, wie Abrechnung und Bilanzkreismanagement für die beteiligten Akteure.

Tal.Markt

Tal.Markt ist ein digitaler Marktplatz, auf dem Stromerzeuger ihren Strom anbieten und Verbraucher ihren individuellen Strommix aus den bestehenden Erzeugungsangeboten auswählen können. Betrieben wird die Plattform von den Stadtwerken Wuppertal. Die Abwicklung der Handelskontrakte erfolgt auf Basis einer Blockchain-Technologie, welche sicherstellen soll, dass die Verträge fälschungssicher geschlossen werden und für den Verbraucher sichergestellt ist, aus welchen Erzeugungsanlagen er seinen Strom bezieht.

Tal.Markt ist damit einer der ersten digitalen Marktplätze auf Blockchain-Basis.

7.2. Energiewirtschaftliche Effekte von Peer-to-Peer-Handel mit Energie

Der Energiehandel auf digitalen Marktplätzen kann vielfältige energiewirtschaftliche, ökologische und gesellschaftspolitische Auswirkungen entfalten. Die direkten P2P-Handelsverträge können im Vergleich zu klassischen Handelsbeziehungen eine kosteneffizientere Abwicklung von Handelsgeschäften darstellen, da Intermediäre wie Energievertriebe nicht mehr benötigt werden bzw. deren Aufgaben geringer werden. Darüber hinaus ermöglichen automatisierte digitale Prozesse eine Senkung der mit dem Stromhandel verbundenen Transaktionskosten. Dieser Effekt ist insbesondere bei der Anwendung der Blockchain-Technologie zu erwarten. Somit könnten die Kosten für Verbraucher potenziell gesenkt und die Erlöse für Erzeuger gesteigert werden. Den positiven Effekten stehen jedoch auch potenzielle preissteigernde Effekte gegenüber. Der derzeitige Strommarkt ist von einem hohen Wettbewerbsdruck und einer großen Akteursvielfalt geprägt. Insbesondere auch, weil der Großhandelsmarkt, auf dem Energieversorger Strom für ihre Kunden einkaufen, europaweit integriert ist. Im Gegensatz hierzu stellen digitale Plattformen mit einem Fokus auf Regionalität von Natur aus eine starke Marktverkleinerung dar. Es ist also davon auszugehen, dass auf dezentralen Marktplätzen zunächst ein niedrigerer Wettbewerbsdruck herrscht und dies zu höheren Endkundenpreisen führen kann. Jedoch hat die Entwicklung von digitalen Marktplätzen und Plattformen in anderen Sektoren gezeigt, dass es aufgrund von Netzwerkeffekten auch in diesem Segment zu einer Integration verschiedener Plattformen mit einer großen Anzahl von Teilnehmern und einem entsprechend hohen Wettbewerb kommt. Beispiele hierfür sind die Plattformen ebay oder AirBnB.

Eine Verbreitung des P2P-Handels könnte insbesondere auch die bestehenden Akteurskonstellationen und Geschäftsmodelle im Strommarkt stark verändern. Energieversorgern könnte ein wesentliches Geschäftsfeld (Stromeinkauf- und -verkauf) wegbrechen. Dies bedeutet jedoch nicht, dass Energieversorger automatisch überflüssig werden. Zahlreiche Energieversorger üben in der Energiewirtschaft neben der Rolle des Energielieferanten auch viele weitere Rollen aus. Sie sind Betreiber von Verteilnetzen und Erzeugungsanlagen und bieten Energiedienstleistungen an (z.B. Installation von Ladesäulen für Elektrofahrzeuge). Darüber hinaus ist auch denkbar, dass Energieversorger zu Betreibern von digitalen Marktplätzen werden und somit auch bei der Abwicklung neuer Handelsbeziehungen eine relevante Rolle einnehmen.

Digitale Marktplätze steigern die Transparenz des Strombezugs. Derzeit haben Verbraucher bei einem Ökostrombezug in der Regel nur Informationen über einen Pool von Erzeugungsanlagen, aus denen sie (und alle anderen Kunden des gleichen Stromproduktes) ihren Strom in einem Jahr geliefert bekommen. Wie oben dargestellt, können bei einem P2P-Handel Stromlieferungen in hoher zeitlicher Auflösung spezifischen Erzeugungsanlagen individuellen Einzelverbrauchern zugewiesen werden. Insgesamt nimmt damit die Komplexität des Strombezugs stark zu. Verschiedene Studien haben gezeigt, dass Strom ein low-interest Produkt ist, mit dem sich Verbraucher in der Regel nur sehr punktuell und oberflächlich beschäftigen (Hochschule Luzern 2013; UBA 2014). Somit ist davon auszugehen, dass die Mehrheit der Verbraucher vor allem ein Interesse an einem P2P-Handel entwickeln wird, wenn hiermit Kostenvorteile verbunden sind.

7.3. Analyse zentraler Nachhaltigkeitsaspekte

Die Effekte von netzdienlichen Flexibilitätsplattformen auf die Nachhaltigkeit werden folgend in direkte, indirekte und systemische Effekte unterschieden.

7.3.1. Direkte Nachhaltigkeitseffekte

Digitalisierungstechnologien haben einen eigenen **Energiebedarf**, welcher potenziellen positiven Effekten gegenübergestellt werden muss. In der Regel ist die Nutzung der Infrastrukturen für digitale Marktplätze und des Netzmanagements aber mit geringen zusätzlichen Energieverbräuchen verbunden und baut auf bestehenden Digitalisierungssystemen auf. Beim P2P-Handel ist der wesentliche zusätzliche Strombedarf auf Verbraucherseite der Smart Meter. Diese intelligenten Messsysteme verbrauchen ungefähr 40 kWh Energie pro Jahr mehr als gängige Ferrarisähler (BMW 2013). Zudem ist der Ressourcenbedarf für die Zählerinfrastruktur als direkter Nachhaltigkeitseffekt zu berücksichtigen.

Weiter sind der Stromverbrauch der digitalen Plattformen und deren Prozesse zu beachten. Für bestehende P2P-Plattformen werden zum Teil Blockchain-Technologien mit Proof-of-work als Validierungsmechanismus eingesetzt. Die Diskussion des Energieverbrauchs wurde in Kapitel 4 geführt.

7.3.2. Indirekte Effekte

Indirekte Nachhaltigkeitseffekte können an dieser Stelle nur als ‚potenziell‘ angesprochen werden, da wissenschaftliche Einschätzungen dazu bislang fehlen. Prinzipiell wird eine Reduktion der THG-Emissionen in der Stromerzeugung erreicht, wenn der Ausbau erneuerbarer Stromerzeugung gestärkt wird und wenn der EE-Strom möglichst vollständig genutzt werden kann. Die Stärkung des Ausbaus kann direkt durch die Finanzierung von EE-Anlagen erfolgen oder indirekt durch die Verbesserung der Akzeptanz neuer EE-Anlagen. Eine optimale Nutzung des EE-Stroms kann durch eine bessere Abstimmung von Verbrauch und fluktuierender erneuerbaren Erzeugung erreicht werden. Im jetzigen Strommarkt haben Verbraucher bereits zahlreiche Möglichkeiten, erneuerbare Energien zu beziehen. In der Regel sind mit einem Ökostrombezug jedoch keine positiven ökologischen Effekte verbunden, da hiermit zumeist keine Anreize für Investitionen in neue EE-Anlagen oder einen systemdienlichen Verbrauch verbunden sind. Die zentrale Frage ist daher, welche positiven Effekte sich durch den Bezug von Ökostrom über digitale Plattformen ergeben.

Der P2P-Handel kann potenziell neue einfach abzuwickelnde Absatzwege für Erzeuger von erneuerbaren Energien schaffen. Diese könnten insbesondere für dezentrale PV-Erzeuger (z.B. Prosumenten) und regionale Akteure (z.B. Energiegenossenschaften) neue lukrative Absatzmöglichkeiten darstellen. Insbesondere in Zeiten auslaufender staatlicher Fördersysteme werden neue Absatzkanäle zukünftig an Bedeutung gewinnen. Damit könnten kleine Akteure mit geringer Vermarktungskompetenz gestärkt und somit die **Akteursvielfalt** in der Energieerzeugung gefördert werden.

Prinzipiell kann der Handel von erneuerbaren Energien auf digitalen Plattformen die **Finanzierung neuer EE-Anlagen** unterstützen. Hierfür ist es jedoch notwendig, dass eine zusätzliche Zahlungsbereitschaft der Kunden erschlossen wird und dass die neuen Vermarktungswege langfristige, sichere und finanziell ausreichende Erlösmöglichkeiten für EE-Anlagenbetreiber bereitstellen, die in der Form zuvor nicht bestanden haben. Zum jetzigen Zeitpunkt ist jedoch nicht erkennbar, dass durch die Digitalisierung im Vergleich zu den bestehenden Vermarktungsoptionen (insbesondere durch staatliche Fördersysteme) alternative und für Investitionen relevante Erlösmöglichkeiten geschaffen werden. Im regulären Großhandelsstrommarkt sind die Erlösmöglichkeiten für Erzeugungsanlagen derzeit noch zu niedrig und die zukünftige Preisentwicklung zu unsicher, um rein

marktbasierte Investitionen in EE-Anlagen zu bewirken. Der Ausbau der erneuerbaren Energien wird daher mittelfristig auf staatliche Fördersysteme angewiesen sein. Dennoch können für bestimmte Anwendungsfälle digitale Marktplätze die EE- Erzeugung direkt fördern. Dies betrifft insbesondere alte EE-Anlagen, deren Förderzeitraum ausgelaufen ist. Wenn durch die Vermarktung auf Großhandelsmärkten keine für den weiteren Betrieb ausreichenden Erlöse erzielen werden können, könnten digitale Marktplätze zusätzliche Erlösmöglichkeiten bieten und somit dazu beitragen, einen **Rückbau von Altanlagen zu verhindern**. Darüber hinaus ist es natürlich auch möglich, dass neben bestehenden Vermarktungswegen, neue digitale Vermarktungsoptionen eine alternative auskömmliche Erlösoption darstellen, um spezifische Kundenpräferenzen (z.B. nach direkteren Verbindung zum Produzenten) zu befriedigen. Voraussetzung ist in beiden Fällen, dass eine ausreichend hohe Zahlungsbereitschaft der Stromkunden besteht.

Neben der Förderung des erneuerbaren Energien-Ausbau kann eine direktere Verbindung von EE-Erzeugung und Verbrauchern auch die notwendige **Systemintegration erneuerbarer Energien fördern**, und damit die optimale Nutzung der Erzeugung aus erneuerbaren Energien. Preis-differenzierte Strompreise bieten einen Anreiz zur Ausnutzung von Flexibilitäten im Verbrauch (z.B. Ladung von E-Fahrzeugen), sodass die volatile Erzeugung aus PV- und Windenergieanlagen besser genutzt und ggf. sogar die lokale Abregelung von EE-Erzeugung reduziert werden könnte. So wurde gezeigt, dass eine Partizipation an der Erzeugung erneuerbarer Energien in Form von (anteiligem) Besitz der Erzeugungsanlagen die Bereitschaft zur Anpassung des eigenen Verbrauchs steigert (Roth et al. 2018).

7.3.3. Systemische Nachhaltigkeitseffekte

Für den weiteren Ausbau von Erneuerbaren Energien müssen neben einer ausreichenden ökonomischen Basis durch Fördersysteme und marktwirtschaftliche Absatzkanäle auch die entsprechenden Flächen für die notwendigen Infrastrukturen erschlossen werden (z.B. ländliche Gebieten für Windenergieanlagen und private Dachflächen für PV-Anlagen). Der direkte Verkauf von EE- Erzeugung könnte indirekt den EE-Ausbau fördern, wenn hierdurch die **Akzeptanz von EE-Anlagen** steigt. Eine solche Akzeptanzsteigerung könnte durch eine regionale Vermarktung und eine engere Beziehung zwischen Erzeugern von erneuerbaren Energien und Verbrauchern gefördert werden, wenn sich die Verbraucher durch den Strombezug stärker mit der Energieversorgung ihrer Region identifizieren. Dieser Akzeptanz-Effekt wird oftmals angenommen, jedoch ist er empirisch bisher nicht nachgewiesen worden und es stellt sich die Frage, ob er eine relevante Größenordnung erreichen kann. Es wurde jedoch gezeigt, dass die finanzielle Beteiligung an Energiegemeinschaften sich positiv auf die Bewertung von Windkraftanlagen auswirken können (Özgür Yildiz et al. 2015; Tarhan 2015). Das ist jedoch ein Modell, das unabhängig von einem P2P-Handel möglich ist. Theoretisch könnte der direkte Stromhandel in (regionalen) Gemeinschaften somit auch die Ausnutzung bestehender Flächenpotenziale (z.B. Hausdach für PV-Erzeugung) fördern und Eigenheimbesitzer motivieren, die Anlagenkapazitäten nicht nur auf den Eigenbedarf hin zu optimieren, sondern das bestehende Flächenpotenzial vollständig auszunutzen.

8. Literaturverzeichnis

Aengenvoort, J. (2015): Virtuelle Kraftwerke – Von der Vernetzung der Erzeugung zur Vernetzung des Verbrauchs. An der Schnittstelle zwischen Markt und Netz: Herausforderungen für die Energiewirtschaft. NEXT Kraftwerke. Veranstalter: netconomica 2015. Bonn, 29.09.2015, zuletzt geprüft am 19.10.2015.

Agora Energiewende (2018). Toolbox für die Stromnetze, Für die künftige Integration von Erneuerbaren Energien und für das Engpassmanagement. Unter Mitarbeit von energynautics GmbH. Agora Energiewende. Berlin, 2018, zuletzt geprüft am 11.01.2018.

Aleksic, S.; Mujan, V. (2018): Exergy cost of information and communication equipment for smart metering and smart grids. In: *Sustainable Energy, Grids and Networks* 14, S. 1–11. DOI: 10.1016/j.segan.2018.01.002.

BBH - Becker Büttner Held (Hg.) (2017). Studie zur Digitalisierung der Energiewirtschaft. Berlin, 2017.

BDEW - Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft (Hg.) (2017). Blockchain in der Energiewirtschaft, Potenziale für Energieversorger. Berlin, 2017. Online verfügbar unter https://www.bdew.de/media/documents/BDEW_Blockchain_Energiewirtschaft_10_2017.pdf, zuletzt geprüft am 18.06.2018.

BMWi (2013): Ernst & Young. Kosten-Nutzen-Analyse für einen flächendeckenden Einsatz intelligenter Zähler. BMWi. Berlin, 2013. Online verfügbar unter <http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/Publikationen/Studien/kosten-nutzen-analyse-fuer-flaechendeckenden-einsatz-intelligenter-zaehler,property=pdf,bereich=bmwi2012,sprache=de,rwb=true.pdf>.

BNetzA - Bundesnetzagentur (2017): Flexibilität im Stromversorgungssystem, Bestandsaufnahme, Hemmnisse und Ansätze zur verbesserten Erschließung von Flexibilität. Bonn, 2017. Online verfügbar unter https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Energie/Unternehmen_Institutionen/NetzentwicklungUndSmartGrid/BNetzA_Flexibilitaetspapier.pdf?__blob=publicationFile&v=1, zuletzt geprüft am 18.04.2017.

Carl von Ossietzky Universität; IÖW - Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (2018): Flieger, B.; Schachtschneider, U.; Wolter, H.; Lautermann, C.; Aretz, A.; Gähns, S.; Broekmans, J. Zukunftsfeld Mieterstrommodelle, Potentiale von Mieterstrom in Deutschland mit einem Fokus auf Bürgerenergie. Carl von Ossietzky Universität; Institut für ökologische Wirtschaftsforschung. Oldenburg, Berlin, 2018, zuletzt geprüft am 05.06.2018.

Germanwatch (2018): Zimmermann, H.; Wolf, V. Sechs Thesen zur Digitalisierung der Energiewende: Chancen, Risiken und Entwicklungen. Germanwatch. Berlin, 2018, zuletzt geprüft am 16.10.2018.

Hans Böckler Stiftung (2018): Roth, I. Digitalisierung in der Energiewirtschaft., Technologische Trends und ihre Auswirkungen auf Arbeit und Qualifizierung. Hans Böckler Stiftung, 2018. Online verfügbar unter https://www.input-consulting.de/files/inpcon-DATA/download/2018-Studie-Digitalisierung-Energiewirtschaft_HBS-WP_073_2018.pdf, zuletzt geprüft am 11.06.2018.

Heinrich-Böll-Stiftung (Hg.) (2019): Lucha, C.; Meinecke, L. Alte Energiewelt - Neue Energiewelt Trends und Akteure in einem zunehmend digitalen Energiesystem. Berlin, 2019, zuletzt geprüft am 14.03.2019.

Hochschule Luzern (2013): Demarmels, S.; Schaffner, D.; Kolberg, S.; Janoschka, A. Ökostrom oder Naturpower? Handlungsempfehlungen, Handlungsempfehlungen für eine verständliche Marketingkommunikation von Stromprodukten aus erneuerbaren Energien. Hochschule Luzern. Luzern, 2013.

HTW - Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin (2016): 50%-Studie: Effekte der 50%-Einspeisebegrenzung des KfW-Förderprogramms für Photovoltaik-Speichersysteme. Unter Mitarbeit von Johannes Weniger; Joseph Bergner; Tjarko Tjaden und Volker Quaschnig. Berlin, 2016. Online verfügbar unter <https://pvspeicher.htw-berlin.de/wp-content/uploads/2016/02/HTW-Berlin-50-Prozent-Studie.pdf>, zuletzt geprüft am 14.11.2017.

HTW - Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin (2017): Kreuzburg, M. Blockchain in der Energiewirtschaft, Chancen und Risiken durch den Einsatz der Blockchain-Technologie und damit einhergehende Auswirkungen auf die heutigen Marktrollen. Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin. Berlin, 2017, zuletzt geprüft am 23.07.2018.

Öko-Institut (2016): Ökologische Bereitstellung von Flexibilität im Stromsystem. Unter Mitarbeit von Heinemann, C.; Koch, M.; Ritter, D.; Vogel, M.; Harthan, R. et al. Freiburg, 2016.

Özgür Yildiz; Jens Rommel; Sarah Debor; Lars Holstenkamp; Franziska Mey; Jakob R. Müller; Jörg Radtke; Judith Rognli (2015): Renewable energy cooperatives as gatekeepers or facilitators? Recent developments in Germany and a multidisciplinary research agenda. In: *Energy Research & Social Science* 6, S. 59–73. DOI: 10.1016/j.erss.2014.12.001.

PriceWaterhouseCoopers (2017). Die digitalisierte dezentrale Energieversorgung von morgen gestalten. PriceWaterhouseCoopers. Berlin, 2017, zuletzt geprüft am 27.11.2017.

Roth, L.; Lowitzsch, J.; Yildiz, Ö.; Hashani, A. (2018): Does (Co-)ownership in renewables matter for an electricity consumer's demand flexibility?, Empirical evidence from Germany. In: *Energy Research & Social Science* 46, S. 169–182. DOI: 10.1016/j.erss.2018.07.009.

TAB - Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (Hg.) (2016). Blockchain. Unter Mitarbeit von Thiele, D. und Ehrenberg-Silies, S. Berlin, 2016, zuletzt geprüft am 25.06.2018.

Tarhan, M. D. (2015): Renewable Energy Cooperatives: A Review of Demonstrated Impacts and Limitations (Volume 4, Issue 1 2015), S. 104–120, zuletzt geprüft am 07.04.2016.

UBA - Umweltbundesamt (Hg.) (2014): John, R.; Bormann, I.; Rückert-John, J. Repräsentativumfrage zum Umweltbewusstsein und Umweltverhalten im Jahr 2012 einschließlich sozialwissenschaftlicher Analysen. Dessau-Roßlau, 2014.