ECONSTOR
Make Your Publications Visible.

A Service of

ZBW Leibniz-Informationszentrum Wirtschaft
Leibniz Information Centre for Economics

Strüker, Jens et al.

Working Paper

Dekarbonisierung durch Digitalisierung: Thesen zur Transformation der Energiewirtschaft

Bayreuther Arbeitspapiere zur Wirtschaftsinformatik, No. 67

Provided in Cooperation with:
University of Bayreuth, Chair of Information Systems Management

Suggested Citation: Strüker, Jens et al. (2021) : Dekarbonisierung durch Digitalisierung: Thesen zur Transformation der Energiewirtschaft, Bayreuther Arbeitspapiere zur Wirtschaftsinformatik, No. 67, Universität Bayreuth, Lehrstuhl für Wirtschaftsinformatik, Bayreuth, https://doi.org/10.15495/EPub_UBT_00005596

This Version is available at:
https://hdl.handle.net/10419/235584

Standard-Nutzungsbedingungen:

Die Dokumente auf EconStor dürfen zu eigenen wissenschaftlichen Zwecken und zum Privatgebrauch gespeichert und kopiert werden.

Sie dürfen die Dokumente nicht für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, öffentlich zugänglich machen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Sofern die Verfasser die Dokumente unter Open-Content-Lizenzen (insbesondere CC-Lizenzen) zur Verfügung gestellt haben sollten, gelten abweichend von diesen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Terms of use:

Documents in EconStor may be saved and copied for your personal and scholarly purposes.

You are not to copy documents for public or commercial purposes, to exhibit the documents publicly, to make them publicly available on the internet, or to distribute or otherwise use the documents in public.

If the documents have been made available under an Open Content Licence (especially Creative Commons Licences), you may exercise further usage rights as specified in the indicated licence.

WWW.ECONSTOR.EU

Mitglied der Leibniz-Gemeinschaft

UNIVERSITÄT BAYREUTH

Bayreuther Arbeitspapiere zur Wirtschaftsinformatik

Jens Strüker, Martin Weibelzahl, Marc-Fabian Körner, Axel Kießling, Ariette Franke-Sluijk, Mike Hermann

Dekarbonisierung durch Digitalisierung

Thesen zur Transformation der Energiewirtschaft

No. 67

2021

Dekarbonisierung durch Digitalisierung

Thesen zur Transformation der Energiewirtschaft

Gemeinsames Thesenpapier

der Universität Bayreuth,
der Projektgruppe
Wirtschaftsinformatik des Fraunhofer FIT
und der TenneT TSO GmbH (TenneT), Bayreuth

UNIVERSITÄT BAYREUTH

Fraunhofer FIT
Projektgruppe Wirtschaftsinformatik

TenneT

Disclaimer

Das vorliegende Thesenpapier wurde von der Universität Bayreuth, der Projektgruppe Wirtschaftsinformatik des Fraunhofer FIT und TenneT nach bestem Wissen und unter Einhaltung der entsprechenden Sorgfalt erstellt.

Die Universität Bayreuth, die Projektgruppe Wirtschaftsinformatik des Fraunhofer FIT, TenneT, ihre gesetzlichen Vertreter*innen und/oder Erfüllungsgehilf*innen übernehmen keinerlei Garantie dafür, dass die Inhalte dieses Thesenpapiers gesichert, vollständig, für bestimmte Zwecke brauchbar oder in sonstiger Weise frei von Fehlern sind. Die Nutzung dieses Thesenpapiers geschieht ausschließlich auf eigene Verantwortung.

In keinem Fall haften die Universität Bayreuth, die Projektgruppe Wirtschaftsinformatik des Fraunhofer FIT, TenneT, ihre gesetzlichen Vertreter*innen und/oder Erfüllungsgehilf*innen für jegliche Schäden, seien sie mittelbar oder unmittelbar, die aus der Nutzung des Thesenpapiers resultieren.

Empfohlene Zitierweise

Strüker J., Weibelzahl M., Körner M.-F., Kießling A., Franke-Sluijk A., Hermann, M. (2021): Dekarbonisierung durch Digitalisierung – Thesen zur Transformation der Energiewirtschaft. Hg. v. Universität Bayreuth, Projektgruppe Wirtschaftsinformatik des Fraunhofer-Instituts für Angewandte Informationstechnik FIT und TenneT. Bayreuth. Online verfügbar unter https://doi.org/10.15495/EPub_UBT_00005596.

AUTOR*INNEN

Prof. Dr. Jens Strüker

Dr. Martin Weibelzahl

Marc-Fabian Körner

Axel Kießling

Ariette Franke-Sluijk

Mike Herrmann

Die Universität Bayreuth existiert seit 1975 und ist eine der erfolgreichsten jungen Universitäten in Deutschland. Mit ihren interdisziplinären Profilfeldern hat sie sich in den letzten Jahrzehnten international einen ausgezeichneten Ruf in Forschung und Lehre erarbeitet. Im Profilfeld *Energieforschung und Energietechnologie* wird das Zukunftsthema Energie nicht nur natur- und ingenieurwissenschaftlich behandelt, sondern auch mit seinen gesellschaftspolitischen, wirtschaftlichen und rechtlichen Aspekten betrachtet.

Die Projektgruppe Wirtschaftsinformatik des Fraunhofer FIT vereint die Forschungsbereiche Finanz- und Informationsmanagement in Augsburg und Bayreuth. Die Expertise an der Schnittstelle von Finanzmanagement, Informationsmanagement und Wirtschaftsinformatik sowie die Fähigkeit, methodisches Know-how auf höchstem wissenschaftlichem Niveau mit einer kunden-, ziel- und lösungsorientierten Arbeitsweise zu verbinden, sind ihre besonderen Merkmale.

TenneT gehört zu den führenden Stromnetzbetreibern in Europa und steht für eine in höchstem Maß sichere und zuverlässige Stromversorgung – 24 Stunden am Tag, 365 Tage im Jahr. Als erster grenzüberschreitender Übertragungsnetzbetreiber plant, baut und betreibt TenneT ein fast 24.000 Kilometer langes Hoch- und Höchstspannungsnetz in den Niederlanden sowie in großen Teilen Deutschlands und unterstützt mit 16 Interkonnektoren zu Nachbarländern den europäischen Energiemarkt. TenneT ist einer der größten Investor*innen in die europäische Energiewende und Mitgestalter eines nachhaltigen, zuverlässigen und bezahlbaren Energieversorgungssystems in der Zukunft, bei dem nicht zuletzt die Digitalisierung eine wesentliche Rolle spielt. Mit derzeit rund 5.700 internen und externen Mitarbeiter*innen steht TenneT im Sinn seiner Unternehmenswerte Verantwortung, Mut und Vernetzung jeden Tag dafür ein, dass sich mehr als 42 Millionen Endverbraucher*innen in Europa auf eine stabile Stromversorgung verlassen können.

Als eine der ersten Universitäten in Bayern hat sich die Universität Bayreuth eine verbindliche Nachhaltigkeitsstrategie gegeben, in der die Senkung von CO_2-Emissionen festgeschrieben ist.[1] Die Fraunhofer-Gesellschaft verfolgt im Rahmen einer internen Initiative das Ziel, bis 2030 klimaneutral zu werden.[2] Auch die Übertragungsnetzbetreiber haben sich bereits dazu verpflichtet, ihren eigenen CO_2-Fußabdruck zu reduzieren und dabei weiterhin eine sehr hohe Versorgungssicherheit bei angemessenen Strompreisen sicherzustellen.[3]

[1] Vgl. Universität Bayreuth 2021.
[2] Vgl. Fraunhofer 2021.
[3] Vgl. TenneT 2020.

MANAGEMENT SUMMARY

The successful and rapid achievement of sustainability and climate protection goals is increasingly getting into the focus of political, economic, and societal action. Against this background, the energy industry contributes and will further contribute to corresponding decarbonization in Germany and throughout Europe. Indeed, it already provides a significant contribution to the Paris Agreement and European *Green Deal*. In this light, the next transformation phase to a sustainable energy system is inevitably linked to the modernization and, in particular, to the digitalization of the energy industry.

The aim of this thesis paper is to intensify the discussion on the digitalization of the energy industry and, in particular, to outline recommendations for flexible and proactive action by all stakeholders. The University of Bayreuth, the Project Group Business & Information Systems Engineering of the Fraunhofer FIT, and the European transmission system operator TenneT are united by the vision of climate-neutral economic growth based on the innovative strength of the European economy. In 2021, decarbonization is already shaping the digitalization of the energy industry: After the initiated steps to transform the energy industry towards more sustainability in the course of the energy turnaround in recent years, it is now a matter of accelerating sustainable growth while continuing to keep the energy supply secure and economical. A crucial building block in this development is the electrification of the heating and transportation sector. Accordingly, we discuss the role of grid expansion with respect to sector coupling and emphasize the digitalization of end-to-end energy industry processes. In this context, we see decentralized digital identities as a promising way to bridge the current digital gap and to address the need for digital certificates in the light of decarbonization. Against the urgency of climate policy action, we recommend an appropriate innovation policy to enable field tests agilely. Finally, we draw a perspective on the monitoring of CO_2 emissions of grid expansion projects. This paper is aimed at political decision-makers, energy industry stakeholders, and all citizens interested in energy policy.

ZUSAMMENFASSUNG

Das erfolgreiche und schnelle Erreichen von Nachhaltigkeits- und Klimaschutzzielen rückt zunehmend in den Fokus des politischen, wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Handelns. Vor diesem Hintergrund kann und muss die Energiewirtschaft weiter wesentlich zur Dekarbonisierung in Deutschland und ganz Europa beitragen. Für eine erfolgreiche Transformation hin zu einem nachhaltigen Energiesystem im Rahmen des Pariser Klimaabkommens und des europäischen *Green Deal* stehen damit nun die umfassende Modernisierung und insbesondere die Digitalisierung der Energiewirtschaft an.

Ziel dieses Thesenpapiers ist es, die Diskussion über die Digitalisierung der Energiewirtschaft zu intensivieren und insbesondere Empfehlungen für ein flexibles und proaktives Handeln aller relevanten Akteure zu skizzieren. Die Universität Bayreuth, die Projektgruppe Wirtschaftsinformatik des Fraunhofer FIT und den europäischen Übertragungsnetzbetreiber TenneT eint die Vision eines klimaneutralen Wirtschaftswachstums auf Basis der Innovationskraft der europäischen Wirtschaft. Im Jahr 2021 prägt die Dekarbonisierung bereits die Digitalisierung der Energiewirtschaft: Nach den eingeleiteten Schritten zur Transformation der Energiewirtschaft hin zu mehr Nachhaltigkeit im Zuge der Energiewende in den letzten Jahren geht es nun darum, nachhaltiges Wachstum zu beschleunigen und dabei die Energieversorgung weiterhin sicher und wirtschaftlich zu halten. Einen wesentlichen Baustein dieser Entwicklung bildet die Elektrifizierung weiterer Sektoren. Entsprechend diskutieren wir die Rolle des Netzausbaus im Hinblick auf die Sektorenkopplung und betonen die durchgängige Digitalisierung energiewirtschaftlicher Prozesse. Dabei stellen wir die Bedeutung dezentraler digitaler Identitäten als vielversprechendes Instrument heraus, um die aktuelle digitale Lücke zu überwinden, und verweisen so insbesondere auf die Notwendigkeit von digitalen Zertifikaten für eine durchgängige Dekarbonisierung. In Anbetracht der Dringlichkeit klimapolitischer Maßnahmen empfehlen wir eine Innovationspolitik, die es erlaubt, vielversprechende Lösungsansätze agil zu erproben und rasch hieraus zu lernen. Das Thesenpapier schließt mit einem Ausblick auf das Monitoring der CO_2-Emissionen von Netzausbauprojekten und richtet sich insgesamt an politische Entscheidungsträger*innen, Akteure der Energiewirtschaft und alle energiepolitisch interessierten Bürger*innen.

INHALTSVERZEICHNIS

Vorwort 8
1. Sektorenkopplung und Netzausbau 10
2. Dezentralität erfordert Überwindung der digitalen Lücke . . . 11
3. Digitale Nachweise für die Dekarbonisierung. 13
4. Agiles Testen und Lernen im Sandkasten 14
5. CO_2-Emissionen von Netzausbaumaßnahmen 15
Über die Autor*innen 16
Impressum 18
Literatur- und Quellenverzeichnis 19

VORWORT

Liebe Leser*innen,

die erfolgreiche und zügige Erreichung von Nachhaltigkeits- und Klimaschutzzielen des Pariser Abkommens sowie des europäischen *Green Deal* rückt immer stärker in den Mittelpunkt politischen, wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Handelns. Die Dekarbonisierung der Energiewirtschaft leistet dabei einen wesentlichen Beitrag und ist unweigerlich mit der Modernisierung und insbesondere mit der Digitalisierung der Energiewirtschaft verbunden.

Ziel dieses Thesenpapiers ist es deshalb, die Diskussion zur Digitalisierung der Energiewirtschaft zu intensivieren sowie Empfehlungen zur politischen Unterstützung eines flexiblen und proaktiven Handelns aller Beteiligten zu erarbeiten. Den europäischen Übertragungsnetzbetreiber TenneT, die Universität Bayreuth und die Projektgruppe Wirtschaftsinformatik des Fraunhofer-Instituts für Angewandte Informationstechnik FIT verbindet dabei das Leitbild eines klimaneutralen Wirtschaftswachstums basierend auf der Innovationskraft der europäischen Wirtschaft. Klimaschutz stellt sich dabei als Positivsummenspiel dar, bei dem es möglich wird, alle besserzustellen. Im Fall einer schrumpfenden Wirtschaft hingegen drohen Verlierer*innen und damit gesellschaftliche Verteilungskonflikte, die das Erreichen der Klimaziele erheblich erschweren werden. Dieses Risiko ist angesichts der Unumkehrbarkeit des Schadens nicht vertretbar. Sowohl die akademische als auch die außeruniversitäre Forschung bieten eine Vielfalt von vielversprechenden digitalen Innovationen für klimaneutrales Wirtschaftswachstum, die es nun in den verschiedenen Sektoren der Wirtschaft konsequent umzusetzen und zu erproben gilt.

Die Energiewirtschaft steht im Jahr 2021 bereits ganz im Zeichen der Dekarbonisierung: Nachdem im Zuge der Energie*wende* die Schritte zum Umbau der Energiewirtschaft hin zu mehr Nachhaltigkeit in den letzten Jahren eingeleitet wurden, geht es nun darum, nachhaltiges Wachstum zu *beschleunigen* und gleichzeitig die Energieversorgung weiterhin sicher und wirtschaftlich zu halten. Ein entscheidender Baustein ist dabei die durchgängige Digitalisierung energiewirtschaftlicher Prozesse. Das vorliegende Papier wendet sich an energiewirtschaftliche Akteure, politische Entscheidungsträger*innen sowie energiepolitisch interessierte Bürger*innen.

Wir wünschen Ihnen viel Freude bei der Lektüre und laden Sie herzlich ein, mit den Autor*innen in den Dialog zu treten.

Prof. Dr. Stefan Leible (Universität Bayreuth) und
Dr. Ingo Schmidt (TenneT TSO GmbH)

EINLEITUNG

Nachdem das Stromsystem in Deutschland erfolgreich in Richtung erneuerbare Energien gewendet wurde, stehen die Übertragungsnetzbetreiber (ÜNB) vor einer weiteren großen Herausforderung, nämlich der umfassenden und zügigen Dekarbonisierung des europäischen Stromsystems. Als bedeutenden und neutralen Akteuren der Energiewirtschaft kommt den ÜNB hierbei eine besondere Rolle zu. Zu ihren traditionellen Aufgaben zählen die Bereitstellung der Infrastruktur sowie deren angemessener Ausbau, ihr sicherer Betrieb und ihre Bezahlbarkeit. Mit der Energiewende ist die Systemintegration der erneuerbaren Energien als zusätzliche Aufgabe hinzugekommen. Aktuell folgt die Elektrifizierung weiterer Bereiche der Industrie, der Gebäude und des Verkehrs unter dem Schlagwort *Sektorenkopplung*. In der neuen, sektorengekoppelten Welt, in der die Bedeutung von Strom für die Dekarbonisierung der Gesamtwirtschaft stetig zunimmt, werden CO_2-Emissionen zum entscheidenden Leitindikator.

Um die Maxime der Dekarbonisierung – nicht nur der Energiewirtschaft, sondern der gesamten Wirtschaft – in die Praxis zu übertragen, werden für Wirtschaftsakteure neben den abstrakten Preisinformationen aus dem *EU Emissions Trading System* (EU ETS) für Stromzertifikate auch orts- und zeitbezogene Angaben zum CO_2-Gehalt von Strom immer relevanter. Hier müssen Energiewirtschaft und Politik eng zusammenarbeiten, damit diese Informationen zukünftig überprüfbar und transparent bereitgestellt werden können. Wissenschaft und Forschung leisten diesbezüglich schon heute Unterstützung und geben wesentliche Impulse für die aktive Zukunftsgestaltung.[4] Ein notwendiges Instrument zur Dekarbonisierung der Energiewirtschaft ist die Digitalisierung. Das vorliegende Thesenpapier zeigt auf, wie digitale Technologien zielgerichtet genutzt werden können, um die Transformation der Energiewirtschaft zu unterstützen und zu beschleunigen. Zur bestmöglichen Ausschöpfung aktueller und zukünftiger Potenziale der Digitalisierung müssen bereits heute entsprechende Fundamente gelegt werden: So gilt es insbesondere, die technischen, ökonomischen und regulatorischen Hindernisse zügig zu identifizieren und zu adressieren.

Die Erderwärmung ist eine Krise, deren Bekämpfung keinen Aufschub mehr duldet. Die Geschwindigkeit der Transformation des Energieversorgungssystems muss daher rasch zunehmen, ohne die Versorgungssicherheit und Bezahlbarkeit zu gefährden: Neue, vielversprechende Lösungsansätze müssen früher in die marktliche Erprobung gebracht werden. Auf diese Weise können Konzepte bereits frühzeitig bewertet und korrigiert sowie die beste Lösung schnell implementiert werden. Dies erscheint insbesondere im hoch dynamischen Umfeld der Klima- und Energiepolitik sowie vor dem Hintergrund der rasanten Entwicklung von Informationstechnologien unerlässlich. Kurzum: Die Energiewirtschaft braucht dringender denn je agile Formen des Erprobens, wobei auch über neue Ansätze wie das parallele Testen unterschiedlicher Lösungsansätze nachgedacht werden sollte. Ziel und Zweck dieses Thesenpapiers ist es, wesentliche Handlungsfelder zu benennen und zu erläutern sowie Handlungsvorschläge in die ökonomische und politische Diskussion einzubringen.

[4] Vgl. beispielsweise die zeitlich und örtlich differenzierbaren digitalen Herkunftsnachweise für Grünstrom, die die Universität Bayreuth mit Partner*innen im Forschungsprojekt *InDEED* seit 2020 erarbeitet. *InDEED* wird gefördert vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi).

1. SEKTORENKOPPLUNG UND NETZAUSBAU

Die Bedeutung von Strom nimmt auf dem Weg hin zu einer klimaneutralen Gesellschaft kontinuierlich zu. Werden erneuerbare Energien konsequent und vollumfänglich genutzt, so weisen strombasierte Lösungen wie die Elektromobilität im Verkehrssektor eine höhere Effizienz auf als klassische Verbrennungsmotoren. Gleiches gilt für Wärmepumpen gegenüber Heizkesseln im Wärmemarkt. Prognosen gehen in diesem Zusammenhang bis 2050 von einer Verdopplung des Stromverbrauchs in Deutschland aus.[5] Einen wesentlichen Anteil am Anstieg des Stromverbrauchs wird dabei der Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft für die Industrie tragen.[6] Strom wird zum Treiber für die Sektorenkopplung in Europa.

Die Elektrifizierung der Sektoren Industrie, Gebäude und Verkehr verlangt den konsequenten Ausbau der Stromnetze in Deutschland und Europa. Die zielgerichtete Nutzung des Flexibilitätspotenzials von Batteriespeichern, Wärmepumpen, Elektrolyseuren und der Elektromobilität ist dabei keine Alternative zum Stromnetzausbau; vielmehr handelt es sich um notwendige begleitende Maßnahmen, um das Energieversorgungssystem der Zukunft effizient und versorgungssicher betreiben zu können. Dabei wird auch ein intensiverer europäischer Stromhandel zum räumlichen und zeitlichen Ausgleich von hohen, fluktuierenden Stromeinspeisungen beitragen müssen.

Der effiziente Einsatz von digitalen Technologien kann den Netzbetrieb optimieren, indem eine Vielzahl von verbauten Sensoren sowohl eine verbesserte Koordination einzelner Systemkomponenten als auch eine steigende Effizienz von bestehenden Prozessen ermöglicht. So könnte beispielsweise eine auf künstlicher Intelligenz (KI) basierende Steuerung des Systems erlauben, große Datenmengen nahezu in Echtzeit zu analysieren und den Netzbetrieb flexibel darauf anzupassen. Denkbar ist ebenfalls, dass KI und Robotik zukünftig vermehrt bei Wartungsarbeiten von Systemkomponenten (z. B. von Netzbetriebsmitteln) zum Einsatz kommen.

Eine kluge Energiepolitik muss ebenso vorausschauend wie verlässlich sein. Der für die Dekarbonisierung der Sektoren Verkehr, Gebäude und Industrie erforderliche Stromnetzausbau muss daher entschlossen weiterverfolgt und umgesetzt werden. Gleichzeitig muss auch weiterhin konsequent über dessen Notwendigkeit in der Öffentlichkeit aufgeklärt werden. Die Politik sollte hierbei aktiv Akzeptanz für den Netzausbau schaffen und die Potenziale der Digitalisierung sektorenübergreifend nutzbar machen.

[5] Vgl. Agora 2020; BEE 2021; BDI 2018; dena 2018.
[6] Vgl. Agora und Wuppertal Institut 2019.

2. DEZENTRALITÄT ERFORDERT ÜBERWINDUNG DER DIGITALEN LÜCKE

Eine fundamentale und systemische Herausforderung bei der vorrangigen Aufnahme von Strom aus Photovoltaik (PV) und Windenergieanlagen (WEA) ist der *saisonale* Ausgleich von Stromangebot und Stromnachfrage. Hierbei sind sowohl die Erzeugung und Rückverstromung von Wasserstoff als auch die Nutzung von großen Speicherkraftwerken in Europa viel diskutierte Lösungsoptionen. *ÜNB sind bei den notwendigen* Exporten und Importen von Strom in die und aus den entsprechenden Ländern in den nächsten Jahren gefordert.

Für den *kurzfristigen* Ausgleich von Stromangebot und Stromnachfrage gilt es, Millionen von dezentralen Verbrauchs- und Erzeugungseinheiten als aktive Marktteilnehmer*innen in das Energiesystem einzubinden. Ihre vertikale Integration reicht hierbei von Elektrofahrzeugen, Wärmepumpen und Elektrolyseuren für Systemdienstleistungen bis hin zur Teilnahme von dezentralen Einheiten wie PV-Anlagen und PV-Heimspeichern an lokalen, regionalen oder nationalen Stromhandelsmärkten. Im idealisierten Zielbild einer Echtzeitenergiewirtschaft sollen dezentrale Einheiten souverän und dynamisch zwischen Eigenverbrauch, Systemdienstleistungen und Handelsmärkten wechseln können. Hierbei gilt grundsätzlich: Je mehr Teilnehmer*innen und je häufiger die Interaktionen – das heißt, je größer und liquider die Märkte –, desto wirkungsvoller, kostengünstiger und klimaschonender ist das Gesamtsystem. Hierbei kann beispielsweise die Blockchain-Technologie bei der Umsetzung helfen. So arbeiten bereits mehrere europäische ÜNB (TenneT, Swissgrid, Terna, APG) unter anderem an der länderübergreifenden, Blockchain-basierten Crowd-Balancing-Plattform *Equigy*. Diese digitale Datenplattform eröffnet *Prosumern* in Europa die Möglichkeit, flexible Kapazitäten ihrer Elektrofahrzeuge, Wärmepumpen oder Heimbatteriespeicher unbürokratisch, einfach und sicher über Aggregatoren für Systemdienstleistungen zur Verfügung zu stellen.[7]

Dezentrale Anlagen werden durch die Bereitstellung von Flexibilitäten zu einer höheren Auslastung der Netze beitragen (vgl. Kapitel 1). Die Flexibilitätspotenziale könnten durch echtzeitfähige und resiliente Digitalisierungskonzepte im Sinn einer reaktiven Netzführung gehoben und weiterentwickelt werden. Insgesamt erfordert die Integration von (Kleinst-)Erzeugungsanlagen „hinter" den aktuellen Zählern sowohl für das Angebot von Systemdienstleistungen als auch für ihre Zulassung für wettbewerbliche Stromhandelsmärkte einen flexiblen und lernenden Regulierungsrahmen (vgl. Kapitel 4).

Bei den technischen Voraussetzungen für eine systematische Marktintegration sowie die Nutzung netzdienlicher Beiträge dezentraler Anlagen klafft heute noch eine deutliche *digitale Lücke*: Der Wechsel einer Erzeugungsanlage vom Eigenverbrauch hin zur Bereitstellung von Systemdienstleistungen oder zur Teilnahme am Stromhandel verlangt teilweise entsprechende Prozesse noch in Papierform und vor allem viel Zeit. In diesem Kontext erfordert der dynamische Ausgleich von Stromangebot und Stromnachfrage mit vielen Millionen Transaktionen pro Tag und durchgeführt von Millionen von dezentralen Verbrauchs- und Erzeugungseinheiten zukünftig andere, vornehmlich schnellere und effizientere Formen der Interaktion. Der Informationsaustausch zwischen Verteilungsnetzbetreibern (VNB) und ÜNB ist hierfür ebenso weiterzuentwickeln und in der jeweiligen Prozesskette einer Ende-zu-Ende-Digitalisierung zu unterziehen wie das Engpassmanagement und die Marktkommunikation. Ein wesentliches Element hierbei ist, dass sowohl die Marktteilnehmer*innen selbst als auch ihre zugehörigen Rechte elektronisch in Echtzeit verifiziert werden *können*, um eine Transaktionskosten minimierende, sichere und dynamische Interaktion zu gewährleisten. Digitale Personen- und Maschinenidentitäten werden damit zu einem wichtigen Dreh- und Angelpunkt in der entstehenden Echtzeitenergiewirtschaft.

Das Fehlen digitaler Identitätsnachweise auf der Geräte- bzw. Maschinenebene ist aktuell eines der drängendsten Digitalisierungshemmnisse – nicht nur für die Energiewirtschaft. Die Bundesregierung hat dieses Problem erkannt und treibt mit Hochdruck den Aufbau eines Ökosystems digitaler, dezen-

[7] Vgl. Equigy 2021.

traler Identitäten voran, das sich einfügt in die sogenannte *Europäische Digitale-Identitäten-Initiative*. Dezentrale Ansätze sehen dabei vor, dass Nutzer*innen ihre Identitäten und Nachweise selbst verwalten. Sogenannte selbstsouveräne, digitale Identitäten (SSI) stellen sicher, dass das Überprüfen und die Verwendung von Nachweisen nicht von einer einzelnen Instanz wie einem Internetplattformbetreiber kontrolliert werden müssen.[8] Im Rahmen der Blockchain-Strategie der Bundesregierung untersucht die Projektgruppe Wirtschaftsinformatik des Fraunhofer FIT aktuell im Projekt *Blockchain Machine Identity Ledger* mit zahlreichen Partner*innen aus der Energiewirtschaft unter Leitung der Deutschen Energie-Agentur (dena) die Nutzung von SSI für den digitalen Aufbau einer Vertrauenskette, beispielsweise zwischen einer PV-Anlage, einem Smart Meter und dem Marktstammdatenregister. Auf diese Weise wird unter anderem ein Wechsel von Anlagen zwischen Eigenverbrauch und dem Anbieten von Systemdienstleistungen erheblich beschleunigt. Gesucht werden Lösungen, welche die notwendige, sichere und skalierbare Authentifizierung von Marktteilnehmer*innen wie Elektrofahrzeugen oder Wärmepumpen leisten können.

SSI sind eine der Lösungsoptionen, die zukünftig unter anderem den dynamischen Wechsel präqualifizierter Anlagen zwischen verschiedenen Marktsegmenten möglich machen werden. Die Politik sollte daher die Entwicklung digitaler SSI-Lösungen für Maschinenidentitäten mit hoher Prior*ität* weiter vorantreiben, dabei die Interoperabilität zu anderen Domänen und Ökosystemen sicherstellen sowie – unter der Nebenbedingung der Erweiterbarkeit – den Smart-Meter-Gateway-Rollout weiterführen und den Weiterbetrieb bereits bestehender Mess- und Steuerungseinrichtungen garantieren.

[8] Vgl. Strüker et al. 2021.

3. DIGITALE NACHWEISE FÜR DIE DEKARBONISIERUNG

Von digitalen Personen- und Maschinennachweisen ist es informationstechnisch nur ein kleiner Schritt zu digitalen Herkunfts- und Verwendungsnachweisen. Vor dem Hintergrund des steigenden Bedarfs der Wirtschaftsakteure an orts- und zeitbezogenen Informationen zum CO_2-Gehalt von Strom versprechen digitale CO_2-Zertifikate einen erheblichen Mehrwert und Wohlfahrtsgewinn: Sie ermöglichen eine digital verifizierbare und einfache Verrechnung einerseits mit Zertifikaten des EU ETS und des deutschen Brennstoffemissionshandels und andererseits mit Größen wie Wärme, Strom oder Wasserstoff. Denn um den CO_2-Fußabdruck von Unternehmen zu senken, sind CO_2-Mengen- und Kompensationsentscheidungen zunehmend bereits während der Produktionsprozesse zu treffen. Teilbare, verrechenbare und digitale CO_2-Zertifkate versprechen die Ermöglichung einer aktiven Steuerung auf Produktionsebene und damit ein CO_2-anreizgesteuertes Wirtschaften.

Auf Basis eines Echtzeitmonitorings können feingranulare Daten über die Nutzung und Einspeisung von Strom wie im Fall der Elektromobilität für eine bessere Netzbewirtschaftung nutzbar gemacht werden. Gleichzeitig ließe sich mit digitalen Nachweisen z. B. auch die *Farbe* von Wasserstoff beweisbar differenzieren und dieser sich als sogenannter bunter, strommarktbasierter Wasserstoff in den unterschiedlichen Qualitäten handeln.[9] In Anbetracht der erheblichen nationalen Grünstromlücke könnte dies nicht nur den Einstieg in eine Wasserstoffwirtschaft beschleunigen, sondern auch Unternehmen in die Lage versetzen, Produkte und Dienstleistungen mittels CO_2-Steuerung auf Prozessebene aktiv und unmittelbar zu beeinflussen und nicht nur passiv Auflagen und Dokumentationspflichten zu erfüllen.
Den Vorteilen aus einer digitalen Ende-zu-Ende-Verbindung zwischen CO_2-Handel und CO_2-Entscheidungen bei der Leistungserstellung bzw. bei der Kaufentscheidung der Endkund*innen stehen komplexe Anforderungen wie z. B. die Vermeidung von Nicht- oder Doppelzählungen sowie Betrug gegenüber. Es gilt daher zu prüfen, welche Rechte und Pflichten den beteiligten Marktteilnehmer*innen zukommen sollen, um zukünftig eine zielgerichtete Bereitstellung dieser Informationen zu ermöglichen.

CO_2-Preise werden ihre beabsichtigte Lenkungswirkung nur dann erzielen können, wenn sie eine unmittelbare Berücksichtigung in den wirtschaftlichen Entscheidungen von Haushalten und Unternehmen finden. Aktuell ist der Pfad zur Anhebung des CO_2-Preises weder im EU ETS noch im Emissionshandel für Verkehr und Wärme (Brennstoffemissionshandelsgesetz – BEHG) ausreichend steil, sodass er das Konsumverhalten von Haushalten und Unternehmen schnell verändern könnte. Aufgrund des Zeitdrucks der Transformation der Energiewirtschaft sollte daher geprüft werden, ob und wie digitale Herkunfts- und Verwendungsnachweise erfolgreich die Brücke zwischen den CO_2-Handelssystemen und dem Bedarf nach CO_2-Informationen für Haushaltsentscheidungen sowie für die Steuerung von Leistungsprozessen schlagen können. Die Entwicklung von innovativen, skalierbaren und erweiterbaren Konzepten ist aufgrund der gesamtgesellschaftlichen Bedeutung eine politische Aufgabe, die mit Priorität angegangen werden sollte.

[9] Bunter Wasserstoff wird ebenso wie grüner Wasserstoff in Elektrolyseanlagen hergestellt. Der Strom kann dann allerdings aus allen Quellen stammen, das heißt aus Gas-, Kohle- und Kernkraftwerken. Der aus Erdgas gewonnene blaue und türkise Wasserstoff wird bislang gemeinhin nicht hinzugezählt.

4. AGILES TESTEN UND LERNEN IM SANDKASTEN

Die Netzbetreiber müssen sich beim Betrieb und der Erweiterung des Stromnetzes flexibel auf neue, zukünftig zu meisternde Aufgaben einstellen. Hierbei gilt es, moderne Instrumente der Innovationspolitik zu nutzen. Konkret stellt sich die Frage, wie insbesondere Wissenschaft und Forschung enger mit Netzbetreibern und der Energiewirtschaft kooperieren können, um schnell und zielgerichtet digitale Innovationen für den Netzbetrieb im weitesten Sinn zu erproben sowie rasch daraus zu lernen und Anwendungen schnell implementieren zu können.

Ein verfügbares Instrument sind sogenannte Reallabore.[10] Diese werden bereits erfolgreich als Testräume für das Zusammenspiel von innovativen Technologien und Regulierung in Deutschland genutzt und ermöglichen unter realen Bedingungen das Testen von Lösungskonzepten, die aktuell mit dem bestehenden Rechts- und Regulierungsrahmen nur bedingt vereinbar sind.[11] Die Ergebnisse dieser zeitlich bzw. räumlich begrenzten Experimentierräume bieten die Grundlage dafür, den Rechtsrahmen evidenzbasiert weiterzuentwickeln.[12] Denn gerade im Netzbereich geht es nicht nur um die Erprobung digitaler Innovationen unter aktuellen Realweltbedingungen, sondern auch darum, einen Erkenntnisgewinn des Gesetzgebers für künftige Regulierungen zu erreichen. Infrage kommen hier im Speziellen Projekte zur Weiterentwicklung von Geschäftsmodellen unter realen Bedingungen ebenso wie Projekte von gesamtenergiewirtschaftlicher Bedeutung wie beispielsweise die Entwicklung digitaler CO_2-Zertifikate.
Um die Chancen und Risiken digitaler Innovationen schneller abschätzen und in regulatorische Gestaltungsvorgaben *übertragen* zu können, sollte das Instrument Reallabor weiterentwickelt und um die Variante *Schnellboote* ergänzt werden. Diese agilen und schlanken Testräume hätten idealerweise eine Laufzeit von ein bis zwei Jahren und ihre Einrichtung sollte auf Vorschlag von wissenschaftlichen Einrichtungen und der Energiewirtschaft innerhalb weniger Monaten erfolgen *können*. Bei Vorliegen eines dringenden regulatorischen Erkenntnisgewinns sollte darüber hinaus erwogen werden, für ausgewählte Fragestellungen mehrere Konzepte in Projekten parallel zu erproben. Der konsequente Einsatz von Informationstechnologien kann mit der Automatisierung der Fortschrittsmessung bzw. der Bewertung z. B. mittels KI und Smart Contracts dabei helfen, Fehlverhalten und unerwünschte Folgewirkungen zu verhindern. Darüber hinaus kann der Einsatz von Informationstechnologien auch unmittelbar das systematische Lernen und Weiterentwickeln von Lösungen unterstützen.

Grundsätzlich wird eine systematisch und schnell lernende Innovationspolitik durch die beschriebenen modernen Formen der Regulierung dazu beitragen, zügig den finanziellen Rahmen zu schaffen, um zukunftsorientierten, innovativen Ideen zur Marktreife zu verhelfen. Andernfalls drohen bei weiter bestehenden regulatorischen Unsicherheiten die dringend notwendigen Investitionen in digitale Technologien auszubleiben.

[10] Die Autor*innen verwenden den Begriff *Reallabor* im Sinn einer *Regulatory Sandbox* und folgen damit den Schlussfolgerungen des Rats der Europäischen Union zu Reallaboren und Experimentierklauseln; vgl. Rat der Europäischen Union 2020.
[11] Vgl. BMWi 2021b.
[12] Beispielsweise die norwegische und die britische Regierungsbehörde für den Strommarkt nutzen das Instrument der *Regulatory Sandbox* umfassend und erfolgreich für Pilotprojekte.

5. CO_2-EMISSIONEN VON NETZAUSBAUMASSNAHMEN

In einer sektorengekoppelten Welt, in der die Bedeutung von Strom für die Dekarbonisierung der Gesamtwirtschaft stetig zunimmt, werden CO_2-Emissionen zum Leitindikator. Ebenso wie sein Vorgänger sieht das novellierte Klimaschutzgesetz von 2021 jährliche CO_2-Minderungsziele pro Sektor vor und definiert zulässige Emissionsmengen für die Energiewirtschaft. Diese Verlagerung in der Zielarchitektur der Energiewende bedeutet konkret, dass neben dem Ausbau der erneuerbaren Energien und der Erhöhung der Energieeffizienz auch Infrastrukturmaßnahmen wie der Netzausbau zukünftig wesentlich stärker daran zu messen sind, welchen mittelbaren Beitrag sie zur Erreichung der Klimaschutzziele leisten.

Eine Debatte darüber, inwieweit eine intelligente, digitale Steuerung von Stromnetzen – sogenannte *Smart Grids* – den Netzausbau substituieren kann, geht jedoch am Ziel vorbei. Da die Notwendigkeit von Netzausbaumaßnahmen in einer sektorengekoppelten Welt zwangsläufig zunehmen wird (vgl. Kapitel 1), ist die relevante Frage die nach derjenigen Kombination von *Smart Grids* und Netzausbau, die den zielführendsten Effekt auf explizite CO_2-Minderungsziele hat. Zukünftige Lösungsansätze müssen deshalb in der Lage sein – ausgehend von diesen CO_2-Minderungszielen –, konkrete Maßnahmen und Entscheidungen abzuleiten. Auf den Beitrag, den eine agile Regulierung für die Entwicklung und entsprechende Testräume dieser Lösungsansätze leisten kann, wurde bereits in Kapitel 4 verwiesen.

Ein konkreter Startpunkt für entsprechende Lösungen ist ein Ende-zu-Ende-digitalisiertes CO_2-Monitoring. Dieses kann auch den Grundstein für eine entsprechende Bewertung von Maßnahmen und Projekten im Energiesektor legen. So könnte und sollte eine umfassende Ende-zu-Ende-Digitalisierung von Prozessen beispielsweise die CO_2-Auswirkungen des Netzausbaus auf andere Sektoren vor dem Hintergrund der Elektrifizierung bzw. der Sektorenkopplung realitätsnah modellieren und transparent darstellen. Durch eine auf diese Weise ermöglichte Simulation der in den Netzentwicklungsplänen festgelegten, dringend notwendigen Netzausbaumaßnahmen einschließlich deren Auswirkungen auf das gesamte Energieversorgungsnetz besteht die Möglichkeit, entsprechende Effekte auf die CO_2-Bilanz transparent und gezielt zu steuern. Digitale Anwendungen können den jeweils erreichten Fortschritt des Netzausbaus registrieren, visualisieren und eine entsprechende Dokumentation in Form eines CO_2-Monitorings zur Kontrolle der Zielerreichung unterstützen. Für die dafür transparente, allen Stakeholdern zugängliche Datenhaltung und -verarbeitung versprechen Lösungen einen erheblichen Mehrwert (vgl. Kapitel 3), in die digitale Personen- und Maschinennachweise bzw. digitale Herkunfts- und Verwendungsnachweise mit orts- und zeitbezogenen Informationen eingebettet sind.

Das Ausweisen von CO_2-Risiken und die Aufnahme von Energiekennzahlen in die Geschäftsberichte prägen bereits heute das Nachhaltigkeitsreporting einer wachsenden Zahl von Unternehmen. CO_2-Äquivalente und damit das individuelle CO_2-Budget werden daher mittel- bis langfristig unmittelbar auf das betriebswirtschaftliche Kalkül der Unternehmen einwirken. Damit gewinnt die Verantwortung für die Umsetzung der Dekarbonisierung bei den handelnden Akteuren der Energiewirtschaft an Bedeutung, sodass marktliche Steuerungsmechanismen gestärkt werden. Die exemplarisch aufgezeigten digitalen Lösungsansätze bieten vor dem Hintergrund der Dringlichkeit klimapolitischer Maßnahmen effiziente und effektive Möglichkeiten, den notwendigen Netzausbau auf den Leitindikator der CO_2-Senkung zu fokussieren und transparent zu steuern. Dieses Papier legt mit seinen Thesen zur Dekarbonisierung durch Digitalisierung einen weiteren Baustein zur Gestaltung einer zielgerichteten und nachhaltigen Transformation der Energiewirtschaft.

[13] Vgl. BMWi 2021a.

[14] Ein Stromnetz kann als intelligent beschrieben werden, wenn ein Informationsaustausch zwischen Stromerzeugung, Verbrauch und Speicherung mit dem Ziel der dynamischen Steuerbarkeit erfolgt.

ÜBER DIE AUTOR*INNEN

Prof. Dr. Jens Strüker ist Professor für Wirtschaftsinformatik und Digitales Energiemanagement an der Universität Bayreuth sowie einer der Leiter des Fraunhofer Blockchain-Labors. Außerdem ist er in leitender Position in der Projektgruppe Wirtschaftsinformatik des Fraunhofer FIT tätig. In Forschung, Lehre und Praxis untersucht Prof. Strüker das Potenzial digitaler Technologien für die (Energie-)Wirtschaft. Dabei befasst er sich mit der Frage, welche Freiheitsgrade Informationstechnologien für eine Echtzeitenergiewirtschaft und für einen effektiven Klimaschutz bieten.

Dr. Martin Weibelzahl ist Fachbereichsleiter am Kernkompetenzzentrum Finanz- & Informationsmanagement und in der Projektgruppe Wirtschaftsinformatik des Fraunhofer FIT. Der Fokus seiner Forschung liegt auf den Bereichen der digitalen Energie und Mobilität. Hier geht er z. B. der Frage nach, wie unsere Wirtschaft und Gesellschaft mittels verschiedener digitaler Technologien auf nachhaltige, sichere und bezahlbare Weise dekarbonisiert werden können und welche Rolle das zukünftige Strommarktdesign in diesem Kontext spielt.

Marc-Fabian Körner ist wissenschaftlicher Mitarbeiter und Doktorand an der Universität Bayreuth und in der Projektgruppe Wirtschaftsinformatik des Fraunhofer FIT. Im Rahmen seiner Forschung beschäftigt er sich unter anderem mit der digitalen Transformation der Energiewirtschaft. Hierbei legt er seinen Fokus vor allem auf Fragestellungen rund um die Nachweisbarkeit von CO_2-Emissionen und das Potenzial digitaler Technologien für eine zielgerichtete Sektorenkopplung.

ÜBER DIE AUTOR*INNEN

Axel Kießling ist seit Juli 2020 Head of Strategy & Partnerships – Digital and Flexibility Development bei der TenneT TSO GmbH. Er und sein Team sind unter anderem für das Portfoliomanagement aller TenneT-Flexibilitätsprojekte verantwortlich. Die Entwicklung neuer Flexibilitätsoptionen auf Basis dezentraler Erzeuger*innen und Verbraucher*innen sowie die Suche nach dem Einsatz neuer Technologien wie der Blockchain-Technologie stehen dabei ganz oben auf seiner Agenda.

Ariette Franke-Sluijk arbeitet in der Abteilung Strategy & Partnerships im Team Digital and Flexibility Development bei der TenneT TSO BV. Dort ist sie verantwortlich für das digitale Portfolio. Ihr Fokus liegt auf den Digitalisierungsentwicklungen und der Rolle von TenneT im Datenraum. Darüber hinaus fördert sie Kooperationen/Partnerschaften mit externen Parteien. Sie besitzt Kenntnisse in nationaler und europäischer Regulierung und hat einen Masterabschluss in internationalem und europäischem Recht von der Universität Utrecht in den Niederlanden.

Mike Hermann ist Diplom-Ingenieur für Energietechnik und als Senior Advisor European Regulation bei der TenneT TSO GmbH tätig. Er arbeitet in diesem Unternehmen bereits seit über zehn Jahren im Regulierungsmanagement und konzentriert sich dabei auf die europäische Energiepolitik. Zuvor hatte er verschiedene Positionen in der deutschen Verbändelandschaft der Energiebranche (DVG, VDN, BDEW) inne und war bei einem ÜNB in der Netzentwicklung tätig. Mike Hermann verfügt über ein großes Kontaktenetzwerk und umfangreiche Expertise zu ÜNB-spezifischen technischen und netzwirtschaftlichen Themen.

IMPRESSUM

Herausgeber*innen:
Universität Bayreuth
Universitätsstraße 30
95447 Bayreuth

Fraunhofer-Institut für Angewandte Informationstechnik FIT
Projektgruppe Wirtschaftsinformatik
Wittelsbacherring 10
95444 Bayreuth

TenneT TSO GmbH
Bernecker Straße 70
95448 Bayreuth

Autor*innen:
Universität Bayreuth, Projektgruppe Wirtschaftsinformatik des Fraunhofer-Instituts
für Angewandte Informationstechnik FIT, TenneT TSO GmbH

Stand:
Mai 2021

Copyright:
Universität Bayreuth
Projektgruppe Wirtschaftsinformatik des Fraunhofer-Instituts
für Angewandte Informationstechnik FIT
TenneT TSO GmbH

Empfohlene Zitierweise:
Strüker J., Weibelzahl M., Körner M.-F., Kießling A., Franke-Sluijk A., Hermann, M. (2021):
Dekarbonisierung durch Digitalisierung – Thesen zur Transformation der Energiewirtschaft.
Hg. v. Universität Bayreuth, Projektgruppe Wirtschaftsinformatik des Fraunhofer-Instituts
für Angewandte Informationstechnik FIT und TenneT. Bayreuth. Online verfügbar unter
https://doi.org/10.15495/EPub_UBT_00005596.

LITERATUR- UND QUELLENVERZEICHNIS

Agora (2020): Klimaneutrales Deutschland. Zusammenfassung im Auftrag von Agora Energiewende. Hg. v. Agora Verkehrswende und Stiftung Klimaneutralität. Prognos; Öko-Institut; Wuppertal Institut. Berlin. Online verfügbar unter https://static.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2020/2020_10_KNDE/A-EW_192_KNDE_Zusammenfassung_DE_WEB.pdf, zuletzt geprüft am 05.05.2021.

Agora; Wuppertal Institut (2019): Klimaneutrale Industrie: Schlüsseltechnologien und Politikoptionen für Stahl, Chemie und Zement. Hg. v. Agora Energiewende und Wuppertal Institut. Berlin. Online verfügbar unter https://static.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2018/Dekarbonisierung_Industrie/164_A-EW_Klimaneutrale-Industrie_Studie_WEB.pdf, zuletzt geprüft am 16.05.2021.

BDI (2018): Klimapfade für Deutschland. Unter Mitarbeit von Philipp Gerbert, Patrick Herhold, Jens Burchardt, Stefan Schönberger, Florian Rechenmacher, Almut Kirchner et al. Hg. v. Bundesverband der Deutschen Industrie. BCG; Prognos. Online verfügbar unter https://bdi.eu/publikation/news/klimapfade-fuer-deutschland/, zuletzt geprüft am 05.05.2021.

BEE (2021): Das „BEE-Szenario 2030". 65 Prozent Treibhausgasminderung bis 2030 – Ein Szenario des Bundesverbands Erneuerbare Energie (BEE). Unter Mitarbeit von Björn Pieprzyk und Matthias Stark. Hg. v. Bundesverband Erneuerbare Energie e.V. (BEE). Online verfügbar unter https://www.bee-ev.de/fileadmin/Publikationen/Positionspapiere_Stellungnahmen/BEE/20210416_BEE-Szenario_2030_final.pdf, zuletzt geprüft am 05.05.2021.

BMWi (2021a): Eine Zielarchitektur für die Energiewende: Von politischen Zielen bis zu Einzelmaßnahmen. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. Online verfügbar unter https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Artikel/Energie/zielarchitektur.html, zuletzt geprüft am 18.06.2021.

BMWi (2021b): Reallabore – Testräume für Innovation und Regulierung. Bundesminsterium für Wirtschaft und Energie. Online verfügbar unter https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Dossier/reallabore-testraeume-fuer-innovation-und-regulierung.html, zuletzt geprüft am 16.05.2021.

dena (2018): dena-Leitstudie: Integrierte Energiewende – Impulse für die Gestaltung des Energiesystems bis 2050. Unter Mitarbeit von Thomas Bründlinger, Julian Elizalde König, Oliver Frank, Dietmar Gründig, Christoph Jugel, Patrizia Kraft et al. Hg. v. Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena). Online verfügbar unter https://www.dena.de/fileadmin/dena/Dokumente/Pdf/9261_dena-Leitstudie_Integrierte_Energiewende_lang.pdf, zuletzt geprüft am 05.05.2021.

Equigy (2021): Equigy harnesses the power of small and diverse consumer-based devices. Online verfügbar unter https://equigy.com, zuletzt geprüft am 18.06.2021.

Fraunhofer (2021): Fraunhofer klimaneutral 2030. Entwicklung, Anwendung und Demonstration ganzheitlicher Lösungen für klimafreundliche Organisationen und Liegenschaften – Fraunhofer als Vorbild für Verwaltung und Wissenschaft. Hg. v. Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V. Online verfügbar unter https://www.fraunhofer.de/content/dam/zv/de/ueber-fraunhofer/wissenschaftspolitik/Positionen/politikpapiere-btw21/Politik-Papier_Klimaneutral%202030%20WEB.pdf, zuletzt geprüft am 05.05.2021.

Rat der Europäischen Union (2020): Schlussfolgerungen des Rates zu Reallaboren und Experimentierklauseln als Instrumente für einen innovationsfreundlichen, zukunftssicheren und resilienten Rechtsrahmen zur Bewältigung disruptiver Herausforderungen im digitalen Zeitalter. Hg. v. Europäische Union. Online verfügbar unter https://data.consilium.europa.eu/doc/document/ST-13026-2020-INIT/de/pdf, zuletzt geprüft am 16.05.2021.

Strüker J., Urbach N., Guggenberger T., Lautenschlager J., Ruhland N., Schlatt V., Sedlmeir J., Stoetzer J.-C. (2021) Self-Sovereign Identity – Grundlagen, Anwendungen und Potenziale. Projektgruppe Wirtschaftsinformatik des Fraunhofer-Instituts für Angewandte Informationstechnik FIT. Sankt Augustin.

TenneT (2020): Integrated Annual Report 2019. Hg. v. TenneT Holding B.V. Online verfügbar unter https://www.tennet.eu/fileadmin/user_upload/Company/Profile/2019_pictures/TenneT-Integrated-Annual-Report-2019.pdf, zuletzt geprüft am 12.05.2021.

Universität Bayreuth (2021): Universität Bayreuth verabschiedet als eine der ersten Universitäten in Bayern verbindliche Nachhaltigkeitsstrategie. Hg. v. Universität Bayreuth. Online verfügbar unter https://www.uni-bayreuth.de/de/universitaet/presse/pressemitteilungen/2021/014-nachhaltigkeitsstrategie-der-universitaet-bayreuth/index.html, zuletzt geprüft am 05.05.2021.