

Blockchain, quo vadis? Eine quantitative Analyse des Entwicklungsstandes der Blockchain in der Energiewirtschaft anhand von Literatur- und Patentdaten

Themenbereich 4: Aktive Endkunden-/Prosumerpartizipation

Pascal Häbig⁽¹⁾, Maximilian Schulz¹⁽¹⁾, Michael Günkel¹⁽¹⁾ und Kai Hufendiek⁽¹⁾

(1) IER Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung der Universität Stuttgart, Heßbrühlstraße 49a, 70565 Stuttgart, Deutschland
+49 (0) 711 685 60901; pascal.haebig@ier.uni-stuttgart.de,
www.ier.uni-stuttgart.de

Kurzfassung: Die anhaltende Covid-19-Pandemie bestimmt das Geschehen der Weltwirtschaft. In Deutschland wird beispielsweise für das Jahr 2020 von einem Rückgang des preisbereinigten Bruttoinlandsprodukts von 5 % ausgegangen. Gleichzeitig ergeben sich aus den Herausforderungen, die derartige Krisen mit sich bringen, oftmals Anknüpfungspunkte für Innovationen. Die Blockchain-Technologie etwa stellt eine solche Innovation dar, deren Anfänge auf die Zeit der globalen Finanzkrise zurückgehen. Das im Rahmen der Finanzkrise verspielte systemische Vertrauen lieferte den Impuls für das Momentum der BCT, die auf einem fälschungssicheren Konsensalgorithmus aufbaut. Im energiewirtschaftlichen Kontext stieg das Interesse an der Blockchain-Technologie im Zusammenhang mit dem Projekt „Brooklyn Microgrid“ im Jahr 2016 sprunghaft an und mündete in einem „Hype“.

Seit der ersten Erwähnung im energiewirtschaftlichen Kontext ist mehr als ein halbes Jahrzehnt vergangen. In der Folge stellt sich daher die Frage: Blockchain, quo vadis? Der vorliegende Beitrag widmet sich dieser Fragestellung und liefert zwei Forschungsbeiträge. Der erste Forschungsbeitrag beinhaltet eine systematische Literatur- sowie Patentrecherche. Mit dem Ergebnis der bibliografischen Analyse der erhobenen Daten können die bisherigen Forschungsaktivitäten abgeschätzt und die Blockchain-Technologie in den Gartner Hype Cycle eingeordnet werden. Für den zweiten Forschungsbeitrag wird eine weitere bibliografische Analyse der Stichprobe im Hinblick auf acht Anwendungsbereiche der Blockchain-Technologie in der Energiewirtschaft durchgeführt und erlaubt einerseits bisherige Forschungsschwerpunkte zu identifizieren und andererseits bisher nicht adressierte Forschungsbereiche aufzudecken.

Die Auswertung der Literatur- und Patentdaten zeigt, dass die ersten Ergebnisse der Blockchain-Forschung und -Entwicklung seit dem Jahr 2017 veröffentlicht werden und die Anzahl der Publikationen seither kontinuierlich ansteigt. Die Einordnung der Blockchain-Technologie in den Gartner Hype Cycle zwischen dem Gipfel der überzogenen Erwartung und dem Tal der Enttäuschung deckt sich mit bisherigen Veröffentlichungen des Forschungs- und Beratungsunternehmens *Gartner*. Nach einzelnen Anwendungsbereichen differenziert, zeigt sich, dass drei zentrale Forschungsschwerpunkte „P2P-Märkte & -Handel“; „Asset- & Netzmanagement“ sowie „Datenmanagement“ sind. Die Forschungsaktivitäten des Anwendungsbereichs „P2P-Märkte und -Handel“ erscheinen vergleichsweise weit fortgeschritten und lassen auf Grund der Vielzahl an Pilotprojekten auf einen hohen Anwendungsbezug der Forschungsaktivitäten schließen.

¹ Jungautor

Zusammenfassend kommt der vorliegende Beitrag zur Einschätzung, dass es sich bei der Blockchain-Technologie immer noch um eine vergleichsweise junge Informations- und Kommunikationstechnologie mit einem vielversprechenden langfristigen Entwicklungspotential handelt. Die Technologie befindet sich weiterhin in einem frühen Entwicklungsstadium bzw. in einer experimentellen Phase. Es existiert zwar Pilotprojekte, welche jedoch noch keine großskaligen oder marktreifen Anwendungen anstoßen konnten, die kommerziell von Unternehmen betrieben werden. Ein disruptiver Wandel der Energiewirtschaft durch die Blockchain-Technologien ist aktuell nicht absehbar.

Keywords: Blockchain, Gartner Hype Cycle, Literatur- und Patentdaten, Bibliometrische Analysen

1 Innovationen in globalen Krisen

Globale Krisen wie die Finanzkrise im Jahr 2008 oder die gegenwärtige Covid-19-Pandemie weisen weitreichende gesamtwirtschaftliche Folgen auf (McKibbin und Fernando 2020; Rio-Chanona et al. 2020). Derzeit befindet sich sowohl die weltweite als auch die deutsche Wirtschaft in einer solchen Krise, für das Jahr 2020 wird beispielsweise von einem Rückgang des preisbereinigten deutschen Bruttoinlandsprodukts von 5 % ausgegangen (DESTATIS 2021). Gleichzeitig birgt die Phase einer (temporären) wirtschaftlichen Rezession aber auch die Möglichkeiten, als Triebkraft für Innovation und neue Geschäftsmodelle zu wirken (Kraus et al. 2020, S. 1083f.). Im Rahmen einer Umfrage in der Post-Finanzkrisenzeit zeigen *Archibugi et al.*, dass nach globalen Krisenereignissen kleine und neue Unternehmen in Innovationen investieren (Archibugi et al. 2013). Hinsichtlich des detaillierten Verständnisses für den Innovationsbegriff herrscht allerdings sowohl in der wissenschaftlichen Literatur als auch in der Praxis Uneinigkeit (Herzog 2011). Gemein haben jedoch alle, dass es sich um eine Neuheit oder um eine Erfindung handeln muss (Schumpeter 1939, S. 88; OECD 2005, S. 46; Sundbo 2015, S. 169). Weiter ist sich die Innovationsforschung uneins darüber, zu welchem Zeitpunkt Innovationen auftreten. Es existieren Hypothesen, dass die Wahrscheinlichkeit einer Innovation mit einer Wirtschaftskrise steigt, andere Autoren gehen davon aus, dass eine Innovation durch eine steigende Nachfrage oder die Aussichten auf eine wirtschaftliche Erholung wahrscheinlicher machen (Berchicci et al. 2014; Brouwer und Kleinknecht 1999; Freeman und Perez 1988). *Taalbi* systematisiert die Anreize für Innovationen in vier Typen: Institutionalisierte Suche nach Innovationen, technologische Neuentwicklungen, Marktgelegenheiten sowie ökonomische, ökologische, sozioökonomische oder organisatorischer Probleme (Taalbi 2017).

Der Zusammenbruch der Investmentbank Lehmann Brothers im September 2008 hatte enorme Auswirkungen auf die Finanzmärkte und die Weltwirtschaft, denn dieser untergrub nicht nur das Vertrauen in die Stabilität des globalen Finanzsystems, sondern auch das Vertrauen der Bürger in Institutionen (Roth 2009). Es erscheint daher wenig überraschend, dass die BCT als fälschungssichere Technologie, welche die Notwendigkeit von Vertrauen hierdurch vollständig und jederzeit sicherstellt, im Rahmen der Wiederherstellung des Vertrauens in dieser Zeit seine Geburtsstunde erlebte. Auch 13 Jahre nach dem Ausbruch der Krise hat die BCT nicht an Bedeutung verloren, stattdessen sogar eher wieder ,gemessen am Kursverlauf der Kryptowährung Bitcoin, im vergangenen Jahr wieder an Aufschwung erhalten (Coinbase Germany GmbH 2021).

Im energiewirtschaftlichen Kontext stieg die Bekanntheit und das Interesse an der BCT im Zusammenhang mit dem Projekt „Brooklyn Microgrid“ im Jahr 2016 sprunghaft an und mündete in einem regelrechten „Hype“ um die unterschiedlichen Anwendungsformen und -bereiche der Technologie (Brooklyn Microgrid 2021). Einer der mit der Technologie verbundenen Vorteile ergibt sich aus deren dezentralem Charakter. Hieraus erwächst die Hoffnung einer breitflächigen und großskaligen Anwendbarkeit der Technologie in der Energiewirtschaft, die ebenfalls einen Entwicklungstrend hin zur Dezentralisierung verzeichnet. Trotz erster Pilotprojekte (z. B. pebbles 2021) und ersten Geschäftsmodellen (z. B. Tal.Markt der Wuppertaler Stadtwerke der WSW (2021)) verzeichnet die BCT noch nicht den erhofften Durchbruch in der Energiewirtschaft und bleibt scheinbar hinter den Erwartungen zurück, die an die BCT gestellt werden. Die wissenschaftliche Literatur führt dies auf mehrere Ursachen zurück (z. B. Akzeptanz, Interoperabilität, Skalierbarkeit, Transaktionsdurchsatz). Als Hauptgrund wird jedoch der regulatorische Rahmen genannt, bspw. die Datenschutzgrundverordnung, aber auch anwendungsfallspezifisch energiewirtschaftliche Gesetzgebung, z. B. das Energiewirtschaftsgesetz (Zeiselmaier und Bogensperger 2018; Reetz 2019; Corusa et al. 2020).

Seit der ersten Erwähnung der BCT im energiewirtschaftlichen Zusammenhang ist fast ein halbes Jahrzehnt vergangen. Es drängt in der Folge die Frage auf: „Blockchain, quo vadis?“. Der vorliegende Beitrag fokussiert diese Fragestellung, welchen Entwicklungsstand die BCT generell als Technologie sowie mit Fokus in der Energiewirtschaft aktuell aufweist. Um diesen zu bestimmen, liefert dieser Artikel zwei zentrale Forschungsbeiträge: Zunächst wird eine systematische Literatur- sowie Patentrecherche durchgeführt und mittels eines bibliografischen Analyseansatz ausgewertet, um die vergangenen Forschungsaktivitäten auf Basis der erhobenen Stichprobe abzuschätzen. Diese Quantifizierung erlaubt in der Folge eine Einordnung der Technologie anhand des Gartner Hype Cycle (Zielsetzung 1). Die erhobenen Daten werden in einem anschließenden Analyseschritt hinsichtlich der Anwendungsbereiche der BCT untersucht, um damit die Forschungsschwerpunkte im energiewirtschaftlichen Kontext der vergangenen Jahre identifiziert werden (Zielsetzung 2).

Der vorliegende Beitrag ist hierzu in fünf Abschnitte aufgeteilt: In Abschnitt 2 werden zunächst die zentralen Grundlagen des Beitrags vorgestellt, welche sich in eine kurze Vorstellung der BCT im Allgemeinen sowie in der Energiewirtschaft und das Konzept des Gartner Hype Cycle aufteilt. Anschließend wird in Abschnitt 3 die Untersuchungsmethodik des vorliegenden Beitrags vorgestellt und ausführlich beschrieben. Die Ergebnisse der Auswertung der erhobenen Daten werden in Abschnitt 4 präsentiert und diskutiert. In Abschnitt 5 werden die zentralen Punkte des Beitrags zusammengefasst, die Limitierungen aufgezeigt und ein Ausblick auf daran anknüpfende Fragestellungen gegeben.

2 Theoretische Grundlagen

2.1 Die Blockchain-Technologie (BCT) in der Energiewirtschaft

Die BCT vereint die drei bereits existenten technologischen Ansätze der Kryptografie, des Konsensmechanismus sowie dezentraler Netzwerke und folgt in ihrer Funktionsweise einem festen Ablaufmuster (Meinel et al. 2018, S. 7). Die Hauptbestandteile einer Blockchain sind dabei Transaktionen, Blöcke, eine Hauptkette sowie ein Konsensmechanismus (Bogensperger et al. 2018, S. 28). Als kleinster Baustein gilt eine Transaktion, die die Übergabe eines Wertes zwischen

zwei dezentralen Netzwerkteilnehmern (Peers) dokumentiert (Di Pierro 2017, S. 93). Um die Korrektheit zu überprüfen, waren für solche Transaktionen bisher immer eine zentrale, überprüfende Vertrauensinstanz notwendig (Yli-Huumo et al. 2016). Ein sogenannter Intermediär wird durch den Konsensmechanismus der BCT obsolet (Boudguiga et al. 2017). Alle Transaktionen eines Netzwerkes werden in festgelegten zeitlichen Abständen zu Blöcken aneinander „gekettet“ und bilden so die Blockchain (Fill und Härer 2018).

Als Konsensmechanismus wird ein unabhängiges Instrument bezeichnet, welches ein Übereinkommen zur Korrektheit in einem dezentralen Netzwerk erbringt und verhindert, dass die gleiche Transaktionseinheit mehrfach verwendet wird, sogenanntes Double-Spending (Mingxiao et al. 2017, S. 2567). Neben den sogenannten Proof-of-Work und Proof-of-Stake haben sich eine Vielzahl unterschiedlicher Konsensmechanismen entwickelt (Bogensperger et al. 2018, S. 34 ff.). Alle erstellten Blöcke müssen durch die Knotenpunkte des Blockchain-Netzwerkes (Nodes) verifiziert werden, d. h. auf deren Korrektheit geprüft und anschließend mit einem Zeitstempel versehen an die bestehende Kette aus Datenblöcken angehängt werden (Di Pierro 2017, S. 93 f.; Fill et al. 2020, S. 11). Auf eine detaillierte technische Beschreibung bspw. der Funktionsweise der Konsensmechanismen oder der unterschiedlichen Architekturen einer Blockchain wird an dieser Stelle bewusst verzichtet und auf weiterführende Literatur verwiesen (z. B. Strüker et al. 2017; Bogensperger et al. 2018; Fill und Meier 2020; Zhang et al. 2020).

Der innovative Charakter der BCT liegt also nicht in den einzelnen Bestandteilen, sondern vielmehr in der Kombination bestehender Technologien und die dadurch ermöglichte Funktionalität der Informations- und Kommunikationstechnologie. Die Innovation der BCT ist die Durchführung von Transaktionen ohne zentralen Intermediär. Diese Eigenschaft wird als vielversprechender Ansatzpunkt für einen unabhängigen Einsatz in Verbindung mit geringen Transaktionskosten als Informations- und Kommunikationstechnologie ausgemacht. Hierdurch ergeben sich insbesondere in der Energiewirtschaft interessante Anwendungsbereiche, da diese aktuell neben der Dekarbonisierung insbesondere durch die Trends der Digitalisierung sowie Dezentralisierung geprägt ist. Darüber hinaus verspricht die BCT Anonymität, Datensouveränität, Prozessautomatisierung, Sicherheit sowie Transparenz. (Basden und Cottrell 2017; Janssens et al. 2017) Mit Blick auf entsprechende Anwendungsbereiche in der Energiewirtschaft sowie Energieversorgung sind dazu bereits mehrere konkrete Einsatzgebiete ausgemacht worden: *Bogensperger et al.* befragten 161 Experten und identifizierten so insgesamt 91 potenzielle Anwendungsfälle in der Energiewirtschaft (Bogensperger et al. 2018, S. 82 ff.). Sie folgern, dass bereits zwei Drittel der 76 detailliert betrachteten Anwendungsbereichen schon mit einem BCT-Ansatz (an Stelle einer herkömmlichen Lösung) umgesetzt werden könnten.

Andoni et al. analysierten weltweit 140 Projekte in der Energiewirtschaft und schlagen für die BCT zehn unterschiedliche Anwendungsbereiche vor: „Billing“, „Sales and marketing“, „Trading and markets“, „Automation“, „Smart grid applications and data transfer“, „Grid management“, „Security and identity management“, „Sharing of resources“, „Competition“ sowie „Transparency“. Für die einzelnen Anwendungsbereiche werden anschließend jeweils konkrete Möglichkeiten zur Implementierung aufgezeigt (Andoni et al. 2019). Dem Einsatz von entsprechenden BCT-Anwendungen in der Energiewirtschaft stünden dabei jedoch noch erhebliche rechtliche Restriktionen im Wege.

Corusa et al. identifizierten im Rahmen einer weltweiten Marktanalyse von 132 Projekten den Peer2Peer-Stromhandel (P2P) als häufigsten Anwendungsfall, gefolgt vom Bereich Anlagenmanagement, Netze und Metering sowie dem Bereich der Zertifizierung. Gleichzeitig identifizieren die Autoren den Energieverbrauch der aktuellen BCT-Ansätze als Herausforderung, welche weiter erforscht werden sollte. (Corusa et al. 2020)

Es bleibt festzuhalten, dass für die BCT eine Vielzahl an Anwendungsbereichen ausgemacht worden sind, welche teilweise im Rahmen von Pilotprojekten untersucht sowie erforscht werden. Bisher konnte keines der Pilotprojekte einen bahnbrechenden Erfolg erzielen. Die oben erwähnten, aber auch andere themenbezogenen Untersuchungen, reichen mitunter bereits fünf Jahre zurück, welches mit Blick auf die junge Geschichte der BCT einer Konsolidierung bedarf.

An diesem Punkt setzt der vorliegende Beitrag an, welcher den Entwicklungsstand der BCT bewerten und bisherige Forschungsschwerpunkte systematisch identifizieren soll. Hinsichtlich der Kategorisierung existieren bei den oben vorgestellten Arbeiten inhaltliche Schnittmengen, welche als Ausgangsbasis für den vorliegenden Beitrag dienen. Als Synthese dieser Arbeiten und auf Basis der vorangegangenen Literaturrecherche werden folgende acht Anwendungsbereiche definiert: „Asset- & Netzmanagement“, „Datenmanagement“, „Elektromobilität“, „Finanzierung & Kryptowährung“, „Label & Zertifizierung“, „Metaanalysen“, „P2P-Märkte & -Handel“ und „Wärmeversorgung“.

2.2 Das Konzept des Gartner Hype Cycle

Bevor diese Untersuchung vertieft vorgestellt wird, soll nachfolgend zunächst auf das Konzept des Gartner Hype Cycle zur Einschätzung des Entwicklungsstands von Technologien eingegangen werden. Zur Gewinnung technologierelevanter Informationen und zur Bestimmung des Entwicklungsstandes neuartiger Technologien werden in der wissenschaftlichen Literatur unterschiedliche Methoden aufgeführt. Dazu zählen einerseits qualitative Methoden wie leitfragengestützte Experteninterviews oder Delphi-Befragungen. Andererseits werden quantitative Methoden wie die Analyse von Metadaten aus patentrechtlichen oder wissenschaftlichen Publikationen eingesetzt, um zukünftige Forschungsfelder oder technologische Trends zu identifizieren. Zur Visualisierung der Ergebnisse werden häufig drei Ansätze genutzt: S-Kurven-Konzept, Technologielebenszyklus-Modell oder der Gartner Hype Cycle. (Ford und Ryan 1981; Foster 1982; Sommerlatte und Deschamps 1985; Blosch und Fenn 2018)

Das Konzept des Gartner Hype Cycle, welches im Jahr 1995 vom Forschungs- und Beratungsunternehmen Gartner vorgestellt worden ist, gilt unter Praktikern als etabliertes Instrument zur Identifikation branchenübergreifender technologischer Trends und zur Einordnung des Entwicklungsstandes einer Technologie. Der Kurvenverlauf des Gartner Hype Cycle setzt sich aus der Kombination der Erwartung an eine Technologie (Erwartungskurve) sowie der Marktreife einer Technologie (Marktreifekurve) zusammen (Dedehayir und Steinert 2016). Der im zeitlichen Verlauf stark ansteigende und stark abfallende Kurvenverlauf der Erwartungskurve lässt sich durch Amara's Gesetz erklären, das davon ausgeht, dass Menschen dazu neigen, „to overestimate the effect of a technology in the short run and underestimate the effect in the long run“ (Amara 2016).

Die Marktreifekurve folgt dem Diffusionsmodell nach Rogers, welches die Ausbreitung einer Innovation beschreibt und dem charakteristischen Verlauf einer S-Kurve folgt (Rogers 1983, S. 95). Beide Kurvenverläufe übereinandergelegt ergeben den Gartner Hype Cycle. An dem Konzept ist zu kritisieren, dass aus den zahlreichen Veröffentlichungen zum Gartner Hype Cycle nicht

hervorgeht, wie die Einschätzung der untersuchten Technologien methodisch zu Stande kommt, aber da es ein in der Innovationsforschung bewährtes und umfassendes Modell darstellt, soll es im Folgenden dennoch zum Einsatz kommen (Prinsloo und van Deventer 2017; Chen und Han 2019; Kaivo-oja et al. 2020).

Nach *Gartner* gliedert sich der Kurvenverlauf in fünf Phasen (Blosch und Fenn 2018): Der technologische Auslöser (Technology Trigger) beginnt mit ersten Nachrichten über eine Technologie und markiert den Ausgangspunkt. Durch erste Erfolgsmeldungen wächst die Erwartungshaltung gegenüber der Technologie bis zum Gipfel der überzogenen Erwartungen (Peak of Inflated Expectations) an. Allerdings kann die Erwartungshaltung an die Technologie weder auf der Seite der Anbieter noch auf der Seite der Anwender erreicht werden und es folgt das Tal der Enttäuschung (Trough of Disillusionment). Durch Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten erweist sich die Technologie langfristig doch nutzenbringend und befindet sich auf dem Pfad der Erleuchtung (Slope of Enlightenment). Erst wenn die Technologie marktreife Anwendungen in Unternehmen findet, ist das Plateau der Produktivität (Plateau of Productivity) erreicht.

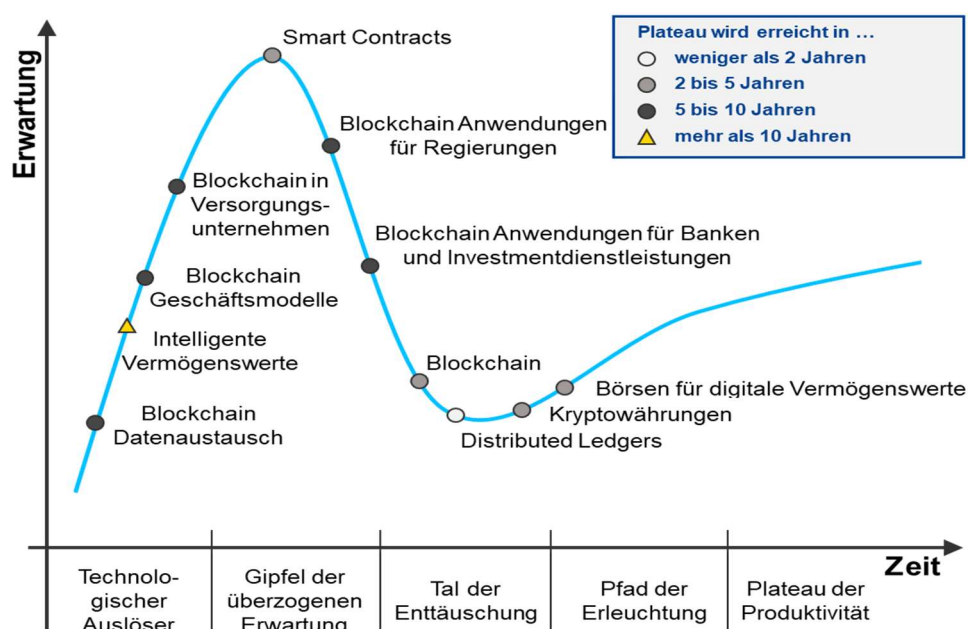


Abbildung 1: Einschätzung unterschiedlicher Anwendungen der Blockchain-Technologie im Gartner Hype Cycle (Stand 2019) in Anlehnung an Gartner Inc. (2019)

Auch die Entwicklung der BCT sowie deren Anwendungsreife ist von *Gartner Inc.* bereits mit dem Konzept des Gartner Hype Cycle eingeschätzt worden und in nachfolgender Abbildung 2 dargestellt. Die Abbildung zeigt den Stand aus dem Jahr 2019 und verdeutlicht, dass ein Großteil der jeweiligen Anwendungen sich im ersten Drittel des Gartner Hype Cycle vor dem Gipfel der überzogenen Erwartungen befinden. Die Einschätzung geht davon aus, dass keine der dargestellten Anwendungen bislang das Tal der Enttäuschung durchlaufen und eine Marktreife erreichen konnte. Zu den vielversprechendsten Anwendungen gehören Kryptowährungen (bspw. Bitcoin) sowie Anwendungen zum Austausch digitaler Vermögenswerte oder Vermögensgegenstände. Insgesamt verdeutlicht die Abbildung die Einschätzung, dass die BCT die ursprünglichen Erwartungen bisher nicht erfüllen und auch keine großskaligen marktreifen Anwendungen hervorbringen konnte. Im Rahmen des vorliegenden Beitrages wird diese Erkenntnis zur BCT als Ausgangsbasis definiert. Darauf aufbauend soll anhand von Daten von

Patenten sowie wissenschaftlicher Publikationen untersucht werden, inwiefern ein diese Einschätzung verifiziert oder falsifiziert werden kann.

3 Methodik

Der methodische Ansatz des vorliegenden Beitrages basiert zentral auf einer umfangreichen Daten- sowie Patentrecherche. Die so erhobenen Datensätze zu wissenschaftlichen Publikationen und internationalen Patentschriften werden bibliometrisch analysiert, um einerseits den aktuellen Stand der BCT im Gartner Hype Cycle verorten zu können (Abschnitt 4.1) sowie bisherige Forschungsschwerpunkt im Kontext der Energiewirtschaft zu identifizieren (Abschnitt 4.2). Der nachfolgende Abschnitt stellt die einzelnen Schritte der verwendeten Untersuchungsmethodik vor, die in Abbildung 3 als Flowchart-Diagramm dargestellt ist.

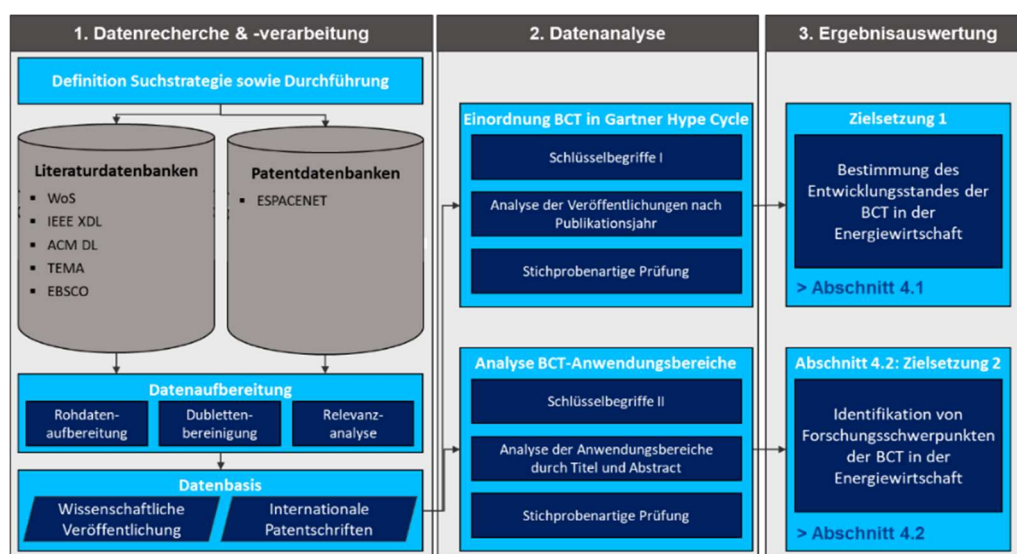


Abbildung 2: Schematische Darstellung der angewendeten Untersuchungsmethodik

Für die Datenrecherche und -verarbeitung (Schritt 1) wird in Anlehnung an vom Brocke et al. (2009) und Marshall und Brereton (2013) zunächst die in Tabelle 1 gezeigte Suchstrategie definiert und eine entsprechende Suchanfrage an fünf ausgewählte Literaturdatenbanken und die europäische Patentdatenbank gestellt (vom Brocke et al. 2009, S. 5 ff.; Marshall und Brereton 2013, S. 296 ff.). Hierdurch lassen sich zwei Datensätze generieren, die Informationen zu wissenschaftlichen Publikationen und internationale Patentdaten beinhalten sowie einen thematischen Bezug zur BCT besitzen. Der Datensatz mit wissenschaftlichen Publikationen umfasst die Datenfelder Titel, Abstract, Autorenschaft sowie Veröffentlichungsjahr. Die Patentdatensätze beinhalten die Datenfelder Titel, Patenzusammenfassung, Patentinhaber sowie Veröffentlichungs- und Prioritätszeitpunkt.

Zur Aufbereitung der erhobenen Datensätze werden die Datenstrukturen (Schritt 2) zunächst standardisiert, alle Groß- in Kleinbuchstaben umgewandelt und Sonderzeichen sowie Leerzeichen entfernt. Da mehrere Datenbanken angefragt worden sind, werden anschließend entsprechende Doppelungen identischer Einträge ausgeschlossen. Die Duplikate werden anhand des Titels sowie anhand des Abstracts identifiziert und entsprechende Datensätze entfernt. Über die vorab definierte Suchstrategie wird das technologische Themenfeld bereits eingegrenzt und die Datensätze enthalten mindestens eines der aufgeführten Schlagwörter.

Tabelle 1: Suchstrategie der Literaturrecherche in Anlehnung an vom Brocke et al. (2009), S. 5 ff. und Marshall und Brereton (2013), S. 296 ff.

Kategorie	Definition
Literaturdatenbanken	Web of Science Core Collection (WoS)
	IEEE Xplore Digital Library (IEEE XDL)
	Association for Computing Machinery Digital Library (ACM DL)
	TEMA Technology and Management (TEMA)
	EBSCO Academic Search Premier (EBSCO)
Patentdatenbanken	Europäische Patentdatenbank (ESPACENET)
Suchsprache:	Englisch
Schlagwörter:	„blockchain“ OR „distributed ledger“ OR „ethereum“
Datenfelder	Titel, Abstract, Autoren, Jahr der Publikation
Zeitraum:	2008 bis 2020
Dokumentenart:	Journal-Artikel, Artikel in Tagungsbänden

Allerdings zeigte sich nach der Untersuchung einer ersten Stichprobe, dass damit nicht automatisch die für die Untersuchung als relevant eingestuft Publikationen gefunden wurden. Neben dem technologischen Bezug ist für die Untersuchung der energiewirtschaftliche Bezug des Datensatzes relevant. Daher werden die in Tabelle 2 aufgelisteten Schlüsselbegriffe mit Bezug zur Technologie und zur Energiewirtschaft festgelegt (Schulz et al. 2020). Die präsentierte Auswahl der Schlüsselbegriffe fußt auf der vorangegangenen freien Literaturrecherche und wurde mit verschiedenen Experten kritisch diskutiert. Das gewählte Vorgehen zielt darauf, einen vertretbaren Kompromiss zwischen thematischer Relevanz der Daten und Verzerrungen durch fehlende Daten zu erreichen. Für die weiteren Analysen werden nur solche Datensätze verwendet, die im Titel oder Abstract einen der Schlüsselbegriffe aus Spalte 1.1 und einen der Schlüsselbegriffe aus Spalte 1.2 enthalten. Abschließend wird die so generierte Untersuchungsbasis wiederum stichprobenartig auf deren Relevanz geprüft.

Tabelle 2: Verwendete Schlüsselbegriffe I zur Sicherstellung des thematischen Bezugs

(1.1) Technologie	(1.2) Energiewirtschaft		
blockchain	-	energybusiness*	-
distributedledger	-	energyeconom*	powereconom*
ethereum	electricitygrid*	energygrid*	powergrid*
	electricityindustr*	energyindustr*	powerindustr*
	-	energymanag*	-
	electricitymarket*	energymarket*	powermarket*
	electricitysector*	energysector*	powersector*
	electricitytrad*	energytrad*	powertrad
	electricitytransact*	energytransact*	powertransact*

Für die erste Zielsetzung wird die aufbereitete Datenbasis mit dem Ziel analysiert, die Intensität der Forschungsaktivitäten der vergangenen Jahre zu quantifizieren. Eine gestiegene Anzahl an wissenschaftlichen Publikationen oder veröffentlichte Patentanmeldungen wird so als gestiegene Intensität der vorangegangenen Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten interpretiert. Dazu wird die Datenbasis nach dem Jahr der Veröffentlichung ausgewertet.

Dieser resultierende Kurvenverlauf dient hierbei als Grundlage, den Entwicklungsstand der BCT mit dem synthetischen Verlauf des Gartner Hype Cycle zu vergleichen. In einem darauf aufbauenden Analyseschritt wird jedem Datensatz ein Anwendungsbereich zugeordnet. Zur Kategorisierung werden die in Abschnitt 2.2 identifizierten Anwendungsbereiche der BCT in der Energiewirtschaft mit jeweils zehn bereichsspezifischen Schlüsselbegriffen angereichert, welche in Tabelle 3 und Tabelle 4 dargestellt sind.

Tabelle 3: Übersicht der Schlüsselbegriffe II der acht Anwendungsbereiche – Teil 1

(2.1) Asset- & Netzmanagement	(2.2) Datenmanagement	(2.3) Labeling & Zertifizierung	(2.4) Finanzierung & Kryptowährung
balanc*	algorithm*	biomass*	capital*
demandresponse*	authenti*	certificat*	costeff*
energymanagement*	consensus*	clean*	crowdsourc*
flexib*	data*	geo*	currenc*
grid*	information*	green*	financ*
load*	intelligen*	*otovolta*	invest*
operation*	internet*	renewabl*	mining*
smart*	priva*	solar*	pay*
suppl*	secur*	sustainabl*	profit*
virtual*	trust*	wind*	token*

Tabelle 4: Übersicht der Schlüsselbegriffe II der acht Anwendungsbereiche – Teil 2

(2.5) Metaanalysen	(2.6) P2P-Märkte & -Handel	(2.7) Elektromobilität	(2.8) Wärmeversorgung
applications*	auction*	automobil*	carbon*
businesscase*	communit*	car*	combustible*
businessmodel*	contract*	charging*	fuel*
casestud*	market*	g2v ¹	gas*
interview*	neighbor*	mobil*	heat*
overview*	p2p*	transport*	lignite*
review*	peertopeer*	truck*	oil*
stateofheart*	prosumer*	v2g ¹	p2g ²
survey*	trade*	v2v ¹	p2h ²
usecases*	trading*	vehic*	thermal*

¹ Die Abkürzungen haben folgende Bedeutungen: g2v = grid to vehicle, v2g = vehicle to grid und v2v für vehicle to vehicle.

² Die Abkürzungen haben folgende Bedeutungen: p2g = power to gas und p2h = power to heat.

Für die vorliegende Analyse werden die Schlüsselbegriffe auf deren Wortstamm reduziert, was in den Tabellen durch das Symbol * ausgedrückt wird. Die Sammlung der Schlüsselbegriffe fußt im Wesentlichen auf *Bogensperger et al. (2018)*, *Andoni et al. (2019)*, *Richard et al. (2019)* sowie *Corusa et al. (2020)* und ist mit Experten diskutiert bzw. punktuell ergänzt worden. Anschließend sind die Titel der Publikationen durch den Einsatz eines softwarebasierten Suchalgorithmus mit den Schlüsselwortlisten abgeglichen und ein Anwendungsbereich automatisch zugeordnet worden. Sollte es bei der automatisierten Auswertung der Datensätze zu uneindeutigen oder fehlenden softwarebasierten Zuordnungen kommen, bspw. wenn keiner der Schlüsselbegriffe im Titel ausgemacht worden ist, wurde eine manuelle Zuordnung

durchgeführt. Die Auswertung nach den acht Anwendungsbereichen wird nur für die wissenschaftlichen Veröffentlichungen vorgenommen. Im Gegensatz zu den Daten der wissenschaftlichen Literatur lassen die Metadaten der Patente kaum Aussagen zum Anwendungsbereich zu, daher werden diese nicht weiter untersucht.

4 Ergebnisse der bibliometrischen Analyse

Die zuvor beschriebene Methodik wird im Frühjahr 2021 für die Jahre 2008 bis 2020 durchgeführt. Die exportierte Stichprobe vom 21.03.2021 umfasst 22.276 Datensätze zu wissenschaftlichen Publikationen und 23.529 Datensätze zu internationalen Patentschriften (ACM 2021; EBSCO 2021; EPO 2021; IEEE 2021; TEMA 2021; WoS 2021). Durch die Aufbereitung der aus den Datenbanken extrahierten Datensätze reduziert sich der Stichprobenumfang auf 616 bzw. 279 Datensätze. Nachfolgend wird zunächst die BCT auf Basis der Anzahl der jährlichen Publikationen in den Gartner Hype Cycle eingeordnet (vgl. Abschnitt 4.1). Dann werden die Ergebnisse der Analyse der Forschungsschwerpunkte gezeigt (vgl. Abschnitt 4.2).

4.1 Einordnung der Blockchain-Technologie (BCT) in den Gartner Hype Cycle

Um den aktuellen Forschungsstand der Blockchain als Technologie im Allgemeinen sowie mit Fokus die Anwendung in der Energiewirtschaft zu erhalten, wird die Datenbasis für wissenschaftliche Publikationen sowie für Patentschriften, die als Ergebnis des Verarbeitungsschritt 1 zur Verfügung steht, hinsichtlich ihres Veröffentlichungsjahres untersucht. Im entsprechenden Datensatz sind folglich alle jährlichen Publikationen zur BCT ohne tiefere weitere Sicherstellung eines energiewirtschaftlichen Bezuges enthalten und lässt daher eine Aussage zur Blockchain im Allgemeinen zu. Die so entstehende Trendkurve soll für den Abgleich mit dem Verlauf eines idealen Gartner Hype Cycle genutzt werden.

Doch bevor in die Auswertung der Daten erfolgen kann, muss für das weitere Verständnis zunächst der Veröffentlichungsprozess von Patenten näher beschrieben werden. Ein Patent kann bei einem nationalen Institution, z. B. dem Deutschen Patent- und Markenamt, oder internationalen Organisationen, z. B. dem Europäischen Patentamt, angemeldet werden (DPMA 2021; EPO 2021). Sobald diese Anmeldung durchgeführt worden ist, wird dem Einreichenden ein zwölfmonatiges Prioritätsrecht gewährt, um die Erfindung durch weitere Schutzrechte (durch z. B. internationale Patentanmeldungen) zu schützen (Basler 2020, S. 61). Dieses Prioritätsrecht muss dabei im Gegensatz zu einer Patentpublikation nicht direkt veröffentlicht werden, welche damit direkt dem öffentlich zugänglichen Stand der Technik entspricht. In der weiteren Untersuchung unterscheiden wir entsprechend zwischen publizierten Patenten (Patente – Publ.) sowie Patenten mit Prioritätsrecht (Patente – Prio.).

Der ausgewerteten Verläufe der wissenschaftlichen Publikationen und Patente werden in der nachfolgenden Abbildung 4 dargestellt. Aus der Abbildung lässt sich entnehmen, dass es im Jahr 2020 erstmalig zu einer Stagnation bei der Anzahl der wissenschaftlichen Publikationen (violette Linie) sowie die Patente (hellblaue Linie) kam. Das absolute jährliche Niveau von etwa 4.500 Publikationen (4.532 (2019) / 4.464 (2020)) bzw. 8.750 Patenten (8.792 (2019) / 8.596 (2020)) bleibt ungefähr gleich. Der Verlauf an Publikationen sowie Patenten ähnelt in der untersuchten Stichprobe sehr.

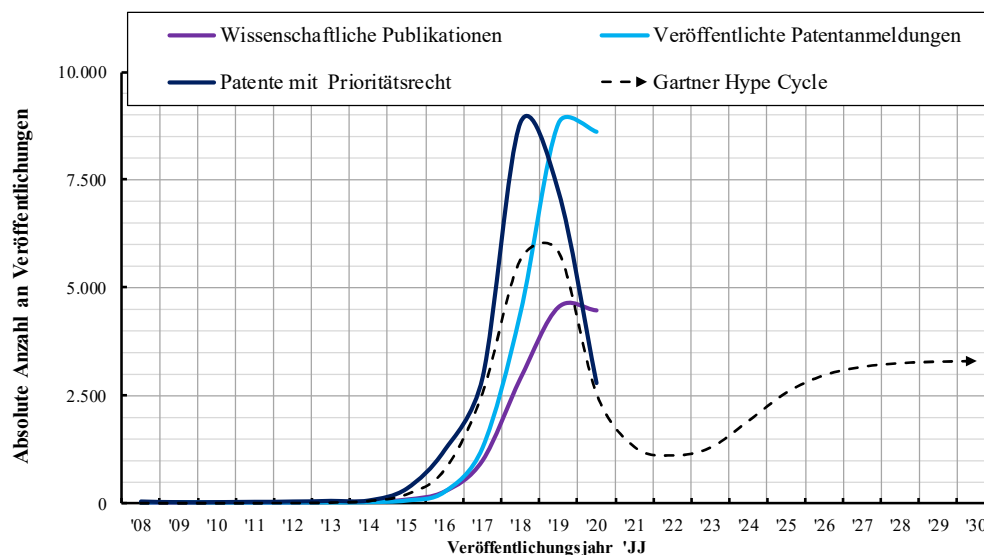


Abbildung 3: Verlauf der veröffentlichten Publikationen bezüglich der Blockchain-Technologie (BCT) als allgemeine Technologie sowie Patente von 2008 bis 2020 im Vergleich zu einem synthetischen Gartner Hype Cycle

Nach der ersten Erwähnung der BCT im Jahr 2008 gab es bis 2014 nur wenige Veröffentlichungen, da die Technologie noch keine tiefe Diffusion sowie Durchdringung erfahren hat. In den nachfolgenden Jahren bis einschließlich des Jahres 2019 kam es anschließend zu einem deutlichen Anstieg, welcher dabei ein annähernd exponentielles Wachstum aufweist. Hierbei fällt insbesondere auf, dass über die Jahre deutlich mehr Patente als wissenschaftliche Publikationen gezählt werden können. Bei genauerer Betrachtung der beiden Patentkurven wird ersichtlich, dass die Anzahl an Patenten mit Prioritätsrechten einen Vorlauf von etwa einem Jahr zu den veröffentlichten Patenten aufweist. Die zugrundeliegenden Patentanmeldungen werden demnach nicht direkt veröffentlicht, sondern erst nach Ablauf des zwölfmonatigen Prioritätsrechts. Im Jahr 2020 kommt es dann zu der beschriebenen ersten Stagnation.

Die Auswertung der untersuchten Stichprobe der Literatur- und Patentdaten zeigt, dass die ersten Ergebnisse der Blockchain-Forschung und -Entwicklung seit dem Jahr 2014 bzw. seit 2016 veröffentlicht worden sind und die Anzahl der Publikationen seither kontinuierlich angestiegen ist. Durch die Unterscheidung von Patenten mit Prioritätsrecht, welches für nominell zwölf Monate gilt, und veröffentlichten Patenten, ist es möglich, dass weitere Patente hinzukommen, die noch nicht im Datensatz enthalten sind. Dies führt zur Unterschätzung des Kurvenverlaufs der veröffentlichten Patente und muss bei der Einordnung der Ergebnisse berücksichtigt werden.

Mit Blick auf die beabsichtigte Einordnung in den Gartner Hype Cycle wird der Verlauf der Trendkurve so gewertet, dass die BCT (im Allgemeinen) im Jahr 2020 den Gipfel der überzogenen Erwartungen erreicht hat und sich auf dem Weg in das Tal der Enttäuschung befindet. Würde der weitere Verlauf dem Konzept des Gartner Hype Cycle entsprechen und keine anderen erklärenden Faktoren existieren (z. B. Einfluss der Covid-19-Pandemie), stünde eine weitere Abnahme der Veröffentlichungen wissenschaftlicher Arbeiten sowie Patente unmittelbar bevor und könnte anhand der Zahlen der kommenden Jahre überprüft werden.

Nach dieser Übersicht über den Stand der BCT im Allgemeinen folgt eine weitere Analyse mit dem Fokus auf die BCT in der Energiewirtschaft. Wie bereits angesprochen und nachfolgend tiefer untersucht, erschließen sich hier immer mehr Anwendungsfelder, wobei durch die BCT eine grundlegende Funktionalität übernommen werden soll. In der Folge resultiert auch hier eine deutliche Zunahme an Publikationen sowie Patenten, wie in der folgenden Abbildung 5 verdeutlicht wird.

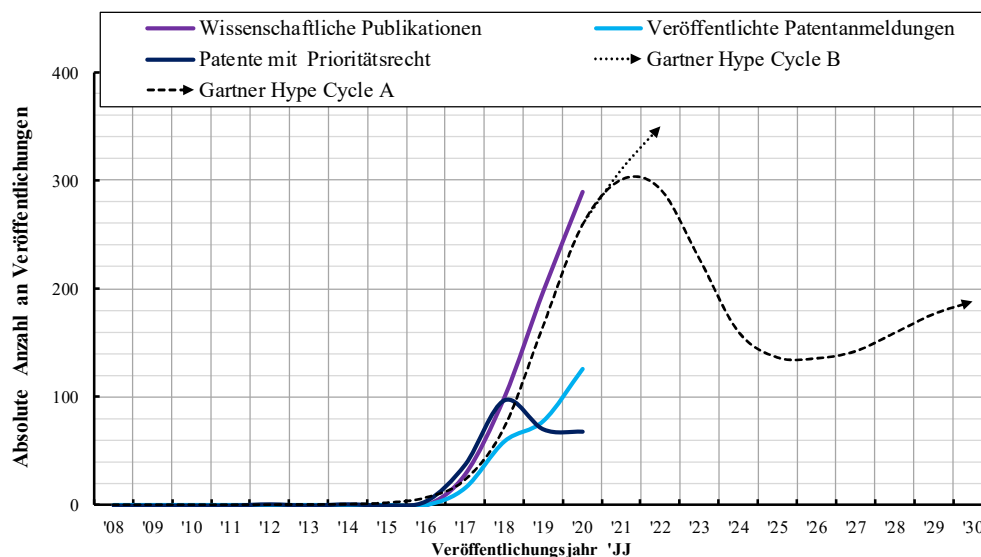


Abbildung 4: Verlauf der veröffentlichten Publikationen bezüglich der Blockchain-Technologie (BCT) in der Energiewirtschaft sowie Patente von 2008 bis 2020 im Vergleich zu zwei synthetischen Gartner Hype Cycle

Im Gegensatz zum Verlauf der BCT im Allgemeinen (Abbildung 4) befindet sich die BCT in der Energiewirtschaft weiter in einer deutlichen Wachstumsphase. Während die Anzahl an wissenschaftlichen Publikationen seit 2016 stetig zunimmt, nahmen die Anzahl neu angemeldeter Patente im Jahr 2018 bzw. 2019 erstmals nur leicht im Vergleich zum Vorjahr zu. Die Auswertung der ausgewiesenen nationalen Fördersumme für BCT-Forschungsprojekte deutet auf einen ähnlichen Trendverlauf hin. In den letzten fünf Jahren hat sich die Fördersumme für bewilligte Projekte von 0,8 Mio. € auf 10,0 Mio. € mehr als verzehnfacht. Die gesamte Fördersumme beläuft sich auf 25,4 Mio. €. Im gleichen Zeitraum stieg die Anzahl der bewilligten Projekte von einem geförderten Projekt auf eine Summe von 21 geförderten Projekte an (enArgus 2021).

Aus der Abbildung 5 wird wiederum der zeitliche Versatz zwischen Patenten mit Prioritätsrecht sowie den anschließend veröffentlichten Patenten deutlich. Die untersuchte Stichprobe lässt darauf schließen, dass Anfang 2021 insbesondere eine Zunahme der Patente mit Prioritätsrecht zu erwarten sein wird. Im Fall der veröffentlichten Patente kann bereits im Jahr 2020 wieder eine deutliche Zunahme ausgemacht werden. Mit Blick auf den abzuschätzenden Gartner Hype Cycle ergeben sich für die BCT in der Energiewirtschaft also zwei mögliche Verläufe. Einerseits kann sich die Technologie weiterhin in einem Aufstieg hin zum Gipfel der überzogenen Erwartungen befinden. Wie lange dieser Aufstieg weiter andauert, ist dabei schwer abzuschätzen, da möglicherweise bald ein künftiger Peak an neuen Veröffentlichungen erreicht werden kann. Insbesondere der Verlauf der Patente deutet einen solchen Rückgang an Veröffentlichungen bereits an, auch wenn es hier bereits wieder zu einer Erholung kam. Die hier verwendete Methodik zielt dabei jedoch nicht auf die

Prognose des zukünftigen Status der Technologie, sondern soll vielmehr den aktuellen Stand der Technologie einordnen, was auf Basis der Analyse sinnvoll möglich zu sein scheint.

4.2 Forschungsschwerpunkte der Blockchain-Technologie (BCT) in der Energiewirtschaft

Um den Detailgrad der Analyse zu erhöhen, wird entsprechend definierter Schlüsselbegriffe (Siehe Tabelle 3 und Tabelle 4) jeder Veröffentlichung ein Hauptanwendungsbereich zugeordnet. Dies ermöglicht, die Schwerpunkte der Forschung vergangener Jahre aufzuzeigen. Das Ergebnis dieser Analyse ist in Abbildung 6 dargestellt. Die Abbildung zeigt den prozentualen Anteil der acht Anwendungsbereiche in wissenschaftlichen Publikationen seit 2017. Die kumulierte Betrachtung des untersuchten Zeitraums zeigt, dass sich fast jede dritte wissenschaftliche Veröffentlichung schwerpunktmäßig mit den Anwendungsbereichen „P2P-Märkte & -Handel“ (31,2 %) bzw. jede vierte Veröffentlichung mit dem Anwendungsbereich „Asset- & Netzmanagement“ (25,6 %) befasst. Knapp jede Fünfte thematisiert das „Datenmanagement“ (17,7 %). Bei den bisherigen Forschungsaktivitäten spielen die Anwendungsbereiche „Labeling & Zertifizierung“ (5,9 %), „Elektromobilität“ (6,0 %), „Finanzierung & Kryptowährung“ (2,7 %) und „Wärmeversorgung“ (1,0 %) eine eher untergeordnete Rolle. Bei der Auswertung fällt auf, dass „Metaanalysen“ einen konstanten Anteil zwischen knapp 5 % und 12 % einnehmen. Etwa jede zehnte wissenschaftliche Publikation setzt sich mit übergeordneten Themen auseinander. Diese Gesamtentwicklung beobachten auch andere Autoren in Ihren Untersuchungen (z. B. Corusa et al. 2020). Die Analyse des Entwicklungstrends einzelner Anwendungsbereiche zeigt, dass der Anteil von „P2P-Märkte & -Handel“ sowie der Anteil von „Asset- & Netzmanagement“ relativ konstant sind. Der Anwendungsbereich „Datenmanagement“ verzeichnet ansteigenden Anteil.

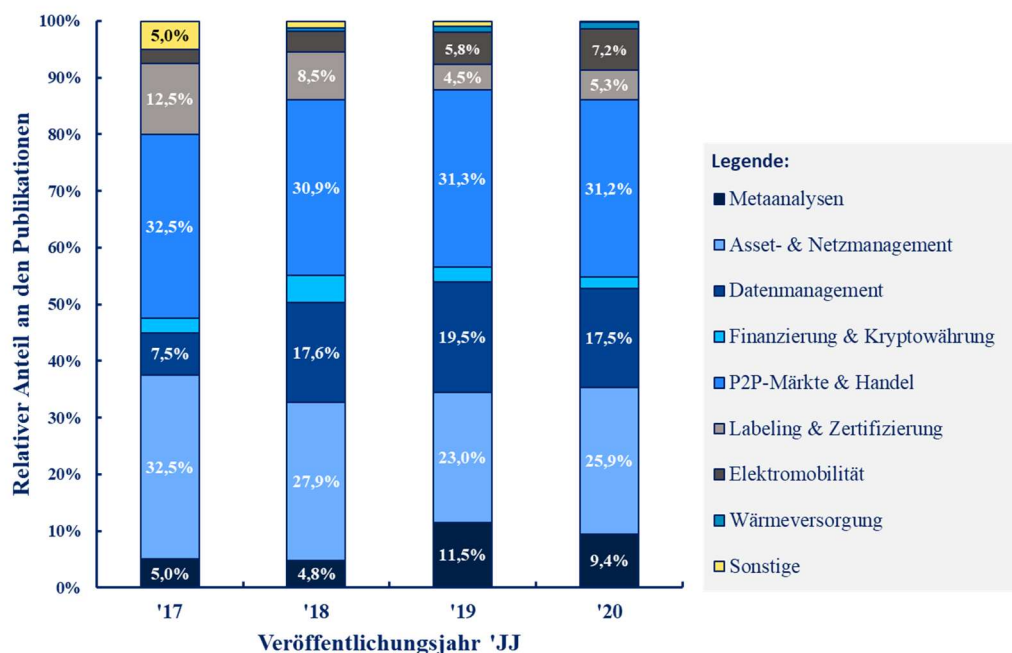


Abbildung 5: Entwicklung der Anwendungsbereich anhand wissenschaftlicher Publikationen

Einen der wichtigsten Forschungsschwerpunkte stellt demnach der „P2P-Märkte & -Handel“ dar. In diesen Publikationen werden Konzepte, Modelle, Systeme und Plattformen entwickelt, diskutiert und bewertet, welche das Ziel haben, lokale Energiemärkte oder dezentralen Energiehandel unter Prosumenten mit der BCT zu etablieren. Der inhaltliche Schwerpunkt liegt dabei auf der ökonomischen Ebene, bspw. in der Entwicklung von Auktionsmechanismen zur Preisfindung (Alt und Wende 2020; Perk et al. 2020; Zia et al. 2020). Auf Basis der untersuchten Publikationen entsteht der Eindruck, dass es sich um einen Forschungsschwerpunkt mit einem hohen Anwendungsbezug handelt und die Teilaspekte anderer Anwendungsbereiche integriert. Die Forschungsaktivitäten scheinen bereits vergleichsweise weit vorangeschritten zu sein. Ein Beleg hierfür ist die Vielzahl an Pilotprojekten energiewirtschaftlicher Forschungsinstitute in Kooperation mit industriellen Partnern zur Erprobung im Feld. Die Projekte pebbles (2021), Landau Microgrid Project (LAMP 2021) und Quartierstrom (2021) stehen beispielhaft für diesen Entwicklungsstand. Es soll nicht unerwähnt bleiben, dass im Brooklyn Microgrid Project die weltweit erste Transaktion von Energie mittels der BCT realisiert wurde (Brooklyn Microgrid 2021).

Der Anwendungsbereich „Asset- & Netzmanagement“, der einen weiteren wichtigen Forschungsschwerpunkt darstellt, soll im Netzengpassmanagement eingesetzt werden. Anlagenseitig soll die BCT in Verbindung mit intelligenter Messeinrichtung eingesetzt werden, um diese zum einen zu überwachen und zum anderen auf Basis von Prognosealgorithmen zur Lastverschiebung einzusetzen. In enger Verbindung mit dem Netzmanagement werden häufig die Begriffe „Microgrid“ und „Smart Grid“ genannt. Die BCT soll als Informations- und Kommunikationstechnologien eingesetzt werden (Ma et al. 2018; Alcarria et al. 2018; Bansal et al. 2019; Edmonds et al. 2020; Esmaeilian et al. 2020). Auf Basis der untersuchten Publikationen entsteht der Eindruck, dass der Forschungsbereich einen hohen informationstechnischen Bezug aufweist.

Der dritte wichtige Anwendungsbereich der BCT in der Energiewirtschaft ist das „Datenmanagement“. Im Fokus stehen die Neu- und Weiterentwicklung von Blockchain-Algorithmen sowie Konsensmechanismen für die Anwendung der Technologie. Dazu zählen aber auch die Erforschung von intelligenter Informationsverarbeitung, die Transaktionsautomatisierung, die Authentifizierung, die Optimierung der Rechengeschwindigkeit oder die Leistungseffizienz. Weitere Forschungsschwerpunkte sind die Cyber-Sicherheit, die Privatsphäre, die Integrität sowie die Transparenz (Zhang et al. 2019; Hossein Motlagh et al. 2020; Khan et al. 2020). Hierbei handelt es sich häufig eher um Grundlagenforschung, die branchenunabhängig eingesetzt werden kann. Die Literatur sieht weiteren Bedarf in der Grundlagenforschung insbesondere in der Neu- und Weiterentwicklung von Konsensmechanismen zur Verbesserung der Transaktionsgeschwindigkeit, der Systemsicherheit sowie der Skalierbarkeit.

Die restlichen Anwendungsbereiche „Elektromobilität“, „Finanzierung & Kryptowährung“, „Labeling & Zertifizierung“ und „Wärmeversorgung“ tauchen in den wissenschaftlichen Publikationen auf, spielen aber eher eine untergeordnete Rolle. Im Zusammenhang mit dem Anwendungsbereich „Elektromobilität“ liegt der Fokus auf der Ladeinfrastruktur und zielt darauf ab, die optimierte Abwicklung der Ladevorgänge zu erreichen (Danish et al. 2020). Der Einsatz von Kryptowährung oder digitaler Token steht im Zentrum des Anwendungsbereichs „Finanzierung & Kryptowährung“.

5 Fazit und Ausblick

Die Blockchain-Technologie (BCT) erfuhr in den letzten Jahren eine immense weltweite Aufmerksamkeit, aus der bis heute noch keine zentrale Anwendung resultiert. Auch in der Energiewirtschaft wird davon ausgegangen, dass mit der Blockchain-Technologie bestehende Anwendungen ersetzt und neue Funktionen implementiert bzw. effizienter umgesetzt werden können. In diesem Zusammenhang befasst sich der vorliegende Beitrag mit dem gegenwärtigen Entwicklungsstand der Technologie im Allgemeinen sowie im energiewirtschaftlichen Kontext.

Nachdem zunächst die Grundlagen der BCT in der Energiewirtschaft und das Konzept des Gartner Hype Cycle erläutert worden sind (vgl. Abschnitt 2), wird die methodische Vorgehensweise aufgezeigt. Diese beinhaltet eine systematische Literatur- sowie Patentrecherche und eine bibliometrische Analyse der erhobenen Datenbasis, um damit den Entwicklungsstand sowie Forschungsschwerpunkte der BCT in der Energiewirtschaft bestimmen zu können (vgl. Abschnitt 3). Anhand der Metadaten von wissenschaftlichen Publikationen sowie Patenten kann eine Einordnung der Technologie auf dem Gartner Hype Cycle vorgenommen werden (vgl. Abschnitt 4.1). Hierbei konnte gezeigt werden, dass die Forschungsaktivitäten seit den Ursprüngen der Technologie weiter kontinuierlich ansteigen, wobei es im Jahr 2020 zum ersten Mal zu einer leichten Stagnation der absoluten Anzahl an neuen Veröffentlichungen im energiewirtschaftlichen Kontext gekommen ist. Mit Blick auf die allgemeine Entwicklung der Technologie kann sogar ein leichter Rückgang der Veröffentlichungen ausgemacht werden. In der Folge kann die Technologie sowohl in der allgemeinen als auch der energiewirtschaftlichen Anwendung auf dem Gipfel der überzogenen Erwartung im Gartner Hype Cycle eingeordnet werden. Zur Identifikation der bisherigen Forschungsschwerpunkte wurde die Datenbasis hinsichtlich der erforschten Anwendungsbereiche differenziert. Die Analyse zeigt, dass die Felder der P2P-Märkte & -Handel; das Asset- & Netzmanagement und das Datenmanagement drei zentrale Forschungsschwerpunkte bilden (vgl. Abschnitt 4.2).

Bei der Interpretation der präsentierten Ergebnisse müssen allerdings noch Limitierungen berücksichtigt werden. Die erhobenen Literatur- und Patentdaten unterliegen einem Peer-Review-Prozess bzw. der Prozess der Patenterteilung, welcher sich verzerrend auswirken kann. Daher ist es möglich, dass Forschungsaktivitäten oder Patente noch nicht frei zugänglich sind, obwohl bereits aktiv daran geforscht bzw. entwickelt wurde. Auch bei der bibliometrischen Analyse kann durch die Auswahl und Zuordnung der Schlüsselbegriffe, die zwar auf sorgfältige und präzise Art ausgearbeitet und kontrovers diskutiert worden sind, eine verzerrende Wirkung durch die subjektive Expertenmeinung entstehen. Zum Ausschluss von Fehlern sind zwar stichprobenartige Überprüfungen durchgeführt worden, welche jedoch bei der hohen Anzahl der Publikationen und Patente keine vollständige Sicherheit hinsichtlich der Ergebnisse bieten können. Schließlich handelt es sich bei der untersuchten Datenbasis um eine Stichprobe, die die tatsächlichen Forschungsaktivitäten nicht gänzlich erfassen kann und daher nur Abschätzungen liefern kann. Ein Abgleich der festgestellten Trends der Anwendungsbereiche mit den Erkenntnissen aus anderen Metaanalysen ist jedoch erfolgt.

Alles in allem handelt es sich bei der BCT um eine vergleichsweise junge Informations- und Kommunikationstechnologie mit einem vielversprechenden langfristigen Erwartungspotential. Die Auswertung der Literatur- bzw. Patentdaten zeigen, dass die daraus abgeleiteten

Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten sich mit den Einschätzungen des Gartner Hype Cycle decken. Die Untersuchung der Forschungsschwerpunkte identifiziert drei zentrale Forschungsschwerpunkte der BCT in der Energiewirtschaft. Davon scheint der Anwendungsbereich „P2P-Märkte & -Handel“ am vielversprechendsten und in der Entwicklung bereits weit fortgeschritten zu sein. Dies lässt sich auf den hohen Anwendungsbezug, den integrierenden Charakter und nicht zuletzt auf die Vielzahl an durchgeführten sowie geplanten Pilotprojekte zurückführen. Insgesamt befindet sich die BCT dennoch in einem frühen Entwicklungsstadium in einer experimentellen Phase, die durch limitierte Pilotprojekte charakterisiert wird. Großskalige marktreife Anwendungen existieren noch nicht. Von einem disruptiven Wandel, den die BCT seit der ersten Erwähnung im energiewirtschaftlichen Kontext begleitet, kann daher derzeit nicht gesprochen werden.

Literatur

- ACM (2021): Association for Computing Machinery Digital Library. New York. Online verfügbar unter <https://dl.acm.org>.
- Alcarria, R.; Bordel, B.; Robles, T.; Martín, D.; Manso-Callejo, M.-Á. (2018): A Blockchain-Based Authorization System for Trustworthy Resource Monitoring and Trading in Smart Communities. In: *Sensors (Basel, Switzerland)* 18 (10).
- Alt, R.; Wende, E. (2020): Blockchain technology in energy markets – An interview with the European Energy Exchange. In: *Electron Markets* 30 (2), S. 325–330.
- Amara, R. (2016): Amara's Law. In: S. Ratcliffe (Hg.): Oxford Essential Quotations. Oxford: Oxford University Press.
- Andoni, M.; Robu, V.; Flynn, D.; Abram, S.; Geach, D.; Jenkins, D.; McCallum, P.; Peacock, A. (2019): Blockchain technology in the energy sector: A systematic review of challenges and opportunities. In: *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 100, S. 143–174.
- Archibugi, D.; Filippetti, A.; Frenz, M. (2013): The impact of the economic crisis on innovation: Evidence from Europe. In: *Technological Forecasting and Social Change* 80 (7), S. 1247–1260.
- Bansal, G.; Dua, A.; Aujla, G. S.; Singh, M.; Kumar, N. (2019): SmartChain: A Smart and Scalable Blockchain Consortium for Smart Grid Systems. In: IEEE International Conference on Communications Workshops.
- Basden, J.; Cottrell, M. (2017): How Utilities Are Using Blockchain to Modernize the Grid. In: *Harvard Business Review*, S. 2–5.
- Basler, S. (2020): Patente in der Praxis. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Berchicci, L.; Tucci, C. L.; Zazzara, C. (2014): The influence of industry downturns on the propensity of product versus process innovation. In: *Industrial and Corporate Change* 23 (2), S. 429–465.
- Blosch, M.; Fenn, J. (2018): Understanding Gartner's Hype Cycles. Hg. v. Gartner Inc. Stamford.
- Bogensperger, A.; Zeiselmair, A.; Hinterstocker, M.; Dufter, C. (2018): Die Blockchain- Technologie. Chancen zu Transformation in der Energiewirtschaft? Hg. v. Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V. München.
- Boudguiga, A.; Bouzerna, N.; Granboulan, L.; Olivereau, A.; Quesnel, F.; Roger, A.; Sirdey, R. (2017): Towards Better Availability and Accountability for IoT Updates by Means of a Blockchain. In: IEEE European Symposium on Security and Privacy Workshops. Paris, S. 50–58.
- Brooklyn Microgrid (2021). Brooklyn. Online verfügbar unter <https://www.brooklyn.energy>.
- Brouwer, E.; Kleinknecht, A. (1999): Note and comment. Keynes-plus? Effective demand and changes in firm-level R & D: an empirical note. In: *Cambridge Journal of Economics* 23 (3), S. 385–399.

- Chen, X.; Han, T. (2019): Disruptive Technology Forecasting based on Gartner Hype Cycle. In: IEEE Technology & Engineering Management Conference. Atlanta, S. 1–6.
- Coinbase Germany GmbH (2021): Bitcoin-Preis. Hg. v. Coinbase Germany GmbH. Berlin. Online verfügbar unter <https://www.coinbase.com/de/price/bitcoin>.
- Corusa, A.; Predel, J.; Schöne, N. (2020): Eine Marktübersicht der Blockchain in der Energie-wirtschaft. Hg. v. Technische Universität Berlin. Berlin.
- Danish, S. M.; Zhang, K.; Jacobsen, H.-A. (2020): A Blockchain-Based Privacy-Preserving Intelligent Charging Station Selection for Electric Vehicles. In: IEEE International Conference on Blockchain and Cryptocurrency. Virtual Conference.
- Dedehayir, O.; Steinert, M. (2016): The hype cycle model: A review and future directions. In: *Technological Forecasting and Social Change* 108, S. 28–41.
- DESTATIS (2021): Bruttoinlandsprodukt Für Deutschland 2020. Hg. v. Statistisches Bundesamt. Wiesbaden.
- Di Pierro, M. (2017): What Is the Blockchain? In: *Computing in Science & Engineering* 19 (5), S. 92–95.
- DPMA (2021): Deutsches Patent- und Markenamt. Hg. v. Deutsches Patent- und Markenamt. München. Online verfügbar unter <https://www.dpma.de>.
- EBSCO (2021): EBSCO Academic Search Premier. Hg. v. EBSCO Information Services GmbH. Berlin. Online verfügbar unter <https://www.ebsco.com/de-de/produkte/datenbanken/academic-search-premier>.
- Edmonds, L.; Liu, B.; Zhang, H.; Scoglio, C.; Gruenbacher, D.; Wu, H. (2020): Blockchain- Enabled Transactive Home Energy Management Systems in Distribution Networks. In: IEEE Kansas Power and Energy Conference.
- enArgus (2021): Zentrales Informationssystem EnArgus. Hg. v. Forschungszentrum Jülich GmbH - Projektträger Jülich (PTJ). Jülich. Online verfügbar unter <https://www.enargus.de>.
- EPO (2021): Espacenet - Patentsuche. Hg. v. European Patent Office. Online verfügbar unter https://www.epo.org/searching-forpatents/technical/espacenet_de.html.
- Esmailian, B.; Sarkis, J.; Lewis, K.; Behdad, S. (2020): Blockchain for the future of sustainable supply chain management in Industry 4.0. In: *Resources, Conservation and Recycling* 163, S. 105064.
- Fill, H.-G.; Härer, F. (2018): Knowledge Blockchains: Applying Blockchain Technologies to Enterprise Modeling. In: Proceedings of the 51st Hawaii International Conference on System Sciences, S. 4045–4054.
- Fill, H.-G.; Härer, F.; Meier, A. (2020): Wie funktioniert die Blockchain. In: H.-G. Fill und A. Meier (Hg.): Blockchain. Grundlagen, Anwendungsszenarien und Nutzungspotenziale. 1. Aufl. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, S. 3–19.
- Fill, H.-G.; Meier, A. (Hg.) (2020): Blockchain. Grundlagen, Anwendungsszenarien und Nutzungspotenziale. 1. Aufl. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Ford, D.; Ryan, C. (1981): Taking Technology to Market. In: *Harvard Business Review* (2), S. 117–126.
- Foster, R. (1982): A call for vision in managing technology. In: *McKinsey Quarterly* Summer, S. 26–36.
- Freeman, C.; Perez, C. (1988): Structural crises of adjustment: business cycles and investment behavior. In: G. Dosi (Hg.): Technical Change and Economic Theory. London: Pinter.
- Gartner Inc. (Hg.) (2019): Hype Cycle for Blockchain Technologies, 2019. Online verfügbar unter <https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2019-10-08-gartner-2019-hype-cycle-shows-most-blockchain-technologies-are-still-five-to-10-years-away-from-transformational-impact>, zuletzt geprüft am 05.05.2021.
- Herzog, P. (2011): Open and closed innovation. Different Cultures for different strategies. 2. Aufl. Wiesbaden.

- Hossein Motlagh, N.; Mohammadrezaei, M.; Hunt, J.; Zakeri, B. (2020): Internet of Things (IoT) and the Energy Sector. In: *Energies* 13 (2), S. 494.
- IEEE (2021): IEEE Xplore Digital Library. Hg. v. Institute of Electrical and Electronics Engineers. Online verfügbar unter <https://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp>.
- Janssens, S.; Steger, S.; Arbter, U.; Hach, W.; Hilbert, M.; Lecea, D.; Patoul, K. de; Keller, M.; Müller, M. (2017): Enabling decentralized, digital and trusted transactions. Mastering the Enabling decentralized, digital Transformation Journey and Why blockchain will transform the financial services industry. München, Brüssel.
- Kaivo-oja, J.; Lauraéus, T.; Knudsen, M. S. (2020): Picking the ICT technology winners - longitudinal analysis of 21st century technologies based on the Gartner hype cycle 2008-2017: trends, tendencies, and weak signals. In: *IJWET* 15 (3), S. 216–264.
- Khan, M. H.; Mujahid, U.; Najam-ul-Islam, M.; Choi, H. (2020): A Security Analysis of Blockchain Based Decentralized Energy Exchange System. In: 9th International Conference on Industrial Technology and Management: IEEE.
- Kraus, S.; Clauss, T.; Breier, M.; Gast, J.; Zardini, A.; Tiberius, V. (2020): The economics of COVID-19: initial empirical evidence on how family firms in five European countries cope with the corona crisis. In: *IJEER* 26 (5), S. 1067–1092.
- LAMP (2021): Landau Microgrid Project. Hg. v. EnergieSüdwest. Karlsruhe. Online verfügbar unter <https://im.iism.kit.edu/2881.php>.
- Ma, Z.; Zhong, H.; Wang, J.; Du, E.; Xia, Q. (2018): The Reserve Sharing Mechanism Among Interconnected Power Grids Based on Block Chain. In: 15th International Conference on the European Energy Market: IEEE.
- Marshall, C.; Brereton, P. (2013): Tools to Support Systematic Literature Reviews in Software Engineering: A Mapping Study. In: ACM / IEEE International Symposium on Empirical Software Engineering and Measurement. Baltimore, S. 296–299.
- McKibbin, W.; Fernando, R. (2020): The economic impact of COVID-19. In: R. Baldwin und B. Di Weder Mauro (Hg.): Economics in the Time of COVID-19. London: CEPR Press, S. 45–51.
- Meinel, C.; Gayvoronskaya, T.; Schnjakin, M. (2018): Blockchain. Hype oder Innovation. Potsdam.
- Mingxiao, D.; Xiaofeng, M.; Zhe, Z.; Xiangwei, W.; Qijun, C. (2017): A Review on Consensus Algorithm of Blockchain. Piscataway.
- OECD (2005): Oslo Manual. Guidelines For Collecting and Interpreting Innovation Data. 3. Aufl. Paris.
- pebbles (2021): Peer-to-Peer Energiehandel auf Basis von Blockchains. Hg. v. Allgäuer Überlandwerk GmbH. Kempten (Allgäu). Online verfügbar unter <https://pebbles-projekt.de>.
- Perk, B.; Bayraktaroglu, C.; Dogu, E. D.; Safdar Ali, F.; Okasap, O. (2020): Blockchain-based P2P Energy Trading Using Smart Contracts. In: IEEE Symposium on Computers and Communications: IEEE.
- Prinsloo, T.; van Deventer, J. P. (2017): Using the Gartner Hype Cycle to Evaluate the Adoption of Emerging Technology Trends in Higher Education – 2013 to 2016. In: T.-C. Huang, R. Lau, Y.-M. Huang, M. Spaniol und C.-H. Yuen (Hg.): Emerging Technologies for Education. Cham: Springer International Publishing (10676), 49-57.
- Quartierstrom (2021): Der erste lokale Strommarkt der Schweiz. Zürich. Online verfügbar unter <https://quartier-strom.ch>.
- Reetz, F. (2019): Herausforderungen und Förderstrategien für die Blockchain-Technologie. Studien zum deutschen Innovationssystem Nr. 10-2019. Hg. v. Expertenkommission Forschung und Innovation (EFI). Berlin.
- Richard, P.; Mamel, S.; Vogel, L. (2019): Blockchain in der integrierten Energiewende. Hg. v. Deutsche Energie-Agentur GmbH. Berlin.

- Rio-Chanona, R. M. d.; Mealy, P.; Pichler, A.; Lafond, F.; Farmer, D. (2020): Supply and demand shocks in the COVID-19 pandemic: An industry and occupation perspective. In: *Oxford Review of Economic Policy* 36, S. 94–137. Online verfügbar unter <http://arxiv.org/pdf/2004.06759v1>.
- Rogers, E. M. (Hg.) (1983): *Diffusion of Innovations*. 3. Aufl. New York, London.
- Roth, F. (2009): The effect of the financial crisis on systemic trust. In: *Intereconomics* 44 (4), S. 203–208.
- Schulz, M.; Kemmler, T.; Kumm, J.; Hufendiek, K.; Thomas, B. (2020): A More Realistic Heat Pump Control Approach by Application of an Integrated Two-Part Control. In: *Energies* 13 (11), S. 2752.
- Schumpeter, J. A. (1939): *Business Cycles. A Theoretical, Historical and Statistical Analysis of the Capitalist Process*. New York.
- Sommerlatte, T.; Deschamps, J.-P. (1985): Der strategische Einsatz von Technologien. In: Arthur D. Little (Hg.): *Management im Zeitalter der Strategischen Führung*. Wiesbaden, S. 39–76.
- Strüker, J.; Albrecht, S.; Reichert, S.; Schmid, J. (2017): *Blockchain in der Energiewirtschaft. Potenziale für Energieversorger*. Hg. v. BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. Berlin.
- Sundbo, J. (2015): Innovation. In: *Theory of International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences* 12 (2), S. 169–174.
- Taalbi, J. (2017): What drives innovation? Evidence from economic history. In: *Research Policy* 46 (8), S. 1437–1453.
- TEMA (2021): *TEMA Technology and Management*.
- vom Brocke, J.; Simons, A.; Niehaves, B.; Riemer, K.; Plattfaut, R.; Cleven, A. (2009): Reconstructing the Giant: On The Importance of Rigour in Documenting The Literature Search Process. ECIS 2009 Proceedings. 161. Online verfügbar unter <https://aisel.aisnet.org/ecis2009/161>.
- WoS (2021): *Web of Science Core Collection*. Hg. v. Clarivate. Online verfügbar unter <https://clarivate.com/webofsciencegroup/solutions/web-of-science-core-collection/>.
- WSW (2021): *Tal.Markt*. Hg. v. WSW Wuppertaler Stadtwerke GmbH. Wuppertal. Online verfügbar unter <https://talmarkt.wsw-online.de>.
- Yli-Huumo, J.; Ko, D.; Choi, S.; Park, S.; Smolander, K. (2016): Where Is Current Research on Blockchain Technology?-A Systematic Review. In: *PloS one* 11 (10).
- Zeiselmaier, A.; Bogensperger, A. (2018): *Die Blockchain-Technologie. Chance zur Transformation der Energieversorgung*. Hg. v. Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V. (FfE). München.
- Zhang, C.; Wu, C.; Wang, X. (2020): Overview of Blockchain Consensus Mechanism. In: *2nd International Conference on Big Data Engineering*. Shanghai, S. 7–12.
- Zhang, Z.; Zhong, C.; Guo, S.; Wang, F. (2019): A Master-Slave Chain Architecture Model for Cross-Domain Trusted and Authentication of Power Services. In: *7th International Conference on Information Technology: IoT and Smart City (ACM Digital Library)*.
- Zia, M. F.; Benbouzid, M.; Elbouchikhi, E.; Muyeen, S. M.; Techato, K.; Guerrero, J. M. (2020): Microgrid Transactive Energy: Review, Architectures, Distributed Ledger Technologies, and Market Analysis. In: *IEEE Access* 8, S. 19410–19432.