

Bewertung von Kommunikationsverfahren in Smart Grids in der Stromversorgung

Masterarbeit

zur Erlangung des akademischen Grades „Master of Science (M. Sc.)“ im Studiengang
Wirtschaftsingenieur der Fakultät für Elektrotechnik und Informatik, Fakultät für Maschinenbau und
der Wirtschaftswissenschaftlichen Fakultät der Leibniz Universität Hannover

vorgelegt von

Name: Fotiadis



Vorname: Christos



Prüfer: Prof. Dr. M. H. Breitner

Ort, den*: Hannover, den 28.06.2019

*(Datum der Beendigung der Arbeit)

Inhaltsverzeichnis

Abstract	III
Abbildungsverzeichnis	VII
Tabellenverzeichnis	VIII
Abkürzungsverzeichnis	IX
1. Einleitung	1
1.1. Motivation	1
1.2. Aufbau und Ziel der Arbeit	4
2. Grundlagen und aktueller Forschungsstand	6
2.1. Literature Review	7
2.2. Das Smart Grid	18
2.2.1. Akteure und Betriebsmittel	20
2.2.2. Informations- und Kommunikationstechnologie	30
3. Herleitung der Forschungsfragen	40
3.1. Herausforderungen im zukünftigen Stromnetz	40
3.2. Aufstellen der Forschungsfragen	46
4. Neue Kommunikationsverfahren	47
4.1. Methodik zur empirischen Datenerhebung	47
4.2. Ergebnisse der Experteninterviews	55
4.2.1. Auswahl neuer Kommunikationsverfahren	55
4.2.2. Vorstellung neuer Kommunikationsverfahren	56
4.2.3. Bewertung neuer Kommunikationsverfahren	66
4.3. Handlungsempfehlung	71
5. Diskussion	77
6. Ausblick	81
Literaturverzeichnis	94
A. Anhang	95

1. Einleitung

„Der Klimawandel ist für unsere Welt eine Schicksalsfrage. Sie entscheidet über das Wohlergehen von uns allen.“

Angela Merkel bei der 23. Klimaschutzkonferenz der Vereinten Nationen in Bonn am 15. November 2017.

1.1. Motivation

Mit dem Klimawandel wird der sukzessive Prozess einer weltweiten ökologischen Umstrukturierung beschrieben. Dabei besteht das Problem der globalen Erderwärmung aufgrund von Treibhausgasemissionen. Seit Beginn der Industrialisierung steigen diese Emissionen, hauptsächlich in Form von Kohlenstoffdioxid (CO_2), stark an (Fernow; 2014). Der Zusammenhang der Treibhausgasemissionen und der weltweiten Klimaveränderung wird durch Bewertungen und Szenarien des Weltklimarates deutlich (siehe Abbildung 1.1). Der Intergovernmental Panel on Climate Change (dt. Weltklimarat) (IPCC) dient als konsultatives Organ der Vereinten Nationen für Klimafragen und stellt wissenschaftliche Ausarbeitungen zukünftiger oder vergangener Entwicklungen und Risiken in Form von Reports zur Verfügung (The Intergovernmental Panel on Climate Change; 2019).

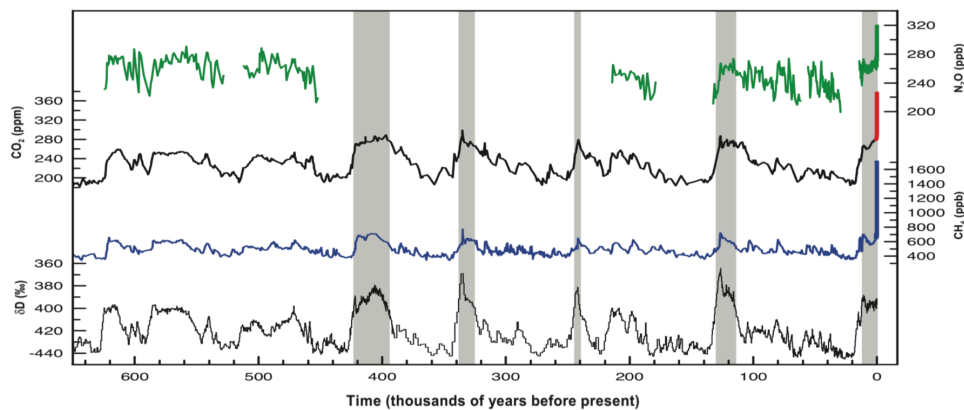


Abbildung 1.1.: Atmosphärische Konzentrationen der Treibhausgase (Kohlenstoffdioxid (CO_2), Methan (CH_4), Stickstoff (N_2O)) und Deuterium (δD) (als Analogon für den Temperaturverlauf), die schattierten Bänder zeigen die interglazialen Wärmeperioden an (Solomon et al.; 2007)

Die Grafik entspringt einer solchen wissenschaftlichen Veröffentlichung und zeigt den Zusammenhang der Treibhausgasemissionen und der Temperatur an. Nach Solomon et al. spiegeln die Phasen mit einer geringen CO_2 -Konzentration die Eiszeiten auf dem Planeten wider. Steigt der CO_2 -Gehalt, wird der Treibhauseffekt angetrieben und die durchschnittliche Temperatur auf

dem Planeten erhöht sich. Seit der industriellen Revolution und im Hinblick des exponentiellen Bevölkerungswachstums steigen die CO₂-Emissionen vergleichsweise kontinuierlich an. Als hauptsächlichen Grund werden die weltweite Nutzung fossiler Brennstoffe und die umweltbelastenden industriellen Produktionsprozesse genannt (The Intergovernmental Panel on Climate Change; 2019). Durch den gravierenden Anstieg des atmosphärischen CO₂-Gehalts wird das Schmelzen der Polkappen (Deglaziation) zusätzlich verstärkt. Eine solche Deglaziation führt zum Anstieg des Meeresspiegels und zusätzlich zu einer Veränderung des Golfstroms (Quaschnig; 2018a). Weiterhin sorgt die Deglaziation zukünftig für eine umweltbedingte Instabilität, die der kulturellen Entwicklung einer Gesellschaft hinderlich und problematisch gegenübersteht. Instabile Umwelteinflüsse, wie Extremwetterereignisse, bringen daher im Hinblick auf die hohe Bevölkerungsdichte einiger Regionen eine weitere Problematik hervor.

Den oben genannten Problemen wird mit dem Klimaschutz entgegengetreten. Der Klimaschutz wird als Ursache und Treiber der Energiewende angesehen. Seit der Namensgebung der „Energiewende“ durch das Öko-Institut im Jahre 1980 folgt eine gesetzliche Novellierung und Zielsetzung der nächsten. Der Begriff „Energiewende“ erreicht mittlerweile internationalen Charakter und wird auch im englischsprachigen Raum ohne Übersetzung verwendet. Viele Nationen haben die weltweite Grundproblematik der bisherigen Energieversorgung erkannt und versuchen mit resoluten Handlungen das hauptsächliche Ziel, die *Dekarbonisierung*, zu verfolgen (Agora Energiewende; 2019a). Unter der Dekarbonisierung wird das Bestreben und Vorgehen zur Reduktion beziehungsweise Abschaffung des Einsatzes kohlenstoffhaltiger, fossiler Ressourcen bei der Energieerzeugung verstanden (Rüdiger Paschotta; 2019).

Um diesem Ziel näher zu kommen und den genannten Ereignissen entgegenzuwirken, wurden internationale Maßnahmen auf den Weltklimakonferenzen der letzten Jahre festgelegt. Zusätzlich haben einige Länder ihre eigenen Maßnahmen und Ziele individuell angepasst. Der weltweit wichtigste und aktuellste Beschluss wurde im Kontext des Pariser Klimagipfels mit 196 Staaten im Jahr 2015 festgehalten: Das 2°C-Ziel in Verbindung mit der 1,5°C Begrenzung. Die durchschnittliche, globale Temperaturerhöhung soll auf unter 2°C im Vergleich zum Beginn der Industrialisierung begrenzt werden. Zusätzlich soll unter bestimmten Bemühungen die Begrenzung auf 1,5°C unternommen werden (Sturm; 2017). Ausschließlich mit der Einführung innovativer Lösungen, der Trennung von konventionellen Energieversorgungskonzepten und der Einführung einer Energielandschaft mit erneuerbaren Energien wird die Dekarbonisierung und letztlich die Energiewende möglich. Somit wird der Energiewende ein erheblicher Teil der Dekarbonisierung zugeschrieben. In den drei Teilprojekten der Energiewende, nämlich der Strom-, Wärme und Verkehrswende, werden bereits innovative Energieversorgungskonzepte und -lösungen vorgestellt und in die jeweilige Infrastruktur implementiert. Dabei spielen insbesondere erneuerbare Energien in der Stromwende eine große Rolle. Einige Regionen werden bereits vollständig mit erneuerbaren Energien versorgt (siehe 3.1). Die geografische Lage er-

laubt letzteren eine ständige Zufuhr erneuerbarer Energien, während andere Nationen und Regionen, wie beispielsweise Deutschland mit der Volatilität einiger erneuerbarer Energien die Dekarbonisierung vorantreiben. Diese Volatilität steht für eine unregelmäßige, wetterabhängige Energieerzeugung. Während die Wärmewende in einigen Regionen noch nicht viel Beachtung findet, fokussieren viele Industriestaaten, besonders Deutschland, neben der Stromwende auch die Verkehrswende (Sturm; 2017). Durch die Einführung elektrisch betriebener Fahrzeuge wird das Stromnetz und die gesamte Infrastruktur in Deutschland komplett umgeworfen (Quaschnig; 2018a). Demnach sorgen die zwei Maßnahmen, nämlich den Ausbau erneuerbarer Energieerzeuger und die Einführung einer elektrisch betriebenen Fahrzeuglandschaft gleichzeitig für unvermeidbare Herausforderungen. Die eine Herausforderung ist gleichzeitig Folge dieser zwei Maßnahmen und beinhaltet den Ausbau und die Implementierung von *Energiespeichern* in die Netzinfrastruktur zur Erreichung einer besseren Versorgungsstabilität und der Volatilitätsbekämpfung 2. Neue Energiespeicher, volatile Energieerzeuger, als auch die Einführung einer elektrischen Fahrzeuglandschaft führen zu der zweiten Herausforderung, der *Dezentralität* (Eickelmann; 2017). Das deutsche Stromnetz ist für diese Versorgungsart nicht ausgelegt. Diese *dezentrale* Einspeisung führt zu einer zweiseitigen, bidirektionalen Stromzufuhr und belastet das konventionelle Netz (Quaschnig; 2018a). Im Zuge der Digitalisierung wurde im letzten Jahrzehnt daher als innovative Lösung das *Smart Grid* vorgestellt, welches bereits jetzt in Pilotprojekten und in Form von Inselnetzen Verwendung findet (Abschnitt 2.2). Das Smart Grid beschreibt den intelligenten Energie- und Datenaustausch der Akteure im Stromnetz (Definition: Abschnitt 2.2). Auf Basis dieses Energie- und Datenaustausches, muss die Vernetzung und Kommunikation der verschiedenen Betriebsmittel und Akteure bis in das Niederspannungsnetz garantiert sein (Rentzing; 2017). Die Transparenzsteigerung durch die IKT im Stromnetz führen zu weiteren Herausforderungen. Abhängig vom jeweiligen Anwendungsfall lassen sich, besonders auf der Kommunikationsebene der Betriebsmittel, verschiedenste Kommunikationsprotokolle anwenden. Das breite Spektrum dieser Protokolle fordert vor allem die Automatisierungs- und Steuerungstechnik in ONS Ortsnetzstationen (ONS), die als Übertragungs-, Verarbeitungs- und Sammelpunkte im Niederspannungsnetz gelten (Abschnitt 2.2.1). Diese Betriebsmittel sorgen für die Anbindung weiterer Betriebsmittel verschiedener Hersteller. Viele dieser Hersteller arbeiten mit unterschiedlichen Kommunikationssystemen und entwickeln ihre Produkte abhängig von ihrem oder dem durch einen Original Equipment Manufacturer (dt. Erstausrüster) (OEM) vorherrschenden Kommunikationsstandard. Die implementierte Automatisierungstechnik dient damit als eine Art 'Dirigent' jeglicher Betriebsmittel und Akteure und sorgt für eine Auf- und Umrüstung der heutigen Energieversorgungskette (Rentzing; 2017). Die komplexe Struktur und Entwicklung geologischer, meteorologischer, politischer und technischer Aspekte wird zusammenfassend in Abbildung A.1 visualisiert. Diese Grafik veranschaulicht grob den Zusammenhang der oben beschriebenen Problematiken und

Auswirkungen und stellt vereinfacht die Treiber und Motive für die Einführung des Smart Grids dar. Außerdem betont sie die weltweite Relevanz der Thematik. Mit dieser Position sollte der deutschen Regierung ein Handlungsdruck zuteilwerden, der mithilfe gesellschaftlicher Sensibilisierung einen verstärkenden Effekt hervorruft. *„Wird die Energiewende nicht intensiv verfolgt, wird Berlin im Jahr 2100 wegen Überschwemmung für unsere Enkelkinder unbewohnbar.“*

Prof. Dr. Volker Quaschnig bei der 5. Smart-Grid Fachtagung. Ingelheim, 25. September 2018

1.2. Aufbau und Ziel der Arbeit

Mit der Motivation in diesem Kapitel wurde die Relevanz der Einführung eines Smart Grids zur Bewältigung der Energiewende betont. Im zweiten Kapitel werden die Grundlagen und der Aufbau des deutschen elektrischen Stromnetzes apostrophiert. Für die inhaltlich relevante Darstellung wird zunächst die wissenschaftliche Methode einer Literaturanalyse nach Brocke et al. (2009) genutzt, welche im ersten Unterkapitel präsentiert wird. Im zweiten Unterkapitel wird neben der Vorstellung der Akteure und einiger wichtiger Betriebsmittel des elektrischen Stromnetzes auch die für das Stromnetz notwendige IKT in Stromnetzen behandelt. Das dritte Kapitel widmet sich der Herleitung der Forschungsfragen mithilfe aktueller Herausforderungen zur Realisierung eines Smart Grids und seiner IKT. Darauf aufbauend werden die Forschungsfragen vorgestellt, die im Rahmen dieser Arbeit beantwortet und diskutiert werden. Das vierte Kapitel thematisiert das Vorgehen des hauptsächlich wissenschaftlichen Modells, nämlich die Ausführung von Experteninterviews, der qualitativen Datenerhebung durch eine QIA nach Mayring (2002) und der anschließenden Auswahl, Vorstellung und Bewertung der Kommunikationsverfahren in Kombination mit daraus gewonnenen Handlungsempfehlungen. Im fünften Kapitel werden anschließend Limitation und Schwierigkeiten bei der Ausarbeitung diskutiert. Schließlich behandelt das sechste Kapitel eine Hervorhebung der wichtigsten Aussage dieser Arbeit zusammen mit einem Ausblick zu weiterführenden und relevanten Trends für die Implementierung eines Smart Grids. Die vorliegende Arbeit verfolgt insgesamt das Ziel einer, anhand von Experteninterviews, durchgeführten Evaluation neuer Kommunikationsverfahren für das Smart Grid und einer anschließenden Handlungsempfehlung für die WAGO Kontakttechnik GmbH & Co. KG. Zur besseren Übersicht stellt Tabelle 1.1 die Struktur und den Ablauf der Arbeit noch einmal dar.

Kapitel	Inhalt
1 Einleitung	Grundlegende Motivation und Aufbau der Arbeit dargestellt
2 Grundlagen und aktueller Forschungsstand	Durchführung der Literature Review nach Brocke et al., Darstellung der Akteure und Betriebsmittel des elektrischen Netzes, Darstellung der IKT-Grundlagen (OSI) und wichtigen Komponenten, Vorstellung des SGAM
3 Herleitung der Forschungsfragen	Beschreibung aktueller Herausforderungen im elektrischen Netz und der Kommunikation, Aufstellen der Forschungsfragen
4 Neue Kommunikationsverfahren	Beschreibung der Durchführung der Experteninterviews, Beschreibung der QIA nach Mayring, Auswahl, Vorstellung und Bewertung neuer Kommunikationsverfahren für das Smart Grid, Darstellung der Handlungsempfehlungen, Beantwortung der Forschungsfragen
5 Diskussion	Aufzeigen der Schwierigkeiten und Limitationen
6 Ausblick	Kurze Darstellung weiterer signifikanter Trends und Empfehlung weiterer Forschungsansätze

Tabelle 1.1.: Aufbau und Struktur der wissenschaftlichen Arbeit

6. Ausblick

Bis und ob sich ein einheitlicher Standard etabliert bleibt abzuwarten. Die grundlegenden Herausforderungen dafür wurden in 4.2.3 genannt. Wichtig zu erwähnen ist, dass durch den aktuellen Wettbewerb und der jeweiligen unternehmerischen Denkweise ein einheitlicher Standard noch weit entfernt zu sein scheint. Uslar et al. (2013) verwendet in seiner Arbeit eine Zeichnung, die die aktuelle Situation der Realisierung eines Standard widerspiegelt (Abbildung 6.1).

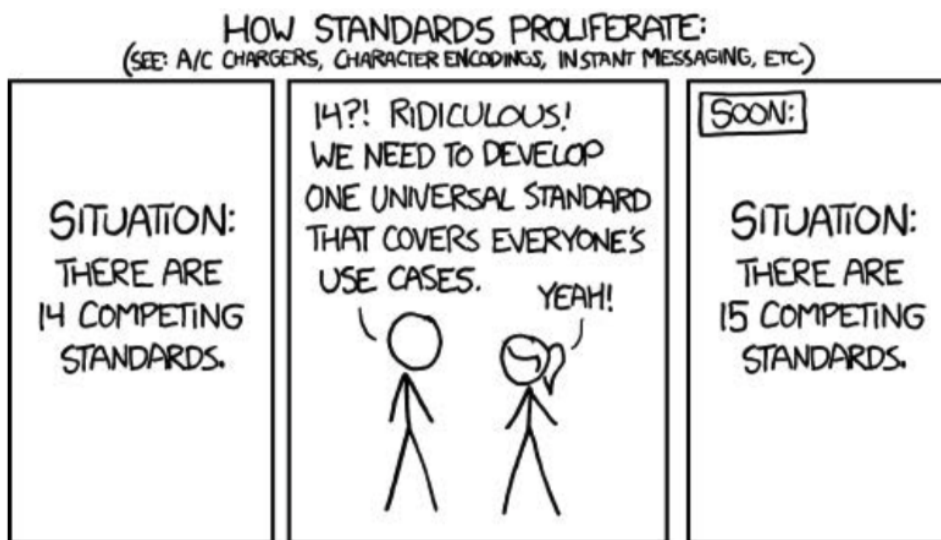


Abbildung 6.1.: Beschreibung der aktuellen Situation in Bezug auf die Standardisierung und der Bemühung zur Einführung eines einheitlichen Standards (nach Uslar et al. (2013))

Für die erfolgreiche Umsetzung des „Projekts Energiewende“ werden noch viele Anforderungen erfüllt und Herausforderungen gemeistert werden müssen. Bis das Smart Grid auch tatsächlich als Smart Grid bezeichnet werden kann, werden besonders in der Energiewirtschaft neue Geschäftsmodelle aus neuen Technologien folgen. Neue Technologien und besonders ihre Potentiale und Akzeptanz in der Bevölkerung werden durch viele Modelle grafisch präsentiert. Ein Modell ist das nach Gartner Inc. (2018) in Abbildung 6.2 dargestellte Hype Cycle Modell. Das Hype Cycle Model visualisiert zukünftige Trends von Technologien auf Basis der Aufmerksamkeit und des Images der jeweiligen Technologie. Das Modell ist eine zweidimensionale Darstellung mit der gesellschaftlichen Erwartungen und der Zeit als Achsen. Dabei gibt das Modell Unternehmen eine Empfehlung, wie bei der Lösung unternehmenseigener Herausforderungen im Hinblick auf die kommenden Technologien reagiert wird. Der Hype Cycle besteht aus:

- **Technology Trigger**, dem Start einer Technologie und den ersten Kontakten der Technologie zur Außenwelt

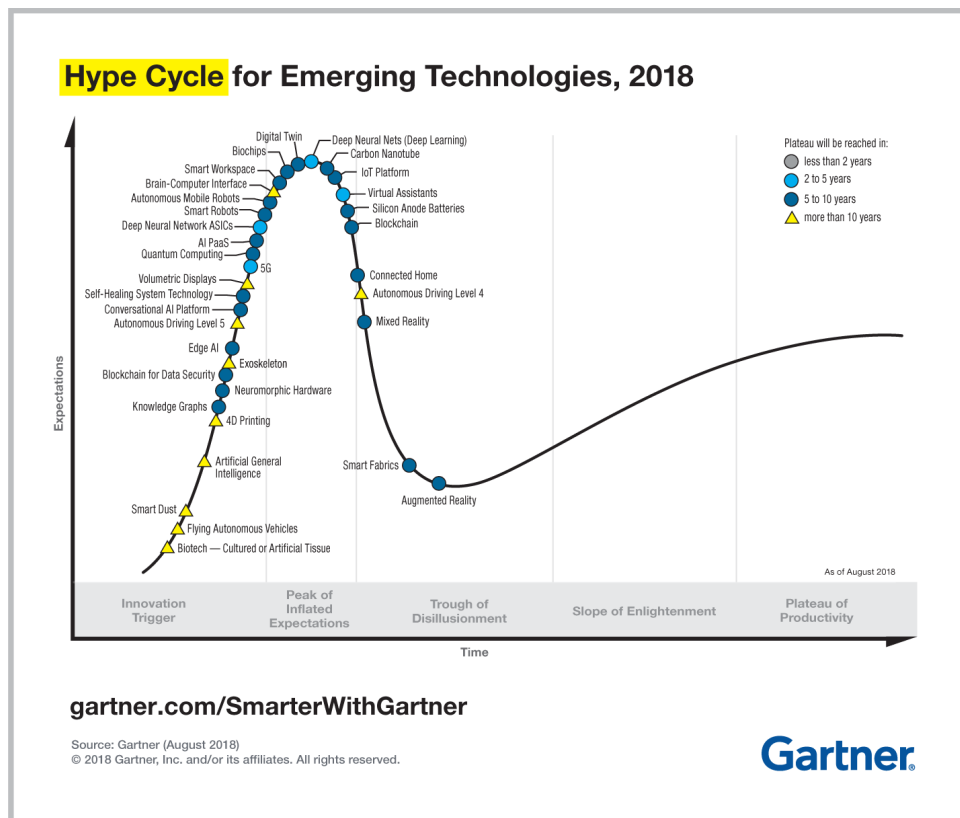


Abbildung 6.2.: Zukünftige Trends im Hype Cycle Model nach Gartner Inc. (2018)

- **Peak of Inflated Expectations**, der enthusiastischen und übertriebenen Imagesteigerung durch womöglich nicht zu erreichenden Lösungen durch diese Technologien
- **Trough of Disillusionment**, der Interessensabnahme durch Scheitern der vorausgesagten Implementierungen
- **Slope of Enlightenment**, dem besseren Verständnis weiterer Beispiele für den Einsatz der Technologie und damit einem Anstieg des Potentials
- **Plateau of Productivity**, der greifbare, marktaugliche Erfolg der Technologie, der doch noch zustande kommt

Aus dem Hype Cycle lassen sich die drei folgenden Trends in Bezug auf die IKT im Smart Grid ableiten:

1. Die 5G-Technologie
2. Steuerboxen (SPS) mit künstlicher Intelligenz (KI)
3. Energiewirtschaftliche Geschäftsmodelle auf Basis von Blockchain und Smart Contracting

Die 5G - Technologie ist im Hype Cycle zunächst noch im Bereich des Technology Trigger befindlich, die Erwartungen an diese Technologie sind vergleichsweise hoch. In Bezug auf die Energiebranche und die Interoperabilität ermöglicht die 5G Technologie, aufgrund der schnellen Datenübertragung (ca. 1,25 GB pro Sekunde) eine Echtzeitübertragung. Gleichzeitig erzeugt die 5G Technologie eine Machine-to-Machine (M2M) Kommunikation, wie es im Kontext von Begrifflichkeiten wie Industrie 4.0 und Internet of Things (IoT) zu erwarten ist (NG-MN Alliance; 2015). Werden die zu übertragenden Daten von einem Betriebsmittel im Smart Grid (bspw. eine PV-Anlage) betrachtet, so wird die zu übertragende geringe Datenmenge erkannt und die 5G Technologie als möglicherweise obsolet betrachtet. Werden jedoch alle im zukünftigen Smart Grid miteinander kommunizierenden Komponenten mit einbezogen, ergibt sich für ein Ballungsgebiet mit mehreren CLS Module, Elektrofahrzeugen, Ortsnetzstationen und weiteren Betriebsmitteln eine angemessen zu übertragende Datenmenge. Daher wird die 5G Technologie und die 5G Kompatibilität für Steuerboxen, an denen die jeweiligen Betriebsmittel angeschlossen sind unentbehrlich.

Als weitere Technologie werden Steuerboxen mit implementierten künstlichen Intelligenzen zum übergreifenden Energiemanagement im Smart Grid potentiell zum Einsatz kommen. Die KI wird dabei durch neuronale Netze realisiert. Dabei müssen jedoch die Systemanforderungen in den Steuerboxen deutlich verbessert werden, um Prozesse optimal durchführen zu können. Die Implementierung einer künstlichen Intelligenz in die Steuerungs- und Automatisierungsprozesse der Komponenten kann dem Smart Grid eine Steigerung in der Interoperabilität verleihen. Zusätzlich werden dadurch heutige softwarebasierte Systeme ablösen. Weitere Informationen, wie genau eine KI aufgebaut ist und welche weiteren potentiellen Lösungen diese für das Smart Grid bereithält lassen sich Doleski (2017) und Koopmann (2017) entnehmen.

Wie bereits erwähnt, wird das Smart Grid die energiewirtschaftlichen Geschäftsmodelle revolutionieren (Schütte et al.; 2017). Beispielsweise können in Zukunft Prosumer als Marktteilnehmer den aus ihrer PV-Anlage produzierten Strom dem nahegelegenen anderen Marktteilnehmer, einem Verbraucher auf residentialer (Heim-) Ebene, für CLS Module wie die Waschmaschine in einer bestimmten Zeitspanne zur Verfügung stellen und direkt untereinander abrechnen. Dieser Abrechnungsvorgang kann verschiedene Herausforderungen in Bezug auf sicherheitstechnische Themen hervorrufen. Um dem entgegenzutreten, diskutieren viele Experten den zukünftigen Einsatz von der Blockchain Technologie. Eine Blockchain kann für ein dezentralisiertes Transaktionsmanagement sorgen und die vielfältigen Abrechnungsvorgänge von unterschiedlichen Marktteilnehmern ermöglichen. Von Smart Contracts wird bei Transaktionsvorgängen beschrieben, wenn zusätzliche Regeln für den Transaktionsvorgang logisch so dargestellt werden, das ein selbständiger und automatisierter Transaktionsprozess unter Einhaltung entsprechend dieser Regeln ablaufen kann. Zusätzlich gilt in der Blockchain Technologie eine erhöhte Sicherheit und die Bewältigung potentieller Cyber-Angriffe, während dieser Transaktionsvorgänge im

Smart Grid. Weitere Informationen finden sich in Schütte et al. (2017).

Welche Technologien bei der Transparenzsteigerung und der weiteren Entwicklung des Smart Grid eine Rolle spielen werden bleibt abzuwarten. Wichtig ist jedoch, dass die gesellschaftliche Akzeptanz und das politische Interesse für die Bewältigung und Umsetzung eines Smart Grids, einer 100 prozentigen erneuerbaren Energieversorgung und einer CO₂-neutralen Welt gesteigert werden muss. Nur durch den gesellschaftlichen Einfluss und dem Verständnis für das Projekt „Energiewende“ kann eine erhöhte Anstrengung und erfolgreiche Umsetzung dieses Projekts, zum Wohle zukünftiger Generationen, für eine nachhaltige und neue Zukunft sorgen.