

Digitalisierung aus Nachhaltigkeitssicht – Beispiel Energie- und Gassektor

Paul Weigel und Manfred Fishedick

Digitalisierung, Nachhaltigkeit, Spannungsfelder, ganzheitliche Betrachtung, Sektorenkopplung

Im Energiesektor hat die Digitalisierung bereits viele Abläufe der Wertschöpfungskette verändert. Es besteht jedoch weiterhin erhebliches Potenzial zur Nutzung von digitalen Anwendungen. Insofern ist mit weiteren tiefgreifenden Veränderungen zu rechnen. Neben den zahlreichen Nutzen bestehen auch potenzielle negative Auswirkungen. Die so entstehenden Spannungsfelder müssen frühzeitig analysiert werden, um Lösungsoptionen für potenzielle Hindernisse zu erarbeiten um somit den größtmöglichen Nutzen der Digitalisierung erzielen zu können.

Digitalization from a sustainability perspective – Exemplary cases from the energy and gas sector

In the energy sector, the digitalization has already modified many processes in the value stream. Nevertheless, there is still significant potential to further use digital applications. Therefore, it can be expected that the digitalization will have further significant impact in the energy and gas sector. Along with the benefits, potential negative effects are possible. These areas of conflict need to be assessed early on to develop solution options and thereby ensure that the full benefits of the digitalization can be utilized.

1. Einführung

Die Digitalisierung hat bereits zahlreiche Branchen grundlegend verändert. Die Wirkweise der digitalen Anwendungen und somit deren Nutzen sind dabei sehr unterschiedlich. Auch im Energiesektor bietet die Digitalisierung bereits heute zahlreiche Anwendungsmöglichkeiten, obgleich die Wertschöpfungsketten bislang noch keine grundlegenden Veränderungen aufweisen. Es ist jedoch zu erwarten, dass sich die Digitalisierung in zunehmendem Maße auf den Energiesektor auswirken wird, wodurch Effizienzgewinne realisiert werden können, neue Geschäftsfelder und -modelle entstehen, neue Wettbewerber auftreten und sich in der Konsequenz eine Neuordnung der Wertschöpfungskette ergeben kann. Vor diesem Hintergrund ist ein ganzheitliches Verständnis des benötigten Implementierungsaufwandes und der Auswirkungen digitaler Anwendungen von großer Bedeutung, sowohl für Unternehmen, die digitale Lösun-

gen verwirklichen, als auch für die Gesellschaft, um frühzeitig Risiken, potenzielle Umsetzungshindernisse und Engpässe zu identifizieren und diese zu minimieren.

Der vorliegende Artikel soll die relevantesten Nutzenbereiche der Digitalisierung im Energie- und Gassektor aufzeigen sowie potenzielle Spannungsfelder zwischen Nutzen und möglichen negativen Auswirkungen anhand von Beispielen darlegen. Weiterhin soll eine Methodik zur ganzheitlichen Bewertung von digitalen Anwendungen vorgestellt werden, die die Digitalisierung vor dem Hintergrund der Ziele nachhaltiger Entwicklung spiegelt.

2. Kernaussagen

- Wir befinden uns bereits mitten in einem sich zunehmend beschleunigendem Digitalisierungsprozess, und dies in vielen Wirtschaftsbereichen.

- Die Digitalisierung bietet erheblichen Nutzen für den Gassektor und ist Enabler der Energiewende.
- Es bestehen z. T. aber erhebliche Spannungsfelder bei der Anwendung digitaler Produkte und Dienstleistungen, deren frühzeitige Betrachtung wichtig ist, um das Nutzenversprechen realisieren zu können.
- Die multikriterielle Analyse von digitalen Anwendungen kann helfen, Spannungsfelder zu identifizieren und Anpassungsvorschläge zu entwickeln.

2.1 Wir befinden uns bereits mitten in einem sich zunehmend beschleunigendem Digitalisierungsprozess

Die Digitalisierung ist längst gelebte Praxis. Jeden Tag werden Milliarden an „digitalen“ Handlungen ausgeführt. Beispielsweise wurden schon 2016 täglich 207 Mrd. E-Mails verschickt, 8,8 Mrd. YouTube Videos angesehen und 36 Mio. Amazonkäufe getätigt [1]. Bereits genutzte Anwendungsbeispiele im Gassektor werden beispielsweise in [2] präsentiert.

Die Geschwindigkeit, mit der neue Anwendungen entwickelt und etabliert werden, beschleunigt sich dabei zunehmend. Was aber, so die Fragestellung dieses Artikels, ist im Energie- und Gassektor zu erwarten und wie können die Entwicklungsmöglichkeiten zielgerichtet genutzt werden.

2.2 Die Digitalisierung bietet erheblichen Nutzen und ist Enabler der Energiewende

Die Digitalisierung kann generell als ein Enabler nachhaltiger Entwicklung gesehen werden. Im Energie- und Gassektor bietet die Digitalisierung erheblichen Nutzen, insbesondere in den in **Bild 1** dargestellten und in den folgenden erläuterten sechs Bereichen (vgl. [3, 4]) :

■ **Verbesserung der Systemstabilität / Netzsteuerbarkeit**

Durch Erhöhung der Dichte und Verfügbarkeit an Netzzustandsdaten- und Regelpunkten kann die Netzsteuerung sowie die Fehleridentifizierung und -behebung verbessert werden.

■ **Umwelt- / Klimaschutz (Reduktion des Ressourcenverbrauchs & der Emissionen)**

Die Sektorenkopplung mit Hilfe von Power-to-X-Technologien (u. a. Power-to-Gas - PtG) ermöglicht das Anbieten von Flexibilitätsoptionen für das Stromnetz und die effektive Nutzung von „Überschussstrom“ [5, 6]. Voraussetzung hierfür ist das Vorhandensein und der Austausch von Zustandsinformation des Gas- und Stromnetzes. Hierfür ist eine weitere Digitalisierung der Mess- und Automatisierungsinfrastruktur in beiden Netzen notwendig. Weiterhin kann durch Nutzung des Gasnetzpuffers („dynamische Druckfahrweise“) eine vermehrte Aufnahme von Biogas und synthetischen Gasen (aus PtG) erzielt werden. Durch smarte Brennwertverfolgung im Verteilnetz, basierend auf digitalen Anwendungen, kann außerdem eine Minimierung/ Abschaffung des Konfektionierungsaufwandes von Biogasen erreicht werden [7].

■ **Senken der Kosten durch Prozesseffizienzpotenziale**

Die Digitalisierung bietet in vielfacher Hinsicht Möglichkeiten um Prozesse zu automatisieren, zu optimieren und Effizienzen zu heben. Neben der smarten Brennwertverfolgung sind insbesondere Optimierungen der Kundenprozesse (Ablesen, Kundenbetreuung), der Wartungsprozesse (zustandsbasierte Instandhaltung durch Big Data und Advanced Analytics, Drohneninspektion, Fehlerlokalisierung durch Datenanalyse) und der Strategie- und Investitionsentscheidungen

Verbesserung Systemstabilität / Netzsteuerbarkeit	<ul style="list-style-type: none"> • Verbesserte Netzsteuerbarkeit durch hohe Dichte an Netzzustandsdaten- und Regelpunkten und Verfügbarkeit digitaler Informationen • Höhere Netzverfügbarkeit durch optimierte Fehleridentifizierung/-behebung
Umwelt- / Klimaschutz (Reduktion des Ressourcenverbrauchs & der Emissionen)	<ul style="list-style-type: none"> • Sektorenkopplung durch Power to X-Technologien, gestützt durch weitere Digitalisierung der Mess- und Automatisierungsinfrastruktur, ermöglichen Flexibilitätsoptionen für das Stromnetz und somit die Nutzung von „Überschussstromerzeugung“ • Nutzung des Gasnetzpuffers (dynamische Druckfahrweise“) zur vermehrten Aufnahme von Biogas oder SNG aus PtG • Minimierung/ Abschaffung der Konfektionierung durch smarte Brennwertverfolgung
Senken der Kosten durch Prozesseffizienzen	<ul style="list-style-type: none"> • Optimierte Kundenprozesse (Ablesen, Kundenbetreuung) • Smarte Software basierte Brennwertverfolgung für genaue Abrechnung • Zustandsbasierte Instandhaltung (durch Advanced Analytics und Big Data) • Optimierte Monitoring- und Wartungsprozesse (Drohneninspektion, Fehlerlokalisierung durch Datenanalyse) • Optimierte Investitionsentscheidungen (durch Advanced Analytics und Big Data)
Erfüllen von Kunden-Bedürfnissen	<ul style="list-style-type: none"> • Mehr Transparenz über Energieverbrauch/ -kosten • Direkte Kommunikation mit Anbieter
Steigerung des Umsatzes	<ul style="list-style-type: none"> • Neue Geschäftsmodelle (Smart Home, Data Mining) • Energie im Rahmen von Kundenlösung, nicht als Commodity

Bild 1: Nutzen der Digitalisierung im Gassektor (eigene Darstellung)

Bild 2: Spannungsfelder der Digitalisierung im Energiesektor (eigene Darstellung)



dungsprozess (Analysen basierend auf Big Data und Advanced Analytics) möglich.

■ **Erfüllen von Bedürfnissen der Industrie und der Gesellschaft**

Kundenprozesse können nicht nur effizienter gestaltet werden, sondern gleichzeitig stärker auf die konkreten Kundenbedürfnisse ausgerichtet werden. So ermöglicht die Digitalisierung beispielsweise mehr Transparenz über Energieverbrauch und -kosten sowie neue direktere Kommunikationskanäle zwischen Anbieter und Kunden. Das gilt über Blockchainanwendungen auch bezüglich des direkten Austausches zwischen dezentralen Erzeugern und Verbrauchern.

■ **Steigerung des Umsatzes**

Neue Produkte und Services wie etwa im Bereich Smart Home Applications sind möglich. Gleichzeitig ergeben sich auch komplett neue Geschäftsmodelle, wie etwa die Analyse, Nutzung und Weitergabe (unter Einhaltung geltender Verordnungen) von Daten oder der Betrieb von Plattformen mit Dienstleistungsangeboten jenseits des klassischen Energiegeschäftes.

Insbesondere durch die Ausweitung der konventionellen Gas-Wertschöpfungskette durch Power-to-X-Technologien, ermöglicht durch digitale Datenverfügbarkeit und Steuermöglichkeiten, kann der Anteil „grüner Gase“ erhöht und Treibhausgasemissionen eingespart werden [5, 8]. Die Digitalisierung ist also ein Enabler der Energiewende [9].

Weiterhin kann die Digitalisierung über digitale Signalen oder Blockchainanwendungen dazu beitragen, ge-

sicherte Informationen über Qualität, Zusammensetzung und Herkunft von Rohstoffen und Produkten allgemein sowie Gasen im speziellen bereit zu stellen. Bezogen auf Produkte kann durch die Verfügbarkeit dieser Informationen und die Weitergabe entlang des Produktlebenszyklus der Anteil an wiederverwertbaren Materialien gesteigert werden. Die Digitalisierung ist also auch ein Enabler der Circular Economy [10]. Über die eingesparten Primärmaterialien trägt auch dies zur Energiewende bei.

2.3 Spannungsfelder der Digitalisierung

Neben den zahlreichen Nutzen ergeben sich jedoch auch neue Spannungsfelder zwischen der Digitalisierung und vor allem den Anforderungen einer nachhaltigen Entwicklung. Die frühzeitige Analyse der Spannungsfelder ist von großer Wichtigkeit, um potenzielle Hindernisse zu identifizieren und Lösungsoptionen auszuarbeiten. Die Spannungsfelder können in die vier Kategorien Sicherheit, Ökonomie, Gesellschaft und Ökologie eingeordnet werden. **Bild 2** bietet eine knappe Übersicht der wichtigsten Spannungsfelder.

2.3.1 Beispiel Spannungsfeld Sicherheit – „Smart Pipeline“: „Prozess- & Zustandsüberwachung“ vs. „Cyber Security Bedrohungen“

Während in den Transportleitungen die Automatisierung (auch getrieben durch die Digitalisierung) bereits recht weit vorangeschritten ist, besteht insbesondere in den Verteilnetzen noch ein erhebliches Automatisierungspotenzial (Projekt GuStav [7]). Hier bietet die Digitalisierung

Möglichkeiten, wie etwa zur kontinuierlichen Zustandsüberwachung durch ein Vielzahl an Messstellen, die Fernsteuerbarkeit von Regelanlagen und die smarte Brennwertverfolgung [11, 12]. Neben den Kosteneinsparungen kann so der Status der Netze deutlich besser und vor allem kontinuierlich überwacht, Fehler wie Leckagen schneller identifiziert und lokalisiert und notwendige Steuerungseingriffe schneller vollzogen werden [12].

Für die digitale Automatisierung ist Voraussetzung, dass Mess- und Steuereinheiten mit Software ausgestattet sind und eine Kommunikationsverbindung, z. B. über das Internet zur Leitwarte haben. In der Konsequenz bieten sich hierdurch zahlreiche Angriffspunkte. Als Teil der kritischen Infrastruktur sind Gasnetze nicht nur der Cyber-Kriminalität ausgesetzt, sondern potenzielle auch strategisch-militärischen Angriffen [13, 14]. Ein konkreter erfolgreicher Angriff auf Gasnetzbetreiber bzw. einen datenverarbeitenden Drittanbieter in den USA wurde im April 2018 bekannt [15], wenngleich dieser Angriff nicht das Ziel hatte den Betrieb der Pipelines zu beeinflussen. Der erfolgreiche Angriff auf das ukrainische Stromnetz in 2015 zeigt jedoch, wie umfangreich die Auswirkungen auf das Energiesystem sein können [16]. Insgesamt nehmen die Anzahl der Angriffe sowie die Fähigkeit und Entschlossenheit der Angreifer zu [14].

Sowohl die Nutzen als auch potenzielle negative Auswirkungen sind in ihrer Wirkweise oft komplex und somit schwer zu identifizieren bzw. zu quantifizieren. Eine hinreichende Analyse und Bewertung der Nutzen und Risiken ist in jedem Fall Voraussetzung für die erfolgreiche Ausschöpfung der Möglichkeiten der Digitalisierung.

2.3.2 Beispiel Spannungsfeld Ökologie – Blockchainanwendung zur Einbindung von PtG & Biogas: „Einbindung Erneuerbarer Energieträger“ vs. „Energie- & Ressourcenaufwand“

Die Blockchain ermöglicht die direkte automatisierte und manipulationssichere Kommunikation zwischen Akteuren (auch Geräten) in der Energie- und Gaswertschöpfungskette und darüber hinaus. Auch kleine Transaktionen können durch Wegfall der zentralen Koordination und Authentifizierung wirtschaftlich und sicher durchgeführt werden. Dies kann z. B. genutzt werden, um Qualitätsnachweise zu erbringen, „Grüne“ Gase zu zertifizieren, Peer-2-Peer Handelsplattformen zu verwirklichen und um Power-to-X-Anlagen und deren Flexibilitätsangebote (über Asset Management Plattformen) in den Strom- und Gasmarkt zu integrieren [17, 18]. Insbesondere bieten Blockchainanwendungen die Möglichkeit, PtG-Anlagen flexibel und bedarfsgerecht (z. B. über Preissignale oder Netzanforderungen) zu integrieren. So kann der Anteil an erneuerbaren Energien insgesamt erhöht werden und/oder Netzausbaubedarf reduziert werden [6]. In der Sum-

me trägt dies zur Verringerung der Treibhausgasemissionen und des Ressourcenverbrauchs bei.

Demgegenüber steht jedoch der bei heutigen Blockchainanwendungen je nach Überprüfungsmechanismus (Konsensmechanismus) teils extrem hohe benötigte Rechenaufwand. Dieser führt einerseits zum Ausbau von Servern und somit zu Ressourcenaufwand und andererseits zu einem hohen Stromverbrauch [19]. Da die Server dezentral und global lokalisiert sein können, gestaltet sich die Analyse der Auswirkungen hier besonders schwer.

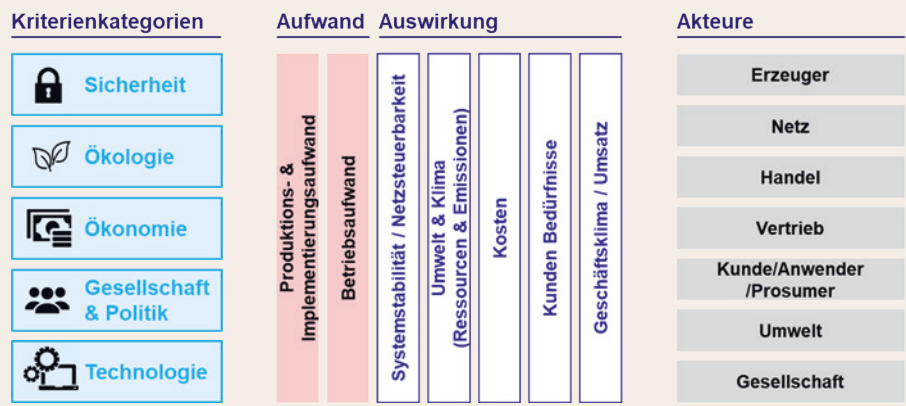
Auch hier sind die Nutzen wie auch potenzielle negative Auswirkungen in ihrer Wirkweise oft komplex und somit schwer zu identifizieren bzw. zu quantifizieren.

2.3.3 Beispiel Spannungsfeld Ökonomie – Automatisierte Steuerung des Gasverteilnetzes: „Zukunftsfähigkeit der Wirtschaft“ vs. „Veränderung des Arbeitsmarktes“

Wie teilweise bereits am Beispiel „Smart Pipeline“ erläutert bietet die Digitalisierung erhebliche Potenziale den Betrieb von Gasnetzen insbesondere von Verteilnetzen zu automatisieren. Die Netzzustandsprognose (NZP), die Netzzustandsidentifikation (NZI), die Durchführung von Steuerungsmaßnahmen und die Überwachung und Inspektion können durch digitale Anwendungen teilweise oder ganz automatisiert werden. Zum Erstellen von Prognosen kommen hierbei z. B. häufig neuronale Netzwerke (bzw. künstliche Intelligenz) zum Einsatz. So können nicht nur die operative Sicherheit erhöht, sondern auch Kosten eingespart werden und Investitionsentscheidungen verbessert werden [8]. Gleichzeitig kann die Entwicklung und Implementierung derartiger Anwendungen selbst ein Geschäftsmodell mit Exportpotenzial darstellen. Durch die Automatisierung kann insgesamt die zukünftige Wettbewerbsfähigkeit gesichert werden. (Im deutschen regulierten Markt ist selbstverständlich bei Kosteneinsparungen die Anreizregulierung zu berücksichtigen.)

Durch die Automatisierung und Zentralisierung von Steuerung und Überwachung entfallen zunehmend „manuelle“ Tätigkeiten wie beispielsweise die physische Inspektion von Gas-Druckregelanlagen und Rohrleitungen sowie Maßnahmen zur Fehlerlokalisierung und Entstörung. Zwar werden durch Automatisierung und Zentralisierung dieser Arbeitsfelder neue Jobs geschaffen, diese setzen aber häufig deutlich andere, meistens höhere Qualifikationen in den Informations- und Kommunikationstechnologien voraus. Betroffene Mitarbeiter können im Idealfall weiter geschult werden oder verlieren im Extremfall die Anstellung. Insgesamt wird das durch Digitalisierung und Automatisierung bedingte Substitutionspotenzial für Monteure, Techniker und Ingenieure im Energiesektor auf 76,6 % geschätzt [20]. Für Unternehmen

Bild 3: Nachhaltigkeitsbewertung digitaler Anwendungen basierend auf multiplen Kriterien (eigene Darstellung)



ergibt sich ebenfalls die Schwierigkeit, qualifizierte Mitarbeiter für die neuen Anforderungsprofile auszubilden bzw. zu rekrutieren. Vergleichbare Effekte können auch an anderer Stelle auftreten. Durch den Einsatz von Blockchainanwendungen können bestimmte Aufgaben ganz oder teilweise wegfallen (im Extremfall des Peer-2-Peer Handel fällt die gesamte Vermittlung zwischen Erzeuger und Verbraucher weg).

Während die positiven Effekte, insbesondere Kosteneinsparungen und Umsatzpotenziale recht gut quantifiziert werden können, sind die sozialen Auswirkungen auf Arbeitnehmer und je nach Größenordnung auf die jeweilige Region deutlich schwerer zu identifizieren bzw. zu quantifizieren.

2.4 Die multikriterielle Analyse von digitalen Anwendungen kann helfen Spannungsfelder zu identifizieren und Anpassungsvorschläge zu entwickeln

Die Analyse und Bewertung von digitalen Anwendungen und deren Spannungsfeldern ist zum Teil sehr komplex. Zum einen sind Bewertungskriterien in den Bereichen Sicherheit, Ökologie, Ökonomie, Gesellschaft sowie Technologie zu berücksichtigen, zum anderen muss jeweils der Aufwand wie auch die positiven und negativen Auswirkungen analysiert werden. Der Aufwand besteht im Wesentlichen aus dem Produktions-, Implementierungs- und Betriebsaufwand. Die Auswirkungen sind äquivalent zu den bereits vorgestellten Nutzen und Spannungsfeldern und können somit natürlich positiver sowie negativer Natur sein. Zusätzlich können verschiedene Blickwinkel der jeweiligen Akteure wie etwa Erzeuger, Netz, Verbraucher/Prosumer, Gesellschaft etc. eingenommen werden und die Gesamteinordnung digitaler Anwendungen beeinflussen. Eine Übersicht über eine mögliche Bewertungsstruktur ist in **Bild 3** dargestellt.

Aufgrund der komplexen und vielschichtigen Kriterien- und Akteursstruktur eignet sich die multikriterielle Analyse (MCA) als Bewertungsgrundlage. Durch die Möglichkeit sowohl quantitative als auch qualitative Aspekte zu integrieren kann die Komplexität der Bewertung auf ein handhabbares Maß reduziert werden, sodass eine transparente Grundlage für eine offene Diskussion geschaffen wird. Gleichzeitig können besonders kritische Einzelaspekte identifiziert werden, um so Lösungsalternativen zu erarbeiten. Weiterhin können durch den Einsatz von Gewichtungsfaktoren verschiedene Akteursperspektiven abgebildet werden. Eine generelle Beschreibung der MCA zur Entscheidungsfindung ist durch [21] erstellt. Die Nutzung der MCA im (erneuerbaren) Energiesektor ist u. a. ausführlich beschrieben in [22]

Bei Bedarf kann eine Lebenszyklusanalyse (Ökobilanz) vorgeschaltet werden, um eine möglichst quantitative Bewertungsgrundlage zu schaffen. Die LCA (Life Cycle Assessment) ist primär ein Tool zur Bewertung der ökologischen Nachhaltigkeit von Produkten/Services basierend auf einer technischen Analyse. Sie kann auf soziale Aspekte (z. B. Aspekte der Teilhabe) ohne weiteres erweitert werden. Weiterhin können auch Implementierungsrisiken und Engpässe in der Wertschöpfungskette identifiziert werden. Hierbei wird ein „Cradle-to-Grave“-Ansatz verfolgt, welcher den gesamten Produktlebenszyklus von Produktion bis Recycling/Deponierung abbildet. Dieser Ansatz ermöglicht eine Bewertung von Faktoren, welche in rein ökonomisch getriebenen Modellen häufig nicht reflektiert sind. Die LCA ist definiert durch die Normen ISO 14040:2006 und ISO 14044:2006 [23, 24].

Weitere Kriterien der MCA, welche nicht durch die Lebenszyklusanalyse abgedeckt werden, sind insbesondere nicht-technische (häufig qualitative) Aspekte. Sie stellen häufig einen erheblichen zusätzlichen Informationsge-

winn dar und können u. a. im Rahmen von Experteninterviews ermittelt werden.

3. Zusammenfassung

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass die Digitalisierung nicht in der Zukunft beginnt, sondern bereits seit Jahrzehnten wirkt, sich jedoch zunehmend beschleunigt. Dabei entstehen auch im Energie- und Gassektor vielfältige Anwendungsmöglichkeiten, die z. T. erheblichen Nutzen für die Branche versprechen. Gleichzeitig entstehen jedoch auch potenzielle negative Auswirkungen und somit Spannungsfelder. Die frühzeitige Analyse dieser Spannungsfelder ist von großer Bedeutung um potenzielle Hindernisse und Risiken zu identifizieren, respektive Anpassungsoptionen zu entwickeln. Da sowohl Nutzen wie auch die potenziellen negativen Auswirkungen in ihrer Wirkweise sehr unterschiedlich sein können, ist die multikriterielle Analyse (MCA) eine geeignete Methodik, um digitale Anwendungen ganzheitlich zu analysieren und zu bewerten. Je nach Bedarf kann die MCA mit einer Lebenszyklusanalyse und/oder Experteninterviews zur Quantifizierung der Bewertungskriterien kombiniert werden.

Literatur

- [1] World Bank Group, World Development Report 2016: Digital Dividends. Washington, DC: World Bank, 2016
- [2] Westnetz, „Digitalisierung, Innovationsmanagement und neue Technologien“, 2018
- [3] dena, „15 Thesen auf dem Weg in die digitale Energiewelt“, März 2017
- [4] AEE, „Metaanalyse Die Digitalisierung der Energiewende“, Aug. 2018
- [5] BDEW, „Zukunftsstrategie Gas“, Mai 2017
- [6] BDEW und DVGW, „Infrastrukturen verbinden - Die Bedeutung der Gasinfrastruktur und von Power-to-Gas für die Energiewende“, Nov. 2018
- [7] „Digitalisierung kompakt“, DVGW, Nr. 4/2017, Apr-2017
- [8] Dahlmann, B. u. a.: „Kombinierte Gas- und Stromnetzautomatisierung auf Verteilnetzebene“, Gwf Gas+ Energie, Nr. 1/201
- [9] Forum für Zukunftsenergien e. V., „Chancen und Herausforderungen durch die Digitalisierung der Wirtschaft“. Schriftenreihe des Kuratoriums, 2016
- [10] Wilts, H. und Berg, H.: „The digital circular economy, Can the digital transformation pave the way for resource-efficient materials cycles“. Apr-2017
- [11] Schley, P.; Rickelt, S.; Hielscher, A.; Fiebig, C. und Schenk, J.: Brennwertverfolgung mit SmartSim, Gwf Gas Energie, Nr. 10/2015, Okt. 201.
- [12] Brauer, H.; Höhler, S. und Karbasian, H.: Dummer Rohre - Intelligente Netze. Sind unsere Rohre wirklich dumm? (Teil 2), Gwf Gas + Energ., Nr. 2/2016, Feb. 2016.
- [13] EECSP, „Cyber Security in the Energy Sector“, Feb. 2017
- [14] World Energy Council, „World Energy Perspectives The road to resilience“, 2016
- [15] „Multiple U.S. Gas Pipeline Firms Affected by Cyberattack“, Industrial Control Systems (ICS) Cyber Security Conference, 04-Apr-2018. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.icscybersecurityconference.com/multiple-u-s-gas-pipeline-firms-affected-by-cyberattack/>. [Zugegriffen: 09-Feb-2019]
- [16] E-ISAC, „Analysis of the Cyber Attack on the Ukrainian Power Grid“, Washington, März 2018.
- [17] BDEW, „Blockchain in der Energiewirtschaft“, BDEW, 2017
- [18] FfE, „Blockchain - Chance zur Transformation der Energiewirtschaft - Anwendungsfälle“, Juni 2018
- [19] Andoni, M. u. a.: Blockchain technology in the energy sector: A systematic review of challenges and opportunities, Renew. Sustain. Energy Rev., Bd. 100, S. 143–174, Feb. 2019
- [20] Roth, I.: Digitalisierung in der Energiewirtschaft Auswirkungen auf Arbeit und Qualifizierung, Hans Böckler Stiftung - Working Paper 73, Mai 2018
- [21] Greco, S.; Ehrgott, M. und Figueira, J. R. (Hrsg.): Multiple Criteria Decision Analysis, Bd. 233. New York, NY: Springer New York, 2016
- [22] Cristóbal, J. R. S.: Multi Criteria Analysis in the Renewable Energy Industry. Springer Science & Business Media, 2012
- [23] ISO/TC 207/SC 5, „ISO-14040:2006 Environmental management — Life cycle assessment — Principles and framework“. 2006
- [24] ISO/TC 207/SC 5, „ISO-14044:2006 Environmental management — Life cycle assessment — Requirements and guidelines“. 2006

Autoren



Paul Weigel

Wuppertal Institut für Klima, Umwelt,
Energie gGmbH |
Wuppertal |
Tel.: +49 15733194980
paul.weigel@rocketmail.com



Prof. Dr.-Ing. Manfred Fishedick

Wuppertal Institut für Klima, Umwelt,
Energie gGmbH |
Wuppertal |
Tel.: +49 202 2492-121 |
manfred.fishedick@wupperinst.org