

Ariadne-Hintergrund

Herausforderungen bei der Digitalisierung der Energieversorgung



Autorinnen und Autoren



» Jonathan Bergsträßer
Fraunhofer-Institut für
Energiewirtschaft und
Energiesystemtechnik

Herausgegeben von

Kopernikus-Projekt Ariadne
Potsdam-Institut für Klimafolgen-
forschung (PIK)
Telegrafenberg A 31
14473 Potsdam

November 2022

Dieses Papier ist mit Stand zu Inhalten und Regulatoriken bis Anfang Oktober 2022 entstanden.

Dieses Papier zitieren:

Jonathan Bergsträßer (2022): Herausforderungen bei der Digitalisierung der Energieversorgung. Kopernikus-Projekt Ariadne, Potsdam.

Kontakt zum Autor: Jonathan Bergsträßer, jonathan.bergstraesser@iee.fraunhofer.de

Die vorliegende Ariadne-Hintergrund wurde von den oben genannten Autorinnen und Autoren des Ariadne-Konsortiums ausgearbeitet. Der Hintergrund spiegelt nicht zwangsläufig die Meinung des gesamten Ariadne-Konsortiums oder des Fördermittegebers wider. Die Inhalte der Ariadne-Publikationen werden im Projekt unabhängig vom Bundesministerium für Bildung und Forschung erstellt.

Inhalt

Zusammenfassung	1
1. Einführung	5
2. Thematische Einführung.....	9
2.1 Angewendete Definition von Digitalisierung für primär stromgekoppelte Sektoren	9
2.2 Energiepolitisches Zieldreieck.....	10
2.3 Infrastruktur für intelligente Messsysteme	11
2.4 Ausbaustand vom intelligenten Messsystem	19
3. Akzeptanz- und Wissenslücke vom iMSys	23
4. Defizit bei Planungs- und Rechtssicherheit.....	26
5. Limitierter Nutzen der aktiven iMSys-Infrastruktur	33
6. Zugriff auf eine kostengünstige und leistungsfähige TK-Infrastruktur	43
7. Fachkräftemangel	46
8. Kritische Cybersicherheitslage	50
9. Fazit mit Ausblick	54
Abkürzungsverzeichnis	57
Literaturangaben	60

Zusammenfassung

Das Smart Meter – bzw. offiziell: intelligentes Messsystem (iMSys) – als technisches Kernelement der deutschen Digitalisierungsstrategie zur Umsetzung der Energiewende ist grundsätzlich keine neue Thematik. Bereits seit 2009 existieren mit zwei Richtlinien auf europäischer Ebene die übergeordneten Rahmenbedingungen zur digitalisierten Erfassung von Strom- und Gasverbräuchen. Im Sinne der damaligen Zielplanung der Richtlinie für den Stromsektor – 2009/72/EG – wären in Deutschland bereits im Jahr 2020 80 % der Messlokationen auf der Verbrauchseite mit einem iMSys ausgestattet. In der Praxis angekommen sind mit dem Stichtag 31.12.2020 jedoch erst rund 0,057 % (Datenbasis: Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen & Bundeskartellamt, 2021a).

Die Hintergründe dieser signifikanten Ausbaulücke sind am Ende sehr vielfältig, wie die nachfolgenden Ausführungen dieses Ariadne-Hintergrunds auf Basis eines Literaturreviews aufzeigen. Folgende Aspekte sind jedoch vor allem im Vergleich zum europäischen Ausland zentral: Deutschland hat frühzeitig das iMSys nicht nur für die digitalgestützte Erfassung von Energie- und Leistungsgrößen mithilfe von Messeinrichtungen vorgesehen, sondern ebenfalls für die steuernde Richtung, um Energieanlagen per Fernzugriff zu beeinflussen. Und dieser Zugriff, als auch die Erfassung, soll höchsten Datenschutzansprüchen genügen, weshalb das weiterhin gültige Prinzip *privacy-by-design* bei der Entwicklung im Jahr 2012 festgelegt worden ist. In diesem Zuge wurde der Designansatz *security-by-design* als komplementäre Richtungsentscheidung ergänzt. Neben der Sicherstellung des Datenschutzes erleichtert dieses prinzipielle Vorgehen den Schutz vom iMSys vor schwerwiegenden Cyberangriffen mit dem Ziel eines großflächigen Stromausfalls, der zum Beispiel infolge manipulierter Zählerwerte oder netzschädlicher Steuerbefehle an dezentrale Energieanlagen eingeleitet werden könnte.

Wie vorausschauend die letzte Designentscheidung war, zeigt die identifizierte Kernherausforderung bei der geplanten Beschleunigung des iMSys-Rollout, eine neue verschärfte Cybersicherheitslage seit dem russischen Angriffskrieg in die Ukraine. Besonders deutlich ist in diesem Zusammenhang die Abhängigkeit von funktionierenden Kommunikationssystemen.

men geworden: Beim Ausfall des Satellitennetzwerks *Viasat KA-SAT* im Kontext des russischen Einmarsches entstand ein Kollateralschaden eines bis zu mehrwöchigem Ausfall der Fernüberwachung von ca. 11 Gigawatt installierter Windenergieleistung in Deutschland.

Mit Bezugnahme auf die zweite Kernaussage vom iMSys, der *privacy-by-design* Richtungsentscheidung, ist grundsätzlich die weitere Kernherausforderung einer Akzeptanz- und Wissenslücke¹ bei Privatmenschen aus Sicht eines verstärkt diskutierten vollständigen Rollouts bereits anteilig adressiert. Hintergrund ist die wichtige Anforderung von möglichen Nutzen eines hohen Datenschutzniveaus bei der Verarbeitung personenbezogener Daten wie Stromverbräuchen.

Der zweite Aspekt, der für private Menschen akzeptanzerhöhend besonders wirksam ist, ist ein vorteilhaftes Kosten-Nutzen-Verhältnis. Dieser Aspekt gilt ebenso für die primär investierende Marktrolle im deutschen Rolloutrahmen, dem Messstellenbetreiber, der für die 8-jährige Eichperiode eines Smart Meter Gateways eine längerfristige Investitionsentscheidung trifft. Jedoch bestehen Defizite an Planungs- und Rechtssicherheit im deutschen Regulierungsrahmen aufgrund von verzögerten Entwicklungszyklen zum Beispiel von technischen Richtlinien (TR), wie der weiterhin ausstehenden vom Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI) TR 03109-5. Zusätzlich ist eine umfangreiche Rechtslage um das iMSys mit dem zentralen Messstellenbetriebsgesetz (MsbG) zu beachten, welches einen mehrstufigen Weiterentwicklungsprozess unter Federführung des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) und BSI vorsieht. Die Unsicherheiten in den regulatorischen Rahmenbedingungen hat das BMWK erkannt und eine signifikante Novellierung vom MsbG für Ende 2022 angekündigt. Erklärter Schwerpunkt der Novellierung ist die Reduktion der Komplexität im derzeitigen Prozess.

Gleichzeitig ist in diesem Umfeld der Nutzen der bereits aktiven iMSys-Infrastruktur hinsichtlich der politisch angestrebten, spartenübergreifenden Nutzung des SMGW als auch des grundsätzlichen Anwendungsfalls der Steuerbarkeit von Energieanlagen beschränkt. Dies liegt vor allem an der ausstehenden BSI TR 03109-5 für sogenannte Systemeinheiten, welche die informationstechnische Sicherheit zum Beispiel von Steuerboxen für die Fernanbindung von dezentralen Energieanlagen wie Wärmepumpen, Elektrofahrzeugen oder Photovoltaikanlagen (PV-Anlagen) sicherstellen soll. Erst wenn hier zertifizierte Lösungen zur

¹ 35 % können sich eher / überhaupt keine Nutzung vorstellen sowie 33 % kennen das iMSys nicht - Stand der zugrundeliegenden, repräsentativen Bitkom e.V. Umfrage von Hartmann (2022): Anfang 2022

Verfügung stehen, können attraktivere Anwendungsfälle wie die anstehende §14a Energiewirtschaftsgesetz Umsetzung zur netzverträglichen Einbindung von Letztverbrauchenden bzw. einzelner Verbrauchseinrichtungen für Verteilnetzbetreiber ermöglicht werden. Darüber hinaus sind dann weitere ökonomisch interessante Anwendungsfälle wie die Direktvermarktung von PV-Anlagen oder die sektorenübergreifende Flexibilisierung von Wärmepumpen oder Elektrofahrzeugen per iMSys möglich, die bisher durch alternative technische Lösungen im Markt bedient werden. Kernaufgabe ist dabei die teuerste Komponente, das Smart Meter Gateway (SMGW), für möglichst viele parallele Anwendungen zu nutzen, wie zum Beispiel die marktliche Flexibilisierung mehrerer Energieanlagen innerhalb einer Liegenschaft an einem Netzanschlusspunkt, als auch die potenziell sektorübergreifende Abrechnung mehrerer Verbrauchenden über ein SMGW (bspw. in der bereits angewandten *1:n-Strategie* für mehrere Stromzähler).

Umso kritischer und ökonomisch attraktiver die Anwendungen tendenziell werden, umso höher steigen tendenziell die Anforderungen an die Telekommunikationsinfrastruktur. Diese sollte im Idealfall möglichst kostengünstig sein um beispielsweise kleinere dezentrale Energieanlagen anzubinden. Gleichzeitig muss sie so leistungsfähig sein, dass höhere Qualitätsanforderungen zum Beispiel in der Regelreserveverbringung oder in der *Intraday*-Vermarktung abgedeckt werden können als auch die Nutzung in kritischen Netzsituationen oder Netzwiederaufbausituationen im Fall eines Blackouts. Für Letzteres ist vor allem entscheidend, dass der bereits eingeleitete schwarzfallfeste 450 MHz Mobilnetzausbau möglichst schnell vonstattengeht. Darüber hinaus sind aber auch weitere Telekommunikationsmöglichkeiten für den Normalbetrieb gefragt, damit an möglichst vielen Standorten eine leistungsfähige und gleichzeitig kostenverträgliche Anbindung möglich ist, da die bisher in der iMSys-Anbindung dominierenden Mobilfunknetze vermutlich nicht überall zur Verfügung stehen werden.

Schlussendlich ist eine weitere Kernherausforderung bei der Beschleunigung vom iMSys-Rollout zu beachten: der Fachkräftemangel. An dieser Stelle ist vor allem der Mangel an Expertinnen und Experten im Informations- und Kommunikationsbereich, als auch das Elektroh Handwerk für die Arbeiten vor Ort ein limitierender Faktor, der sich laut aktueller Prognosen langfristig verstärken wird.

Inwieweit die identifizierten Herausforderungen adressiert werden können, soll in einer aufbauenden Studie *Bericht zu Maßnahmen in der Digitalisierung der Energieversorgung zur Erreichbarkeit der Energiewende-Szenarien* untersucht werden. Nach aktueller Planung ist eine Veröffentlichung Anfang 2023 vorgesehen.

1. Einführung

Digitalisierung als Voraussetzung einer erfolgreichen Energiewende beinhaltet eine Vielzahl an unterschiedlichen Aspekten, vor allem aus Sicht des energiewirtschaftlichen Trends der Sektorenkopplung (Wickert et al., 2022). Zentrales Element aus strategischer Sicht der deutschen Bundesregierung ist das intelligente Messsystem (iMSys)² zur Bewältigung der sektorübergreifenden Energiewende (Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik, 2019b; Die Bundesregierung, 2021). Seit dem 24. Februar 2020, dem offiziellen Startdatum des Rollouts einer deutschen Variante eines iMSys, findet das System Einzug in die Zähler-schränke der Bundesrepublik (Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik, 2020b). Damit soll es sowohl die Digitalisierungsaktivitäten im Stromsektor als auch in den Sektoren Gas, Heiz- und Fernwärme sowie der Wasserwirtschaft voranbringen, um insbesondere Effizienzen innerhalb der jeweiligen Sektoren als auch bei der Kopplung der jeweiligen Sektoren zu erzielen.

Primärer Ausgangspunkt der derzeitigen Entwicklungen ist der Stromsektor mit einem Fokus auf der Niederspannungsebene (NS-Ebene) (Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik, 2019b). In diesem Bereich werden die bisher verwendeten konventionellen Messeinrichtungen (kME), zum Beispiel Ferraris-Zähler, zunehmend durch moderne Messeinrichtungen (mME) ersetzt. Als vollständige Ausbaustufe, dem iMSys, erfolgt eine Erweiterung um ein sogenanntes Smart Meter Gateway (SMGW). Das SMGW fungiert hier primär als Sicherheitsanker und Kommunikationsplattform, um eine sichere Anbindung insbesondere von potenziell spartenübergreifenden Messeinrichtungen, als auch von Fernanbindungssystemen dezentraler Energieanlagen (DEA) bzw. *controllable local systems* (CLS), dem abstrakten Synonym im iMSys-Umfeld, zu ermöglichen. (Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik, 2020c)

Inwieweit diese neue Infrastruktur als *Herz* der offiziellen, sektorübergreifenden Digitalisierungsstrategie im Energiesektor bereits die energiewirtschaftlichen Ziele fördert, wird in diesem Ariadne Hintergrundpapier tiefergehender per Literaturreview beleuchtet (Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik, 2019b). Auf diesen Erkenntnissen aufbauend

² Eine weitere übliche, analoge Bezeichnung vom iMSys ist das Smart Meter. In diesem Bericht wird jedoch die offizielle Bezeichnung des iMSys verwendet.

wird betrachtet, welche Herausforderungen sich beim weiteren iMSys-Rollout ergeben, damit sich die Potenziale dieser Kernkomponente in der energiewirtschaftlichen Praxis entfalten. Inhaltlicher Schwerpunkt soll an dieser Stelle die Sektorenkopplung sein, die mit den Ausprägungen von *power-to-X* (PtX) in Kombination mit direkter Elektrifizierung eine zentrale Rolle in der Dekarbonisierung der unterschiedlichen Sektoren wie Mobilität oder Wärme spielen wird. Erkennbar ist dies in der jeweiligen hohen oder sehr hohen Ausprägung der verschiedenen Sektorenkopplungsansätze in den unterschiedlichen Szenarien vom Ariadne-Report *Deutschland auf dem Weg zur Klimaneutralität 2045* (Luderer et al., 2021).

Als Resultat dieser Analyse haben sich sechs Kernherausforderungen hervorgehoben, deren Hintergründe jeweils in einem Kapitel näher beschrieben sind. Als Leitbild bei der Identifizierung diente das *energiepolitische Zieldreieck* aus Umweltverträglichkeit, Versorgungssicherheit und Wirtschaftlichkeit (Schmidt et al., 2019) (Kurzeinführung in Kapitel 2). Jede identifizierte Kernherausforderung ist – mit Ausnahme der Ersten – mit mindestens einer dieser energiepolitischen Schwerpunktziele verknüpft.

Die erste Kernherausforderung knüpft über das Zieldreieck hinaus an eine grundsätzliche Notwendigkeit für den Einsatz von neuen technischen Ansätzen an: der gesellschaftlichen / sozialen Akzeptanz (Hannes Gaschnig & Thomas Göllinger, 2019; Josef Schubert et al., 2015). Mit dem derzeitigen Fokus des iMSys-Rollout auf die Niederspannungsebene des Stromnetzes kommen vor allem private Endkunden als Erstes mit dem System in Berührung. Jedoch ist das System einem Drittel einer repräsentativen Befragung vom Bitkom e.V. von Anfang 2022 (Hartmann, 2022) weiterhin nicht bekannt, wobei positiv zu vermerken ist, dass dieser Wert seit dem offiziellen Rolloutstart geringer geworden ist. Damals lieferten noch 42 % diese Antwort. Darüber hinaus können sich 35 % eine Nutzung (eher) nicht vorstellen³. Mit dieser einleitenden Zustandsaufnahme ergibt sich die erste Kernherausforderung, einer Akzeptanz- und Wissenslücke zum intelligenten Messsystem, die detaillierter in Kapitel 3 beschrieben ist.

Darüber hinaus wird das iMSys nicht nur im Endkundenbereich eingesetzt, respektive ist ein Einsatz geplant, sondern auch für größere Letztverbraucher, beispielsweise mit registrierender Leistungsmessung (RLM) mit einem Jahresstromverbrauch von über 100.000 Kilowatt-

³ Interesse bedeutet jedoch nicht, dass auch tatsächlich gehandelt wird Appelrath et al. (2012).

stunden (kWh) oder Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG)-Anlagen, wie Freiflächen-Photovoltaikanlagen (PV) oder Windenergieanlagen (WEA), die unter anderem im Mittelspannungsnetz (MS-Netz) eingeschlossen sind (Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik, 2020c; Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz, 2022b). Zukünftig sollen auch diese Einrichtungen außerhalb der Niederspannung über das iMSys für unterschiedliche Zwecke angebunden sein (Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik, 2020c; Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz, 2022b). Für die betroffenen Akteure sind vor allem Planungs- und Rechtssicherheit von großer Bedeutung, vor allem wenn in den Betrachtungskreis die primär ausführende Marktrolle des Messstellenbetreibers (MSB) vom Rollout mit eingezogen wird. Die MSB gehen mit einem iMSys eine Investition von acht Jahren ein, welche der Eichperiode des Systems entspricht. Mit den weiterhin vorherrschenden Unsicherheiten existiert die zweite Kernherausforderung, die einen signifikanten Einfluss auf die weitere Verbreitung des intelligenten Messsystems hat. Ursprung der herausfordernden Situation ist eine Reihe von Ereignissen in der bisherigen Historie vom iMSys-Rollout, auf die in Kapitel 4 im Detail eingegangen wird.

Mit den Verzögerungen der Randbedingungen ist die dritte Kernherausforderung eng verknüpft – der derzeitige Nutzen der aktiven iMSys-Infrastruktur ist als limitiert einzuschätzen. Vor allem aufgrund des Fehlens der technischen Richtlinie (TR) 03109-5 vom Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI) ist eine Vielzahl an netz- und marktdienlichen Anwendungsfällen nicht rechtskonform lösbar (Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik, 2022a). Nichtsdestotrotz sind die technischen Möglichkeiten in der Regel bereits vorhanden, die bisher jedoch nicht zum Zuge kommen können. Einen Überblick hierüber bietet Kapitel 5. Gleichzeitig wird ein Schlaglicht darauf geworfen, inwieweit alternative Lösungen bereits im Markt vorhanden sind und damit gegebenenfalls Migrationsthemen aufkommen lassen.

In Kapitel 6 liegt der Schwerpunkt auf einer entscheidenden Grundvoraussetzung für ökonomisch attraktivere Flexibilitätsanwendungsfälle, die eine zentrale Komponente besitzen, und gleichzeitig (sehr) hohe Anforderungen an die Telekommunikationsanbindung (TK-Anbindung) stellen. Exemplarisch seien hier die Regelreserve (RR)-Erbringung oder die *Intra-day*-Flexibilitätsvermarktung von dezentralen Energieanlagen genannt. Aktuell ist die Anbindung von fernauslesbaren Messsystemen stark auf Mobilfunknetze angewiesen (Bundes-

netzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen & Bundeskartellamt, 2021b). Allerdings ist für eine breite Nutzung vom iMSys unter anderem die häufig fehlende Mobilfunkabdeckung im Kellerbereich der Niederspannung zu beachten (Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen, 2022b; Gesellschaft für Energie und Klimaschutz Schleswig-Holstein GmbH, 2021; Sörries et al., 2018). Eine bereits verfolgte Lösungsoption ist hier das 450 Megahertz (MHz) Band (Breuer, 2021; Wissner et al., 2020), dieses steht bisher jedoch nicht deutschlandweit zur Verfügung, sondern ist derzeit erst im Aufbau (450connect GmbH, 2022b; Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen, 2022b).

Neben den technischen, ökonomischen und regulatorischen Voraussetzungen ist die Digitalisierung mit dem intelligenten Messsystem, als ein zentraler Baustein, darauf angewiesen ins Feld zu gelangen – bei gleichzeitiger Gewährleistung eines sicheren und zuverlässigen Betriebs der iMSys-Infrastruktur. Für die Installation von Hardware als auch für die softwareseitige Entwicklung der unterschiedlichen Infrastrukturkomponenten sind für die vielfältigen Aufgaben Fachkräfte, Expert:innen und Spezialist:innen gefragt. Wie in Kapitel 7 dargestellt, ist ebenfalls die Energieversorgung von dem Mangel der entsprechenden Berufe betroffen, der sich nachteilig auf den Rollout auswirken kann.

Abschließend ist spätestens mit der neuen Sicherheitslage in Europa eine signifikante und akute Bedrohung aufgrund von gezielten Cyberangriffen für die Digitalisierung der Energieversorgung eingetreten, die primär das energiewirtschaftliche Ziel der Versorgungssicherheit in Frage stellt. Das iMSys ist mit dem Entwicklungsansatz *security-by-design* grundsätzlich vorteilhaft aufgestellt (Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik, 2021b). Zu beachten ist jedoch, dass das iMSys in eine bestehende Systemlandschaft integriert wird und daher nicht isoliert zu betrachten ist (s. Kapitel 8). (Bartusiak et al., 2021)

2. Thematische Einführung

2.1 *Angewendete Definition von Digitalisierung für primär stromgekoppelte Sektoren*

Eine allgemeingültige Definition von Digitalisierung im Bereich des primär stromgekoppelten Energiesystems existiert nicht, sodass für die durchgeführte Analyse die thematisch passende Variante von Mayer et al. übernommen wird (Mayer & Brunekreeft, 2020). Diese ist umfassender als die ursprüngliche Definition, die sich vor allem auf die Umwandlung von analogen in digitale Signale bzw. die digitale Darstellung von Informationen und Daten bezieht (Mayer & Brunekreeft, 2020). Im Detail sieht der systematischere Ansatz von Mayer et al. folgende Definition von Digitalisierung vor (Mayer & Brunekreeft, S. 22):

Digitalisierung des elektrischen Energiesystems beschreibt das anhaltende Fortschreiten der auf Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) beruhenden Vernetzung von Anwendungen, Prozessen, Akteuren und von mit Sensorik und Aktorik versehenen Geräten oder Objekten der physikalischen Welt. Darüber hinaus beinhaltet Digitalisierung das Erfassen, Verarbeiten, Austauschen und Analysieren von Informationen und Daten in allen Wertschöpfungsstufen und über verschiedene Wertschöpfungsstufen der Stromversorgung hinweg. Sie unterstützt dabei, Wissen zu generieren, Entscheidungen zu treffen und darauf aufbauend Handlungen wie Steuereingriffe abzuleiten. Die daraus resultierenden neu entstehenden Abläufe finden insbesondere automatisiert, unterstützt durch Mechanismen der künstlichen Intelligenz [...] sowie lernender Systeme, statt.

Abweichend von dieser Definition sollen die **nachfolgenden Betrachtungen** ebenfalls die **stromgekoppelten Sektoren**, vor allem den Mobilitätssektor mit einem zunehmenden Anteil von batteriegetriebenen Elektrokraftfahrzeugen (E-Kfz)⁴, als auch den Wärmesektor, der in diesem Kontext insbesondere Wärmepumpen betrifft, einschließen (Luderer et al., 2021).

⁴ Es wird von einem Elektrokraftfahrzeug ausgegangen, falls folgende Bedingung nach § 9(2) Kraftfahrzeugsteuergesetz (KraftStG 2002) erfüllt wird: Fahrzeuge mit Antrieb ausschließlich durch Elektromotoren, die ganz oder überwiegend aus mechanischen oder elektrochemischen Energiespeichern oder aus emissionsfrei betriebenen Energiewandlern gespeist werden.

2.2 *Energiepolitisches Zieldreieck*

Grundsätzlich ist die Energiepolitik in einem Konflikt aus verschiedenen untergelagerten Zielen geprägt, wobei sich grundsätzlich drei Kernziele auf der bisherigen Literatur als sogenanntes *energiepolitisches Zieldreieck* herauskristallisiert haben (visualisiert in Abbildung 1) (Hannes Gaschnig & Thomas Göllinger, 2019; Schmidt et al., 2019):

- 1) *Versorgungssicherheit* – dieses Ziel fordert eine *ununterbrochene Befriedigung der Energienachfrage*, die seit der ursprünglichen Fassung von Energiewirtschaftsgesetz (EnWG) von 1935 fester Bestandteil der energiepolitischen Diskussion ist (Hannes Gaschnig & Thomas Göllinger, 2019, S. 4).
- 2) *Wirtschaftlichkeit* – Wunsch einer möglichst kostengünstigsten Versorgung mit Energie, die ebenfalls seit 1935 explizit im EnWG verankert ist.
- 3) *Umweltverträglichkeit* – dieses Ziel ist erst seit 1998 im EnWG verankert als Resultat der Anfang der 1990er Jahre stattgefundenen Hochphase der deutschen Umweltbewegung.

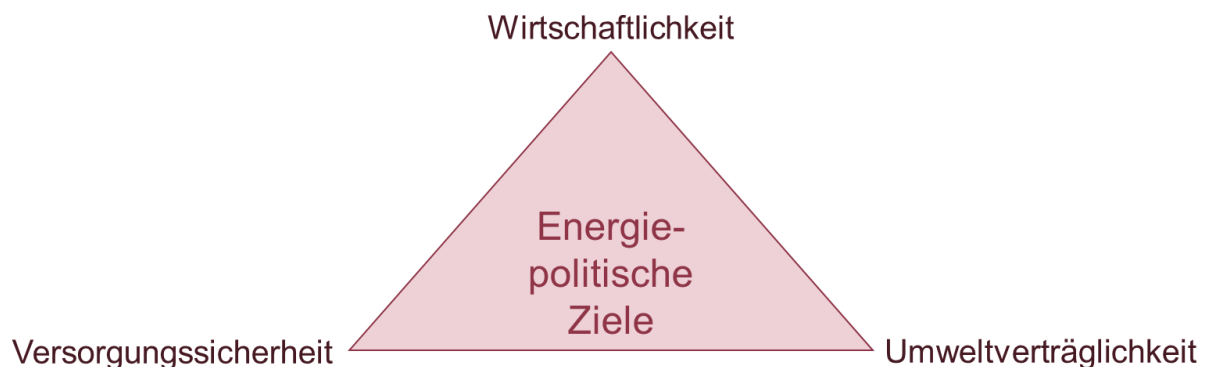


Abbildung 1: Energiepolitisches Dreieck. Quelle: Auf Basis von Abb. 1 in (Schmidt et al., 2019)

Grundsätzlich befinden sich energiepolitische Maßnahmen nicht immer im Einklang mit allen drei Dimensionen, sondern potenziell in einem Zielkonflikt, sodass ebenfalls der Begriff des *energiepolitischen Trilemmas* in der Literatur verwendet wird (Schmidt et al., 2019). Als Konsequenz sind energiepolitische Maßnahme in der Regel ein Kompromiss zwischen diesen drei Zielen (Schmidt et al., 2019). Dies betrifft an dieser Stelle ebenfalls den Fokus dieses Hintergrundpapiers, die Digitalisierung im Bereich der Sektorenkopplung, die mit einer

Vielzahl an Akteuren, Sektoren und strukturellen, verfahrenstechnischen sowie technologischen Verknüpfungen oder auch Inkompatibilitäten zu großen Herausforderungen bei der Umsetzung der Energiewende führt (Hannes Gaschnig & Thomas Göllinger, 2019).

2.3 Infrastruktur für intelligente Messsysteme

Kernelement der in Entwicklung befindlichen Adaptation einer deutschen Variante der *advanced metering infrastructure*⁵ ist das Smart-Meter-Gateway (Kroener et al., 2020). Das SMGW soll verschiedenen Marktakteuren den gesicherten Zugriff insbesondere auf die lokal verbundenen Zähler und die dezentralen Energieanlagen ermöglichen. DEA bzw. *controllable local systems* können beispielsweise eine E-Kfz-Ladeeinrichtung oder Wärmepumpe sein. Die von außen zugreifenden Marktakteure nehmen eine Funktionsrolle als externer Marktteilnehmer (EMT) an. Diese Funktionsrolle kann von verschiedenen Markttrollen, wie Netzbetreibern, Lieferanten, RR-Anbietern oder Direktvermarktern bzw. einem Dienstleister im Auftrag dieser Akteure, eingenommen werden, als auch von einem Messstellenbetreiber (MSB), der die Zählerdaten in sein Messdatenmanagement (MDM), zum Beispiel für Abrechnungszwecke, überführt. (Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik, 2021b; Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik & Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, 2021b)

Darüber hinaus existiert die zentrale Funktionsrolle des Gateway Administrator (GWA). Die Übernahme dieser Rolle ist im Rahmen des Messstellenbetriebs vom MSB auszugestalten. Exemplarische Varianten sind der vollständige Eigenbetrieb oder die Beauftragung eines Dienstleisters zur Wahrnehmung der Rolle. Ein GWA muss hierbei vor allem folgende Kernaufgabe leisten: Den sicheren technischen Betrieb vom iMSys. Hierunter fällt insbesondere *die Installation, die Inbetriebnahme, de[r] Betrieb und die Wartung des SMGW* (Bogensperger et al., 2018, S. 28). (Bogensperger et al., 2018; González & Blenk, 2020)

Zentral für die Regulierung des Rollouts und die Definition der Anforderungen an das iMSys ist das Messstellenbetriebsgesetz (MsbG)⁶. § 27 MsbG legt die Behördenzuständigkeit für

⁵ In diesem Ariadne-Hintergrund wird die deutsche Übersetzungsvariante der iMSys-Infrastruktur verwendet.

⁶ Gesetz über den Messstellenbetrieb und die Datenkommunikation in intelligenten Energienetzen (Messstellenbetriebsgesetz), ausgefertigt am 29.08.2016), zuletzt geändert durch Artikel 10 des Gesetzes vom 16. Juli 2021.

das Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI) zur federführenden Erarbeitung von technischen Anforderungen fest. Kernergebnis der bisherigen Aktivitäten ist die technische Richtlinie BSI TR-03109, welche gemeinsam im Branchendialog in Form des *Ausschuss Gateway-Standardisierung*⁷ unter Beteiligung vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK, ehemals BMWi), der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB), der Bundesnetzagentur (BNetzA) und dem Bundesdatenschutzbeauftragten nach einem Stufenmodell weiterentwickelt wird. Die aktuelle, aktive Umsetzungsstufe ist die Stufe 2, wobei Stufe 3 derzeit angegangen wird (Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik & Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, 2021b).

Nach dem ersten Teil der TR, der BSI TR-03109-1, ist das SMGW in drei übergeordnete Kommunikationsnetzwerke eingebunden (Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik, 2021b, 2021d):

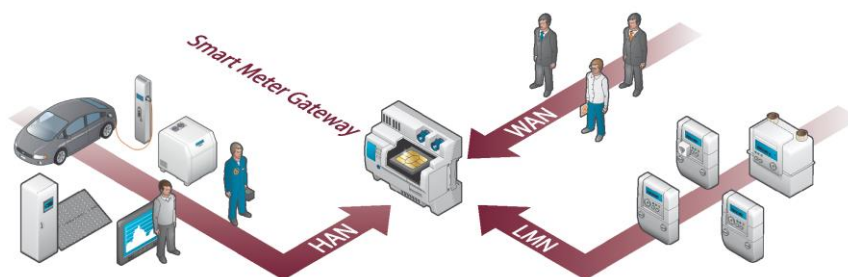


Abbildung 2: „Einbettung des SMGW in seine Einsatzumgebung“. Quelle: Abbildung in (Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik, 2020a)

1. *Home Area Network*: In diesem Netzwerk findet unter anderem i) die Kommunikation zwischen einer CLS und dem SMGW, ii) der Zugriff auf abrechnungsrelevante Messwerte durch Letztverbraucher sowie iii) der Wartungszugriff von Serviceteams auf das SMGW statt.

⁷ Der Ausschuss Gateway-Standardisierung wird nach §27(1) MsbG vom BMWK geleitet.

2. *Local Metrological Network (LMN)*: Dieses Netzwerk wird für die Kommunikation zwischen dem SMGW und der einzelnen mME genutzt. Abgesehen von der Kernsparte Strom kann ein potenzieller Zugriff spartenübergreifend passieren. Hier sind die Sparte Gas, Wasser und Wärme/Kälte primär im Fokus.
3. *Wide Area Network (WAN)*: Über dieses Netzwerk wird die gesicherte Kommunikation zwischen GWA bzw. EMT und dem SMGW, als auch der Fernzugriff der Systemeinheiten-Betreiber abgewickelt.

Für die unterschiedlichen Nutzungen, wie zum Beispiel dem Flexibilitätsabruf von DEA, der Nutzbarmachung von sonstigen Betriebsdaten eines Anschlussnutzers, als auch für die Verwendung von energiewirtschaftlich relevanten Daten, ist vor allem der Zugriff über das WAN von hohem Interesse. Über die *Smart Metering Public Key Infrastruktur (SM-PKI)*⁸ kann für diesen Zweck eine sichere Kommunikation mit dem SMGW aufgebaut werden. Bei dem Zugriff wird zwischen zwei Arten eines EMT unterschieden: Auf der einen Seite dem passiven EMT (pEMT), der Daten nur direkt aus dem SMGW abrufen (bspw. Messwerte aus dem LMN). Und auf der anderen Seite dem aktiven EMT, dieser greift auf den CLS-(Proxy)-Kanal zu, um beispielsweise eine CLS-Komponente fernzusteuern. Dabei können ebenfalls CLS-Datenpunkte im Sinne einer Fernauslesung abgerufen werden, damit die gewünschte Fernwirkung verifiziert werden kann. (Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik, 2019a)

Insgesamt ist die BSI TR-03109 unterteilt in insgesamt sechs Teile, von denen drei Teile eine gesonderte Testspezifikation besitzen bzw. sich derzeit in Erstellung befindet (Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik, 2021c, 2022a):

⁸ Die SM-PKI-Infrastruktur ist dreistufig aufgebaut: Erste Stufe: Stamm-/Wurzelzertifikat im Besitz vom BSI, zweite Stufe: Zertifikate von Sub-Zertifizierungsstellen, und die dritte Stufe sind Nutzer-spezifische Zertifikate für den einzelnen EMT, GWA, SMGW und SMGW-Hersteller (weitere Details siehe BSI TR-03109-4 Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (2017)).



Abbildung 3: Struktur und aktueller Stand der technischen Richtlinie BSI TR-03109. Quelle: Angepasste Abbildung 2.1 in (Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik, 2021c).

- *TR-03109-1 Technische Richtlinie – Anforderungen an die Interoperabilität der Kommunikationseinheit eines intelligenten Messsystems (Version 1.1, 17.09.2021)*

Diese TR definiert die Anforderungen an die Kommunikationseinheit vom iMSys, dem SMGW hinsichtlich Interoperabilität und Funktionalitäten. Ergänzt wird dieser Teil um das Common Criteria (CC)-Schutzprofil (*Protection Profile*, PP) BSI-CC-PP-0073-2014 in der Version 1.3 aus dem Jahr 2014 (Kreutzmann & Vollmer, 2014). Das CC-Schutzprofil vom BSI stellt die sicherheitsbezogenen Anforderungen an das SMGW. Zu dieser TR existiert bisher keine öffentliche Testspezifikation, da sich das Dokument noch in Bearbeitung befindet.
- *TR-03109-2 Technische Richtlinie – Anforderungen an die Interoperabilität des Sicherheitsmoduls (Version 1.1, 15.12.2021)*

Zusätzlich zum SMGW existiert im Detail ein angeschlossenes Sicherheitsmodul⁹,

⁹ Wird wie üblich in den nachfolgenden Erläuterungen als Teil des SMGW gesehen, da beide typischerweise in der gleichen Baugruppe direkt verbunden sind.

welches direkt an das SMGW angeschlossen ist. Es dient als Sicherheitsanker aufgrund der Möglichkeit gesichert kryptographische Schlüssel abzulegen sowie passende Routinen anzubieten. Vergleichbar zum SMGW existiert ein zugehöriges CC-Schutzprofil des BSI zur Festlegung von sicherheitstechnischen Anforderungen. In diesem Fall handelt es sich um das BSI-CC-PP-0077-V2 in der Version 1.03 (Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik, 2014). Im Gegensatz zum Teil 1 existiert eine veröffentlichte Testspezifikation zur TR-03109-2 in der Version 1.0 vom 06.03.2018.

- *TR-03109-3 Technische Richtlinie – Kryptografische Vorgaben für die Infrastruktur von Messsystemen* (Version 1.1, 17.04.2021)

Für die Absicherung der Kommunikation innerhalb der iMSys-Infrastruktur setzt der dritte Teil der TR-03109 die Anforderungen an die zu verwendenden kryptographischen Verfahren und Schlüssellängen.

- *TR-03109-4 Technische Richtlinie – Public Key Infrastruktur für Smart-Meter-Gateways* (Version 1.2.1, 09.08.2017)

Für die Kommunikation zwischen den Teilnehmenden der iMSys-Infrastruktur wird die SM PKI eingesetzt. Das Grundprinzip ist die Nutzung von öffentlichen Schlüsseln, damit die Teilnehmenden wie ein EMT oder ein SMGW sicher sein können, dass sie mit der gewünschten Gegenstelle kommunizieren (adressiertes Schutzziel: Authentizität). Der Wirkbetrieb der SM-PKI ist am 01.03.2015 unter Aufsicht des BSI gestartet. Mit dem initialen Wurzelzertifikat als Vertrauensanker, technisch zur Verfügung gestellt durch die Deutsche Telekom Security GmbH (Deutsche Telekom Security GmbH), ist es Stand Anfang Oktober 2022 12 Sub-Zertifizierungsstellen möglich nutzerspezifische Zertifikate beispielsweise als Dienstleistung für andere EMT zu verteilen (Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik).

- *TR-03109-5 Technische Richtlinie – Anforderungen an weitere Systemeinheiten des intelligenten Messsystems* (offen)

Diese Richtlinie wird sich auf die Anforderungen der drei Varianten von sogenannten *weiteren Systemeinheiten* konzentrieren, wobei die Veröffentlichung weiterhin aussteht (Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik, 2021d):

I. HAN-Kommunikationsadaptereinheit (HKE)

Vom HAN abgeschottete Kommunikation mit Einheiten innerhalb des lokalen

Netzwerks eines Anschlussnehmenden sowie Kommunikation innerhalb des HAN mit dem SMGW sowie daran angeschlossene EMT mithilfe des CLS-Kanals.

II. Steuereinheit (SE)

Die SE dient der Veränderung des Einspeise- oder Bezugsverhaltens von steuerbaren Einrichtungen infolge eines Befehls durch einen aktiven externen Marktteilnehmer (aEMT) unter der Zuhilfenahme des CLS-Kanals. Hierunter kann beispielsweise ein Energiemanagementsystem (EMS), eine (Forum Netztechnik/Netzbetrieb, FNN-)Steuerbox (VDE FNN Netztechnik/Netzbetrieb, 2020) oder ein Modul innerhalb des SMGW fallen. Die Kernfunktionalitäten bezüglich Nutzung vom CLS-Kanal der HKE sind Teil einer SE.

III. Submeter-Einheit (SME)

Eine SME dient der Erfassung von Messwerten und Zählerständen, die nicht direkt per LMN vom SMGW erfasst werden. Eine SME kann potenziell entsprechende Werte speichern und über den CLS-Kanal an einen EMT übermitteln, sodass eine HKE ebenfalls als Teil einer SME verstanden werden kann.

Alle weiteren Systemeinheiten können optional eine zweite WAN-Schnittstelle für nicht energiewirtschaftlich relevante Daten besitzen. Exemplarisch seien Diagnose-daten als Teil der Betriebsführung einer DEA genannt, die zum Beispiel über eine zweite Mobilfunkverbindung übermittelt werden. Falls diese Option vorhanden ist, ist eine Rückwirkung auf das HAN vollständig zu unterbinden. (Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik, 2021d)

Als Ergänzung wird es eine passende Testspezifikation zur BSI TR-03109-5 geben, die jedoch ebenso aktuell nicht öffentlich zur Verfügung steht, da die Bearbeitung durch die Verantwortlichen nicht abgeschlossen ist.

- *TR-03109-6 Technische Richtlinie – Smart-Meter-Gateway-Administration* (Version 1.0, 26.11.2015)

Die Mindestanforderungen an den Betrieb der GWA-Backendsysteme und die Verwaltung der SMGW durch den GWA sind in dieser TR festgelegt. Die betrachteten Anwendungsfälle orientieren sich an der BSI TR-03109-1. Mit Stand Anfang Oktober 2022

sind 45 Unternehmen als GWA gemäß § 25(5) MsbG zertifiziert (Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik).

Auf Basis der oben eingeführten Anforderungen der BSI TR-03109 bildet sich folgende, in Entwicklung befindliche iMSys-Infrastruktur der Entwicklungsstufe 3 aus (Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik, 2021d):

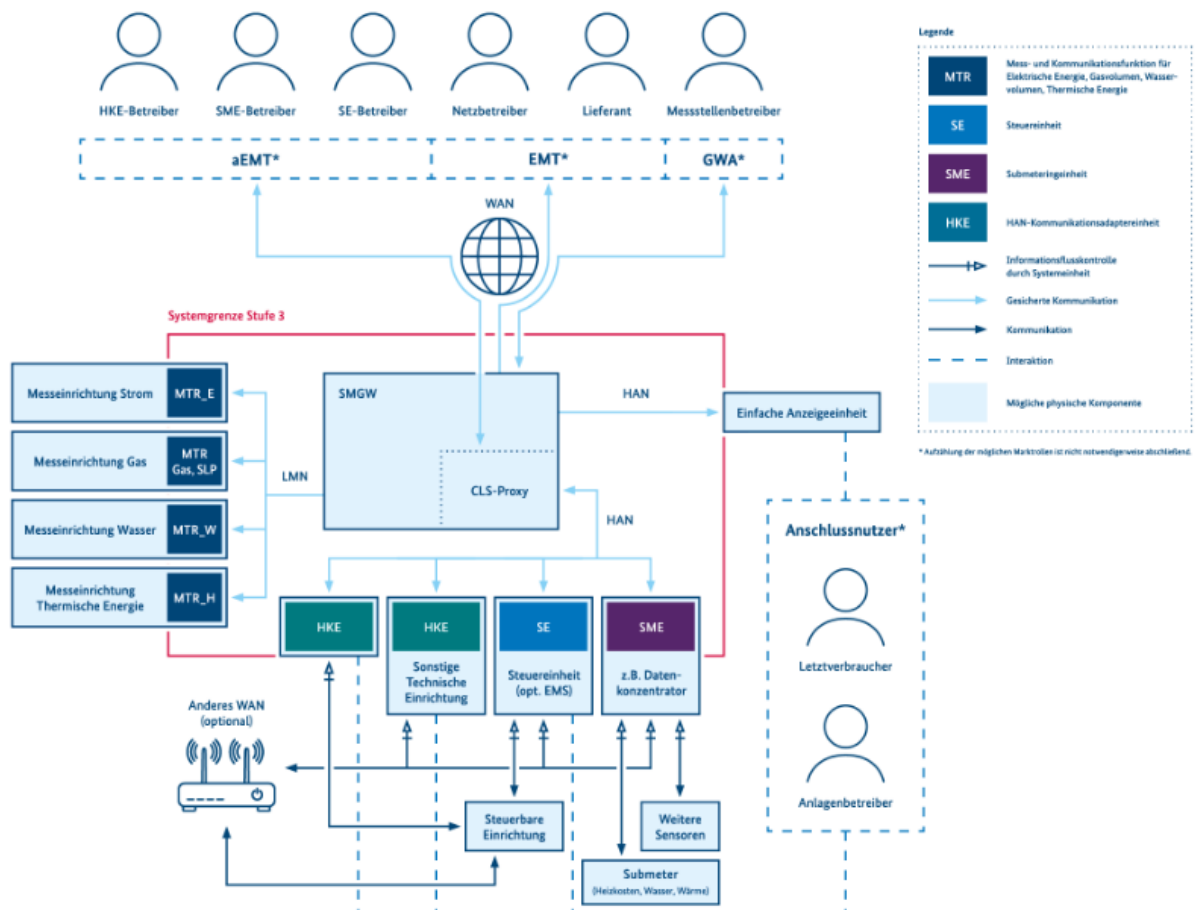


Abbildung 4: Systemübersicht über das iMSys der BSI/BMWK Stufe 3. Quelle: Abbildung 1 in (Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik, 2021d)

Damit die SMGWs eine Überführung in die Praxis vollziehen, sieht das MsbG nach §§ 29-31 vor, den Rollout nach Einbaufällen zu strukturieren (vgl. Abbildung 5). Diesbezüglich schreibt der Rolloutpfad Einbaufälle vor, die aus Perspektive eines grundzuständigen Messstellenbetreibers (gMSB) **verpflichtend** sind oder **optional**, falls die gesetzlich festgelegte Preisobergrenze (POG, in Brutto) für einen gMSB einen wirtschaftlichen Betrieb sinnvoll erscheinen lässt. Die POG gilt hingegen nicht für wettbewerbliche Messstellenbetreiber (wMSB), die von Letztverbrauchenden und Anlagenbetreibenden alternativ zum gMSB für den Messstellenbetrieb beauftragt werden können.



Abbildung 5: Geplanter iMSys-Rollout unterteilt nach Pflichteinbaufällen und optionalen Einbaufällen für grundzuständige Messstellenbetreiber nach §§ 29 – 31 MsbG mit der gesetzlich festgelegten Preisobergrenze in Brutto. Quelle: Abbildung 4 vom BMWi in (Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik, 2020c)

Hinsichtlich der langfristigen Rolloutplanung ist primär § 29 MsbG zu Rate zu ziehen. Hier wird festgelegt, dass alle Messstellen von Letztverbrauchenden und Anlagenbetreibenden (Appelrath et al., 2012) einer ortsfesten Zählstelle bis Ende 2031 mit einer modernen Messeinrichtung von den gMSB auszustatten sind. Ob jeweils ein SMGW zur Bildung eines iMSys ergänzt wird, hängt davon ab, ob ein Pflichtausbau notwendig ist oder die Wirtschaftlichkeit unter Berücksichtigung der POG gegeben ist. Konkret wird diese Anforderung an den Endausbauzustand in § 29(5) MsbG ausgestaltet, in Form einer Mindestausstattungsquote von 95 % der unter die Pflicht fallenden Messstellen bei einem gMSB.

Auf dem Zwischenweg ist bei gMSBn in diesem Kontext § 45(2) MsbG bezüglich des iMSys-Ausbau von zentraler Bedeutung, da mit einer BSI-Feststellung der technischen Eignung spezifischer Einbaufälle, die Pflichtquote von 10 % von zugehörigen Messlokalationen innerhalb von drei Jahren zu erreichen ist. Für die erste, temporär gültige Markterklärung vom 07.02.2020 galt somit der 23.02.2023 als Zieldatum¹⁰, insofern es sich um die nachfolgende Einbaugruppe handelte (Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik, 2020b):

Letztverbrauchende mit

- a) Niederspannungsanschluss und
- b) einem Jahreshöchststromverbrauch von 100.000 kWh ohne registrierende Leistungsmessung sowie
- c) mit fehlender Inanspruchnahme reduzierter Netzentgelte nach § 14a Energiewirtschaftsgesetz (EnWG).

Mit der Rücknahme der Markterklärung vom BSI am 20.05.2022 ist diese Pflicht für gMSB bis zur erneuten Markterklärung der genannten Einbaugruppen hinfällig¹¹. (Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik, 2022d)

2.4 Ausbaustand vom intelligenten Messsystem

Aus allgemeiner Sicht befindet sich die bisherige iMSys-Infrastruktur aktuell noch im Übergangsbereich von der Markteinführungsphase hin zur Wachstumsphase, wie anhand der jährlichen Zubauzahlen in Abbildung 6 erkennbar ist¹². Vor allem der Vergleich mit den notwendigen Zubauzahlen aus Steuerungssicht primär in der Niederspannung, einschließlich relevanter DEA aus Sektorenkopplungssicht, auf Basis des Eckpunktepapiers des ehemaligen BMWi (Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik & Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, 2021a) waren rund 7.200.000 Einbaufälle mit dem Schwerpunkt

¹⁰ Hierbei ist anzumerken, dass aufgrund eines Eilbeschlusses vom Oberverwaltungsgericht von Nordrhein-Westfalen in Münster am 04.03.2021 der Pflichtrollout, für die am Verfahren beteiligten Kläger, zwischenzeitig bereits ausgesetzt worden ist (Az. 21 B 1162/20) Oberverwaltungsgerichts für das Land Nordrhein-Westfalen (2021). Weitere Informationen sind in Kapitel 4 oder z.B. in Weise (2021) zu finden.

¹¹ Bezüglich der Rücknahme der Markterklärung gibt es ebenfalls klagende Unternehmen, die die Entscheidung vom BSI anfechten, sodass für diese die Rücknahme vorerst ausgesetzt ist und somit das Zieldatum 23.02.2023 in den genannten Einbaugruppen weiterhin gilt (Hausheld AG (2022)).

¹² Für das Jahr 2021 liegen bisher keine amtlichen Zahlen vor, sodass ersatzweise eine Industrieschätzung zur Anwendung kommt, die sich jedoch auf eingebaute SMGWs bezieht. Mit der Berücksichtigung vom ggf. zum Einsatz kommenden 1:n-Konzept ist es prinzipiell möglich, dass mehr mME über ein SMGW verbunden sind als nur der einfache 1:1 Ausbau von einem SMGW mit einer mME an einer Messlokation.

Steuerbarkeit – Prosumer mit §14a EnWG, EEG/Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz (KWKG)-Erzeuger 25-100 kW und öffentliche Ladeinfrastruktur < 150 kW – bis 2030 vorgesehen. Aus Sicht des ersten möglichen SMGW-Einbaus seit Anfang 2019 ergibt dies rund 600.000 iMSys pro Jahr um bei einem theoretischen, konstanten Zubau dieses Ziel zu erreichen. Jedoch ist zu beachten, dass dieser Zubau unter Berücksichtigung der neuen, ambitionierteren Dekarbonisierungszielen der neuen Bundesregierung sehr wahrscheinlich zu niedrig ist (Stiftung Umweltenergierecht, 2022).

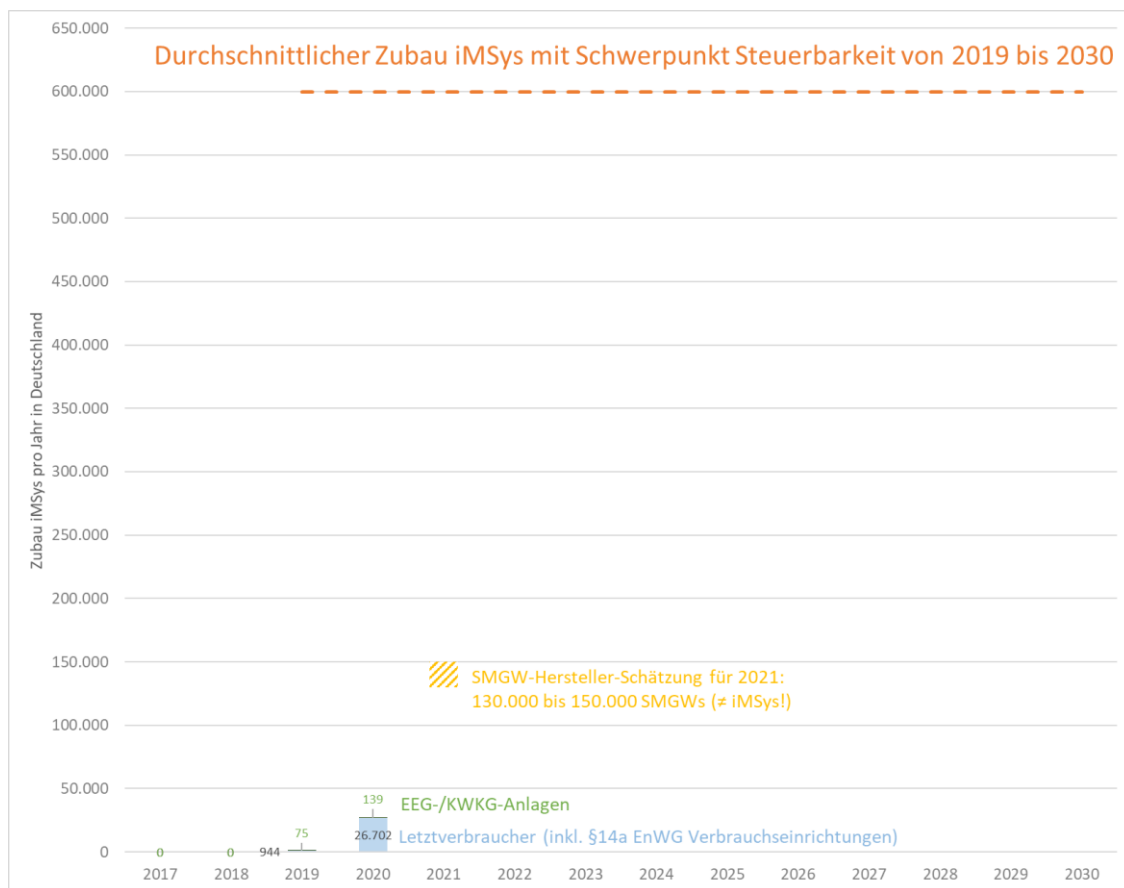


Abbildung 6: Ausbaustand vom intelligenten Messsystem im Stromsektor für die Jahre 2017-2020 auf Basis der Monitoringberichte der BNetzA sowie dem Bundeskartellamt (Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen & Bundeskartellamt, 2017, 2019, 2020, 2021a, 2021b), Einbauzahlen von SMGWs laut eines SMGW-Herstellers für 2021 (VKU Verlag GmbH, 2022a) sowie linearer Zubau an iMSys unter den Annahmen des ehemaligen BMWi mit dem Anwendungsfokus Steuerbarkeit primär in der Niederspannung (Stand: Mai 2021) (Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik & Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, 2021a) – beachten: Zubau entspricht keiner Prognose, sowie niedrigere Zubauraten als unter den aktualisierten Dekarbonisierungspfaden der neuen Bundesregierung (Stiftung Umweltenergierecht, 2022). Quelle: Eigene Darstellung

Einen weiteren informativen Einblick in den aktuellen iMSys-Ausbaustand mit dem Fokus Sektorenkopplung bietet das sogenannte *Mehrspartenmetering* als Teil der *Smart Metering / Sub-Metering* Säule der Digitalisierungsstrategie zur iMSys-Infrastruktur (vgl. Abbildung 4 in (Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik, 2019b)). Dem letzten Monitoringbericht 2021 (Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen & Bundeskartellamt, 2021b) zufolge sind zusätzlich zur Erfassung der primären Sparte Strom MSB nur im einstelligen oder geringem zweistelligen Prozentbereich zusätzlich in anderen Sparten – Gas, Wasser, Heiz- und Fernwärme – mithilfe des SMGW aktiv.

Details sind in der nachfolgenden Abbildung 7 dargestellt:

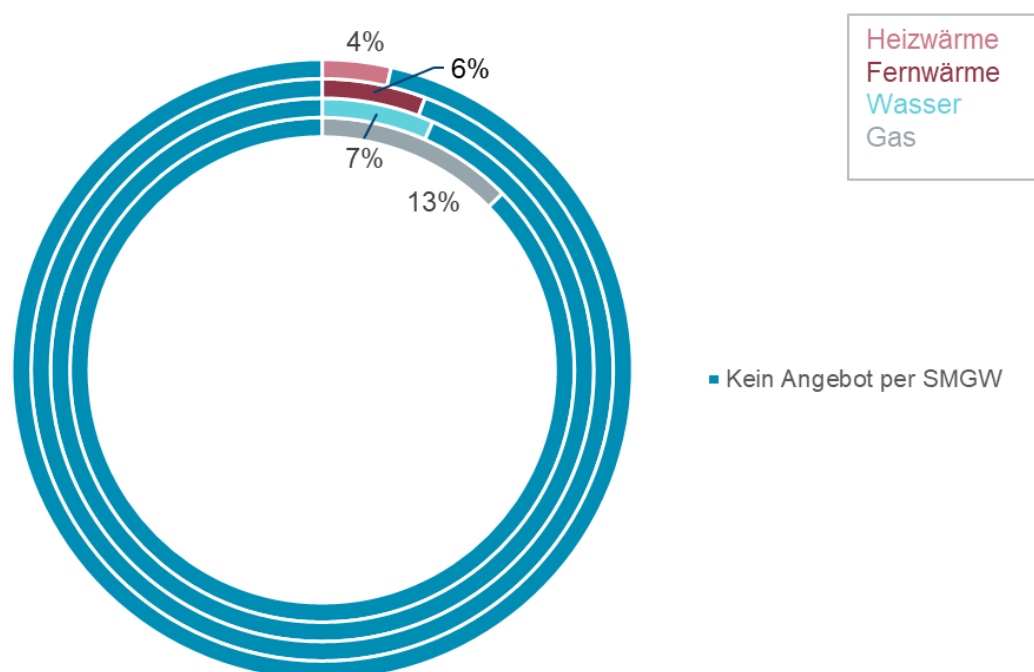


Abbildung 7: Anteil der Messstellenbetreiber, die zusätzlich zur Hauptsparte Strom Metering-Leistungen in den Sparten Gas, Wasser, Heiz- und Fernwärme mithilfe des SMGW anbieten. Quelle: Darstellung auf Basis von Abbildung 133 in (Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen & Bundeskartellamt, 2021b)

Im Zusammenhang des Mehrspartenmetering ist zu beachten, dass ausschließlich mME nach § 20 MsbG im Gasbereich für typischerweise Standardlastprofilkunden (SLP) seit dem 01.01.2017 verbaut werden dürfen, die grundsätzlich per SMGW auslesbar sind. Im zugehörigen RLM-Segment ist abweichend eine Übergangsphase mit acht Jahren Bestandsschutz

gesetzlich vorgesehen. Laut § 20 (2) MsbG ist hier erst ab 01.01.2025 ein Einbau SMGW kompatibler Zähler vorgeschrieben.

Zusätzlich zur Gassparte sind im Bereich der Heizkostenverordnung (HeizkostenV)¹³ ab Dezember 2022 ausschließlich Erfassungsgeräte zu verbauen, die mit einem SMGW sicher und interoperabel kommunizieren können (§ 5 (2) HeizkostenV). Für den nicht-fernauslesbaren Bestand gilt eine Übergangsphase bis Ende 2026 (§ 5 (3) HeizkostenV). Im Fall von nicht SMGW-kompatiblen fernauslesbaren Erfassungsgeräten gilt eine längere Übergangsphase. Nach § 5 (4) HeizkostenV sind diese Bestandszähler bis Ende 2031 auszutauschen.

Darüber hinaus bietet seit dem 01.01.2021 der § 6 MsbG die Möglichkeit für einen Anschlussnehmer (z.B. Vermieter:in) einen MSB per *Bündelangebot* in Anspruch zu nehmen. Dies bedeutet, dass der MSB neben der Stromsparte mindestens in einer weiteren Sparte (Gas, Fern- oder Heizwärme) Messdienstleistungen aller Messlokationen innerhalb einer Liegenschaft (z.B. Mehrfamilienhaus) bereitstellt. Zentrale Bedingung ist hier, dass die bisherigen Betriebskosten nicht ein höheres Niveau einnehmen als beim derzeitigen Messstellenbetrieb der Anschlussnehmenden. Insofern beispielsweise ein MSB die Sparte Heizwärme auswählt, sind § 5 (6) HeizkostenV zufolge bisherige SMGW-kompatible Erfassungsgeräte in die neu zu installierenden SMGWs einzubinden, ansonsten ist die Nutzung optional.

¹³ Verordnung über Heizkostenabrechnung in der Fassung der Bekanntmachung vom 5. Oktober 2009 (BGBl. I S. 3250), die durch Artikel 1 der Verordnung vom 24. November 2021 (BGBl. I S. 4964) geändert worden ist.

3. Akzeptanz- und Wissenslücke vom iMSys

Einen Überblick über den zeitlichen Verlauf der prinzipiellen Akzeptanz und dem Wissensstand zum iMSys liefern vier repräsentative Umfragen vom Bitkom e.V. seit Anfang 2020 (Hartmann, 2022; Paulsen & Schaule, 2021; Streim & Schaule, 2020), dem offiziellen Startjahr des Rollouts. Grundsätzlich ist in Abbildung 8 bereits ein positiver Trend erkennbar, dass das Interesse an einer Nutzung bzw. die Verwendung seit Anfang 2020 zunimmt, und dass der Bekanntheitsgrad wächst. Neben der Nutzung bzw. dem Wunsch hierfür ist vorrangig die Bekanntheit des iMSys zu erhöhen, insbesondere falls zukünftig die Option eines nahezu vollständigen Rollouts angestrebt werden sollte.

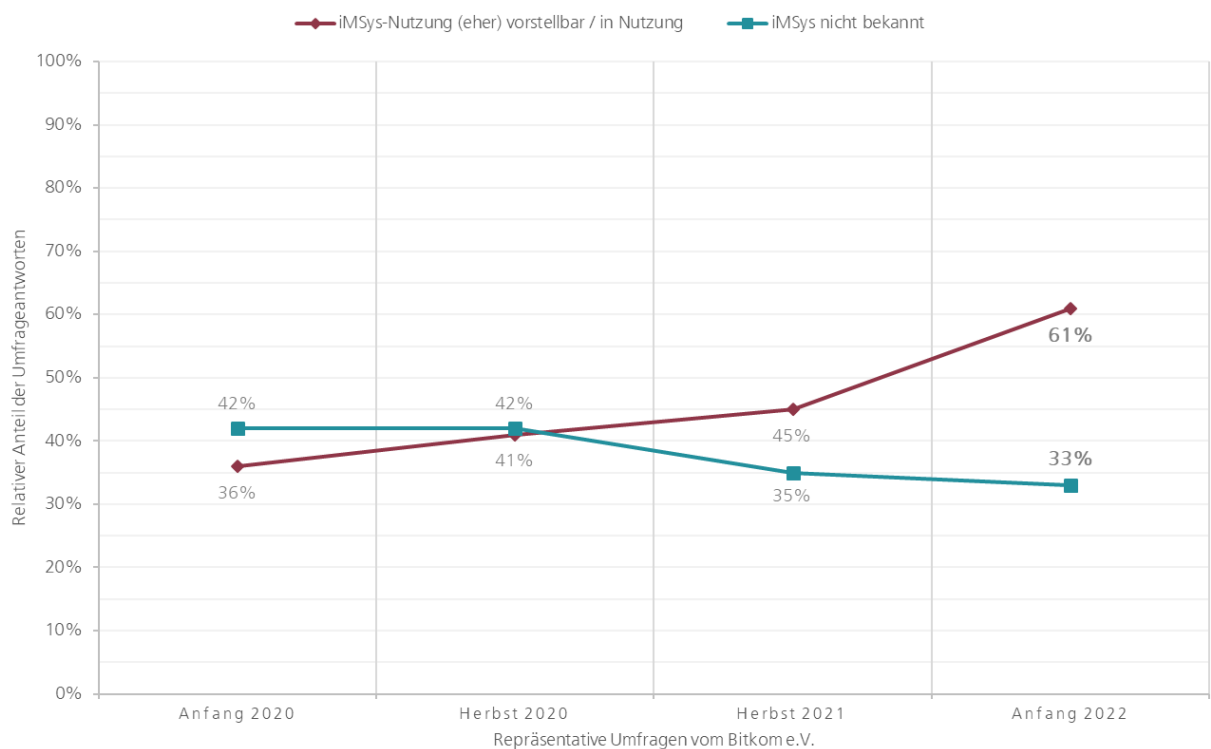


Abbildung 8: Zeitlicher Verlauf der Nutzung bzw. Nutzungsbereitschaft und des Bekanntheitsgrades vom intelligenten Messsystem (Smart Meter) seit Anfang 2020 laut Umfragen des Bitkom e.V. Quelle: Eigene Darstellung, Datenbasis: (Hartmann, 2022; Paulsen & Schaule, 2021; Streim & Schaule, 2020)

Für ein tiefergehendes Verständnis der Themen aus Verbrauchersicht befindet sich nachfolgend eine Übersicht von Faktoren zur Erhöhung der Akzeptanz des iMSys aus (Holl, 2021):

- **Kosteneinsparpotenziale**

Eine Reduktion der Energiekosten wird positiv wahrgenommen und wird als zentral angesehen.

- **Kosten des Systems**

Neben den Einsparmöglichkeiten sind die Kosten für das System sehr relevant und können den Nutzen potenziell relativieren.

- **Sicherstellung des Datenschutzes**

Umso stärker der Datenschutz beachtet wird, desto höherer ist die Akzeptanz. Dieser Einfluss ist im Vergleich besonders wichtig.

- **Bewahrung der Datensicherheit**

Umso sicherer das System ist, umso mehr Vertrauen schenken die Menschen dem iMSys.

- **Umweltaspekte**

Hier können beispielsweise Faktoren wie die allgemeine Unterstützung der Energiewende aufgrund des Einbaus eines iMSys einen positiven Einfluss auf die Akzeptanz besitzen.

- **Vertrauen in die umsetzenden Akteure**

Umso höher das Vertrauen der Menschen in die umsetzenden Akteure, vor allem Energieversorgungsunternehmen, ist, desto höher liegt die Akzeptanz für das iMSys.

- **Verständnis über die iMSys-Technik bei den Nutzenden**

Mit zunehmendem Verständnis der Technik zeigt sich eine höhere Chance der Zustimmung zum System.

Für den letzten Punkt ist weiterhin die bestehende Wissenslücke problematisch. Dabei sollte tiefergehender betrachtet werden, wie die Adressierung der Bevölkerung umzusetzen ist, da (Schneider, 2020) zeigt, dass die Lücken je Geschlecht, Bildungsniveau sowie für Personen mit Energieentscheidungs-Verantwortung¹⁴ unterschiedlich sein können. Zusätzlich zeigt (Schneider, 2020) auf wie wichtig die Informiertheit ist, da die Akteure potenziell von einem Pflichtrollout *überrascht* werden und sich somit eine ablehnende Haltung entwickeln kann.

¹⁴ Dies sind laut Schneider (2020, S. 9) jene Personen, die im Haushalt über Fragen der Strom-, Wärme- und Wasserversorgung entscheiden.

Die genannten Faktoren zur Akzeptanzerhöhung werden in den kommenden Diskussionen wieder aufgegriffen und sind insgesamt bei dem weiteren iMSys-Rollout zu beachten. Zwei sind aus Bevölkerungssicht von höchster Bedeutung: Erstens, ein **vorteilhaftes Kosten-Nutzen-Verhältnis** und Zweitens, die Sicherstellung eines möglichst **hohen Datenschutzniveaus**.

4. Defizit bei Planungs- und Rechtssicherheit

Der rechtliche Ursprung für den konkreten Einsatz offiziell bezeichnetes intelligenten Messsystems ist auf europäischer Ebene zu finden. Es handelt sich um zwei Richtlinien der europäischen Gemeinschaft (EG) aus dem Jahr 2009 für den Strom- bzw. Gassektor: EU-Richtlinie 2009/72/EG bzw. 2009/73/EG. Beide waren Bestandteil des dritten Energiepakets der Europäischen Union (EU). Erstere sah im Fall des Stromsektors eine iMSys-Mindestausstattung von 80 % der Verbrauchenden bis 2020 vor, wobei eine Kosten-Nutzen-Analyse je EU-Mitgliedsstaat ein positives Ergebnis erbringen musste. Andernfalls konnten die Mitgliedsländer eine eigene Feinausgestaltung vornehmen. Für den Gassektor galt die gleiche Herangehensweise. Zieldatum der zwei Sektorenuntersuchungen war der 03.09.2012. Erwähnenswert an dieser Stelle ist außerdem die zentrale Forderung der Interoperabilität der iMSys-Lösungen unter Aufsicht der nationalen Behörden (begrenzt auf die Hoheitsgebiete der Mitgliedsstaaten). Nichtsdestotrotz gab es bereits mit der Richtlinie 2006/32/EG¹⁵ einen ersten Anstoß für die Entwicklung sogenannter *intelligenter Verbrauchsmesssysteme*, die vor allem die Reduktion von Energieverbräuchen durch mehr Verbrauchertransparenz anvisierte. Mit den zwei oben genannten Richtlinien wurde dann der Grundstein gelegt für eine *aktive Beteiligung der Verbrauche[nden] am Stromversorgungsmarkt bzw. Gasversorgungsmarkt*. (Weise, 2021)

Auf Grundlage dieser EU-Richtlinien hat Deutschland die Novelle des EnWG in 2008 als auch 2011 angestoßen, welche jedoch aufgrund von fehlenden Treibern von marktlicher und regulatorischer Seite nicht den Rollout vorangetrieben haben. Ebenfalls hat sich die offizielle Kosten-Nutzen-Analyse in Deutschland verzögert, da diese erst im Juli 2013 veröffentlicht worden ist. Das Ergebnis der durchgeführten, bis zum Jahr 2032 reichenden, Analyse ist der heutige Weg eines anteilig marktgetriebenen Rollouts durch die Marktrolle MSB. Folglich hat sich Deutschland im Gegensatz zu anderen europäischen Ländern nicht zum verpflichtenden Voll-Rollout entschieden. Am Ende der längeren gesellschaftlichen und politischen Diskussionen lieferte das Analyseresultat weiterhin die Grundlage für die Einführung des MsbG im August 2016 als Teil des Gesetzes zur Digitalisierung der Energiewende (GDEW). (Di Nucci, 2014; Greveler, 2016; Weise, 2021)

¹⁵ Die grundlegenden Anforderungen an die zu verwendete Messtechnik ist auf europäischer Ebene zum ersten Mal in der Richtlinie 2004/22/EG festgehalten.

Bis zum Inkrafttreten des GDEW bzw. MsbG sind bereits einige relevante Zwischenschritte beim deutschen Rollout des iMSys angegangen worden. Im September 2010 hat das damalige BMWi bereits das BSI beauftragt, einheitliche technischen Richtlinien als auch Schutzprofile für das iMSys zu entwickeln, so dass alle Marktakteure den gleichen Sicherheitsstandards unterworfen sind. Die rechtliche Grundlage für diese Entwicklung zog im Juni 2011 in das EnWG ein als auch die Definition verschiedener Marktrolle wie *Letztverbraucher* oder *Gateway Administrator*. Mit den ersten Aktivitäten zum rechtskonformen als auch sicheren Einsatzes eines iMSys kam bereits im Jahr 2010 das Thema Datenschutz stark in der Diskussion auf. Einerseits kamen zum Beispiel Sicherheitslücken in den Vereinigten Staaten von Amerika zum Vorschein, die ferngesteuert potenziell Stromausfälle per dort eingesetzter Smart-Meter-Lösungen verursachen konnten, eine Funktionalität, welche in Deutschland aber nicht umgesetzt werden soll. Andererseits fanden wissenschaftliche Untersuchungen heraus, dass Aussagen über das private Verhalten auf Basis höher aufgelöster Zählerdaten wie beispielsweise im 15-Minuten-Raster möglich sind. (Greveler, 2016)

Die Thematik der Wahrung des Datenschutzes blieb in den folgenden Jahren weiterhin ein relevanter Faktor bei der seit 2011 gemeinsam in Entwicklung befindlichen IT-Standards vom BSI, Bundesdatenbeauftragten für Datenschutz sowie der PTB, welche zu diesem Zeitpunkt noch optional in der Anwendung waren. Im Jahr 2012 waren es vor allem die Diskussionen um die Empfehlungen zur Einführung intelligenter Messsysteme der Europäischen Kommission aus dem März 2012, die u.a. die sichere und datenschutzkonforme Verarbeitung und Übertragung von Daten per iMSys forderten. Im Nachgang fanden aus Datenschutzsicht intensive Diskussionen auf europäischer als auch nationaler Ebene von Datenschützer:innen statt. Kernergebnis in Deutschland war die bis heute gültige Vorgabe des Prinzips *privacy-by-design* für die weitere Ausgestaltung der iMSys-Infrastruktur.

Mit der bereits erwähnten Veröffentlichung der Kosten-Nutzen-Analyse in 2013 begann eine verstärkte Diskussion auf, inwieweit das iMSys einen volkswirtschaftlichen Nutzen mit den datenschutzrechtlichen Einschränkungen der Datennutzung und Auflösung hat, wenn eine Nutzung außerhalb der automatisierten Abrechnung erzielt werden soll. Hintergrund ist zum Beispiel die geringe Auflösung von Messwerten aus Netzsicht, die wesentlich höher als auch schneller übertragen werden soll. Darüber hinaus sind relevante IT-Sicherheitslücken

in Deutschland sowie in Europa im Bereich von Smart Meter-Infrastrukturen zu Tage getreten, wodurch die Daten von Nutzenden kompromittiert werden konnten, als auch Zählerdaten manipulierbar waren. (Greveler, 2016)

Endergebnis dieser Diskussionen ist das GDEW aus 2016, welches vor allem ein 15-Minuten-Raster bei Stromzählerdaten als Standard vorsieht, die jedoch nur bei bestimmten, optionalen Anwendungsfällen außerhalb des SMGW an berechtigte Akteure in dieser Auflösung übermittelt werden können. Gleichzeitig wurden die damaligen IT-Sicherheitsvorfälle als Anlass genommen, die BSI Schutzprofile und technischen Richtlinien der iMSys-Infrastruktur als verpflichtend festzulegen. Beide Grundsätze sind weiterhin im aktuellen gültigen MsbG zu finden. (Greveler, 2016)

Zusätzlich zum Datenschutz und der Datensicherheit, ist das Ziel der Interoperabilität ein relevantes Ziel innerhalb des Designs der iMSys-Infrastruktur vom MsbG, dass sich in den detaillierten Spezifikationen vor allem der BSI TR-03109 niederschlägt. Aufgrund der vielen potenziellen Anwendungsfälle des intelligenten Messsystems (vgl. Tabelle 1 in Kapitel 5) ist das Zusammenspiel der beteiligten Komponenten und zugehörigen Akteure alles andere als trivial. Bei diesen Aktivitäten sind eine Vielzahl an weiteren Richtlinien wie u.a. *PTB-A 50.8*, *FNN Hinweisen* (z.B. *Lastenheft Smart-Meter-Gateway, Funktionale Merkmale*; *Lastenheft Leitungsgebundene LMN-Protokolle* und *Lastenheft Basiszähler, Funktionale Merkmale*) zu beachten. Zu diesen spezifischen iMSys-Vorgaben kommen zusätzlich marktliche Anforderungen, die insbesondere im Bereich der Marktkommunikation (MaKo), wie *MaKo 2022*, verpflichtend einzuhalten sind. Erst nach der erfolgreichen Umsetzung aller dieser Anforderungen ist es möglich, dass ein iMSys eichrechtlich konform Messpunkte spartenübergreifend erfassen, verarbeiten und übertragen kann, als auch der notwendige Einbau der beteiligten Baugruppen im Zählerschrank unproblematisch vonstattengeht. (Beschlusskammer 6, 2020; Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen, 2022a; Förderer et al., 2019)

Nach der Grundidee vom MsbG sollte die Interoperabilität vor allem über das iMSys abgebildet werden. Möglich wäre dies über den mittlerweile zurückgestellten Ansatz der *sternförmigen Kommunikation* gewesen, bei dem die energiewirtschaftlich relevanten Daten nur im SMGW vorliegen und dort von den berechtigten Marktakteuren als EMT abgeholt worden wären. Aufgrund der Komplexität der Umsetzung aller notwendigen Funktionalitäten, vor

allem im SMGW, wird derzeit als Übergangslösung bis Ende 2025 verfolgt die gesamte iMSys-Infrastruktur mit den beteiligten Backendsystemen (wie bspw. dem MDM beim MSB) zur Abdeckung der Anwendungsfälle einzuschließen. Da dieser angepasste Ansatz im ursprünglichen MsbG nicht in dieser Form berücksichtigt war, musste in der Folge vom Oberverwaltungsgericht Münster (OVG)-Urteil vom März 2021 eine Novellierung des MsbG im Juli 2021 erfolgen, sodass der derzeit gestufte Ansatz im Rahmen des BSI/BMWK-Standardisierungsprozess seitdem vermutlich rechtskonform ist. (Weise, 2021)

Gleichzeitig ist der grundlegende Ansatz von *security-by-design* ausgehend von der Herstellung des zentralen Sicherheitsankers SMGW bis zum Einbau eine weitere große Herausforderung innerhalb der Zertifizierung eines SMGW gewesen. Zentrales Ergebnis dieser Aktivitäten ist die sogenannte *sichere Lieferkette*, bei der sichergestellt werden soll, dass eine Manipulation der Geräte durch physikalischen Zugriff weitestgehend ausgeschlossen wird. Nichtsdestotrotz waren die zu entwickelnden Lösungsansätze ein signifikanter Verschiebungsfaktor bis zum ersten zertifizierten SMGW am 12.12.2018. Dies ergibt eine Zeitspanne von fast neun Jahren seit dem ersten möglichen Einbau eines intelligenten Messsystems im Sinne der ersten relevanten EnWG 2008 Novelle mit dem Startdatum 01.01.2010. Der erste offizielle Einbautermin unter dem Pflichtrolloutregime war aufgrund der Mindestzertifizierung von drei SMGWs jedoch erst ab dem 20.02.2020 möglich, mehr als drei Jahre nach den Planungen des MsbG. (Weise & Großjohann, 2018)

Die neue Bundesregierung hat die grundsätzliche Herausforderung der erheblichen zeitlichen Verzögerung des Rollouts erkannt und mit ihrem Koalitionsvertrag vom 24.11.2021 ein neues Kapitel aufgeschlagen. Dieser fordert explizit eine Beschleunigung vom Rollout (Die Bundesregierung, 2021, S. 61):

Den Rollout intelligenter Messsysteme als Voraussetzung für Smart Grids werden wir unter Gewährleistung des Datenschutzes und der IT-Sicherheit erheblich beschleunigen.

Wie kompliziert dies mit der aktuellen Gesetzgebung ist, zeigt der Rückzug der von 2020 verfüigten Markterklärung am 20.05.2022 mit der Kombination einer neuen Allgemeinverfügung zur gleichzeitigen Sicherstellung der Rechtsgültigkeit des (kommenden) Einsatzes der bisherigen, zertifizierten vier SMGWs ab dem 23.05.2022. Nichtsdestotrotz fehlt mit dem Aussetzen der Markterklärung die 10 % Pflichtrolloutquote in den relevanten Einbaugrup-

pen, sodass alle bisher nicht aktiven gMSB derzeit keinen gesetzlichen Anreiz zur Umsetzung besitzen. Nach einer PwC-Befragung betrifft dies vermutlich rund die Hälfte aller gMSB, die zum Stand Januar/Februar 2022 kein iMSys im operativen Einsatz vorweisen konnten¹⁶ (Kurtz et al., 2022). Dieser Umstand soll jedoch zeitnah mit einer erneuerten Marktanalyse sowie Markterklärung behoben werden, die aufgrund der erfolgreichen Re-Zertifizierung von drei SMGWs bis zum 31.01.2022 nach der erneuerten BSI TR-03109 in der Version 1.1 (vom 17.09.2021), zur Adressierung der im OVG-Urteil genannten Interoperabilitätsdefizite, prinzipiell möglich ist. (Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik, 2022c, 2022d; Großjohann, 2022)

Grundsätzlich stehen damit mittlerweile die wichtigsten regulatorischen Bedingungen fest, damit eine Fernauslesung von Zählerständen in der Breite prinzipiell möglich ist. Jedoch dreht sich das intelligente Messsystem nicht nur um das Thema Zählerwesen im Niederspannungsbereich, sondern auch um das zentrale Thema der Steuerung von DEA, womit wesentlich größere Potenziale eines volkswirtschaftlichen Nutzens verbunden sind. In diesem Bereich fehlen jedoch entscheidende rechtliche Rahmenbedingungen:

- Grundsätzlich ist mit der letzten §14a EnWG Novelle ein neuer rechtlicher Rahmen festgelegt, damit die Bundesnetzagentur nach dem Rückzug des *Steuerebare-Verbrauchseinrichtungen-Gesetz* (SteuVerG) Entwurfs im Januar 2021 eine neue regulatorische Grundlage schaffen kann, damit die Verteilnetzbetreiber (VNB) in der Niederspannung die Flexibilisierung insbesondere von Wärmepumpen und E-Kfz effektiver umsetzen können (BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V., 2021; Wagner et al., 2022). Hintergrund ist die Vermeidung von Netzüberlastungen bzw. -ausbaumaßnahmen (A. Schoen et al., 2021; Wagner et al., 2022). An diesem Punkt hat die Bundesnetzagentur vor, bereits im Herbst einen Entwurf zu veröffentlichen, sodass pünktlich zum 01.01.2023 die Umsetzung beginnen kann (Dierks, 2022c). Möglicher technischer Kernaspekt der Regulierung könnte die bereits im SteuVerG-Entwurf diskutierte primäre Vorgabe von Leistungswerten am Netzan-schlusspunkt sein, als Ersatz für den derzeitigen Zugriff von Netzbetreibern auf einzelne Verbrauchseinrichtungen.

¹⁶ Dies betrifft vor allem kleinere gMSB, da von den befragten 42 Unternehmen 24 % mit weniger als 100.000 Messlokationen bisher keinen Rollout-Start vollzogen haben, während größere gMSB mit mehr als 100.000 Messlokationen bereits zu 71 % mit dem Rollout gestartet sind (Kurtz et al. (2022)).

- Die hoheitliche Klärung der Definition von energiewirtschaftlich relevanten Daten (ERD) im Zuge von Mess- und Steuerungsvorgängen nach §§ 21, 22 MsbG ist bisher noch offen. Sie ist jedoch wichtig, da damit die verpflichtende Nutzung vom iMSys verknüpft ist und viele CLS-Anwendungen an dieser Stelle Klarheit benötigen inwieweit bspw. bei Optimierungen von Energiemanagementsystemen (EMS) Informationen über das SMGW übermittelt werden müssen, oder alternativ über die, i.d.R. bereits bestehende, zweite WAN-Anbindung übermittelt werden können (als sogenannte *betriebliche Daten*). Eine erste detailliertere Orientierung mit spartenübergreifenden Aspekten liefert das Positionspapier der BNetzA vom 11.08.2022. (Beschlusskammer 6, 2022b)
- Für die Abstimmung der unterschiedlichen Steuerungsbedürfnisse, vor allem netzdienliche gegenüber marktlichen Eingriffen in den Fahrplan von DEA bzw. dem Leistungsverhalten von Letztverbrauchenden am Netzanschlusspunkt, benötigt es rechtskonforme und standardisierte Abstimmungsprozesse, vor allem aus MaKo-Sicht, die bestenfalls für beliebige Anwendungsfälle anwendbar ist. An dieser Stelle existiert mit dem vorgeschlagenen *Universalbestellprozess* inklusive neuem *Netzlokations-Identifikationskennzeichen*, zur Adressierung von Netzanschlusspunkten aus VNB-Sicht, der BNetzA bereits ein erster Vorschlag. Dieser wird bereits mit der Branche im Rahmen eines ersten Konsultationsverfahren öffentlich diskutiert.
Derzeit sieht die Umsetzung eine Koordination von nicht *zeitkritischen Entscheidungen* durch den zuständigen MSB einer zugehörigen Messlokation einer DEA vor. Zeitkritische Entscheidungen sind hingegen ohne die Beteiligung von Backend-Systemen umzusetzen. Zeitplan des Universalbestellprozesses ist nach ersten BNetzA-Planungen die Prozessverfügbarkeit ab dem 01.01.2023. (Beschlusskammer 6; Beschlusskammer 6, 2022a)
- Mit dem Fehlen der offiziellen BSI TR-03109-5 sowie der zugehörigen Testrichtlinie ist keine Zertifizierung von Systemeinheiten wie einer Steuereinheit möglich. Dieser Umstand muss parallel zu den genannten MaKo-Themen angegangen werden, ansonsten ist kein rechtskonformer Zugriff auf DEA per iMSys-Infrastruktur möglich.

Mit den oben genannten, ausgewählten Ausführungen sollte deutlich geworden sein, dass der bisherige Rollout von relevanten Zwischenereignissen geprägt war. Dass diese nicht fol-

genlos sind, zeigt sich beispielhaft am (ggf. temporären) Rückzug von mehreren SMGW-Herstellern aus dem BSI Zertifizierungsverfahren in diesem Sommer (Dierks, 2022b). Zudem sieht das BMWK die bisherige iMSys-Entwicklung grundsätzlich kritisch, wie die Aussage von Staatssekretär Graichen auf dem 20-jährigen Jubiläum des Bundesverband Neue Energiewirtschaft (bne) im September 2022 aufzeigt (Bundesverband Neue Energiewirtschaft e.V.):

In den vergangenen Jahren haben wir bei Smart Metern praktisch nichts geschafft. Da brauchen wir einen Neustart. Ein Smart Meter-Gesetz steht auf unserer Agenda.

Das genannte Gesetz soll laut den Ausführungen des Staatssekretärs bis Ende 2022 als Teil eines *Entbürokratisierungspaket[s]* entwickelt sein (Bundesverband Neue Energiewirtschaft e.V.).

Dass trotz dieser Feststellung grundsätzlich die iMSys-Infrastruktur bei einer Vielzahl an Anwendungsfällen heute als auch prinzipiell von Nutzen sein kann, zeigen die Ausführungen im folgenden Kapitel 5. Die genannten regulatorischen Einschränkungen sind hier jedoch ein maßgebliches Umsetzungshindernis.

5. Limitierter Nutzen der aktiven iMSys-Infrastruktur

Grundsätzlich soll bzw. könnte das intelligente Messsystem bei einer Vielzahl an verschiedenen Anwendungsfällen aus der Energiewirtschaft eingesetzt werden, wie die nachfolgende Tabelle 1 aufzeigt. Im Detail bietet diese Tabelle einen größeren Überblick über unterschiedlichste, allgemeine Anwendungsfälle vom intelligenten Messsystem. Größtenteils sind diese auf Basis von (Estermann et al., 2021), wobei die letzten zwei Anwendungsfälle aus dem Wärmesektor zusätzlich ergänzt worden sind. Jeder dieser grundsätzlichen Anwendungsfälle des iMSys ist hinsichtlich der Abhängigkeit zur Durchdringung des Systems im jeweiligen Sektor bewertet. Mit Ausnahme der letzten zwei stammt die Einschätzung ebenfalls aus (Estermann et al., 2021). Falls die jeweiligen allgemeinen Anwendungsfälle Energieanwendungsfällen (EAF) aus dem Stufenmodell der Version 2.1 (nur Niederspannung) zuordenbar sind, sind diese in der dritten Spalte der Tabelle erfasst.

Im nächsten Schritt erfolgt eine Einschätzung zur Marktreife vom iMSys für diesen allgemeinen Anwendungsfall. In diesem Kontext wird hierunter verstanden, dass es kommerziell erhältliche Lösungen gibt, die neben dem notwendigen Funktionsumfang auch konform zu den zugrundeliegenden Richtlinien sind (i.S.v. *System Readiness Level* (SRL) 4 nach [Klicken oder tippen Sie hier, um Text einzugeben](#). Estermann et al., 2021). Hier ist vor allem die BSI TR-03109 mit den bisher implementierten Tarifierungsanwendungsfällen (TAF) von zentraler Bedeutung. Insofern hier Lösungen existieren, werden Umsetzungsbeispiele aufgeführt.

Da die iMSys-Infrastruktur in der Regel nicht die einzige Lösung für die unterschiedlichen Anwendungsfälle ist, sondern alternative als auch Übergangslösungen sich u.a. aufgrund der ausgeführten Verzögerungen beim iMSys entwickelt haben, wird ebenfalls bewertet inwieweit diese operativ zur Verfügung stehen¹⁷. Eine Konformität vor allem zur BSI TR-03109 ist an diesem Punkt entsprechend nicht relevant. Analog zum iMSys sind exemplarische digital gestützte Umsetzungslösungen genannt.

¹⁷ Hier wird vergleichbar zu Estermann et al. (2021) eine Bewertung auf Basis des SRL vorgenommen. Übertragen auf die marktreifen Alternativ-/Übergangslösungen zum iMSys bedeutet dies, dass falls sich diese Ansätze bereits in produktiver Umgebung befinden und alle zugehörigen Prozesse mindestens ausgewählten Marktteilnehmern klar sind, ist die angenommene Schwelle zur Einordnung – SRL 4 – zu vermuten.

Allgemeiner Anwendungsfall (i.d.R. auf Basis von Estermann et al., 2021)	Abhängigkeit iMSys-Durchdringung (i.d.R. Estermann et al., 2021)	EAF laut Stufenmodell Version 2.1 (nur NS)	Marktreife iMSys	Praxisbeispiel iMSys	Marktreife Alternativ-/Übergangslösung	Praxisbeispiel Alternativ-/Übergangslösung
Lastanalyse von Stromverbrauchern zur Bestimmung von Energieeffizienzmaßnahmen	Nein	EAF-14	Ja	MDM-Daten basiertes Webportal / App (GreenPocket GmbH, 2022)	Ja	Nicht zertifiziertes iMSys & Webportal / App (Discovery GmbH, 2021)
Optimierung des Stromeinkaufs	Nein	EAF-14	Ja	MDM-Daten basiertes Webportal / App (Zählerfreunde GmbH, 2022)	Ja	Datenerfassung per Infrarotlesekopf mit nachgelagertem Webportal / App und offener Programmierschnittstelle (API) (power42 GmbH, 2022)
Strompreisorientierte Tarife für private Haushalte	Nein	EAF-10	Ja	Mehrstufiger Tarif (E.ON Energie Deutschland GmbH, 2022) EPEX Spot orientiert (Tibber Deutschland GmbH, 2022)	Insofern die am 20.05.2022 zurückgezogene Markterklärung erneuert werden sollte, sind keine Übergangslösungen wie RLM-Zähler zur aktiven Bilanzkreisbewirtschaftung mehr erlaubt aufgrund von §19(5) MsbG, da relevante Einbaugruppen wieder im aktiven Rollout wären, vollständig (zu erwartende) zertifizierte iMSys sind jedoch mit der seit dem 23.05.2022 gültigen BSI-Allgemeinverfügung weiterhin rechtssicher einsetzbar (Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik, 2022c, 2022d; Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen, 2022a)	
Stromabrechnung	Nein	- EAF-0.1 - EAF-13 - EAF-17	Ja	SLP-Abrechnung (Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik &	Ja	Klassische RLM-Zähler (Bundesverband Neue Energiewirtschaft e.V., 2018)

Allgemeiner Anwendungsfall (i.d.R. auf Basis von Estermann et al., 2021)	Abhängigkeit iMSys-Durchdringung (i.d.R. Estermann et al., 2021)	EAF laut Stufenmodell Version 2.1 (nur NS)	Marktreife iMSys	Praxisbeispiel iMSys	Marktreife Alternativ-/Übergangslösung	Praxisbeispiel Alternativ-/Übergangslösung
Prognoseverbesserung für Bilanzkreisverantwortliche und Lieferanten im Stromsektor				Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, 2021b)		
	Ja	Nicht vorhanden	Ja	Netzdifferenzbilanzkreis Bewirtschaftung optimieren (Karcher & Fitzenberger, 2020)	Ja	Klassische RLM-Zähler (Bundesverband Neue Energiewirtschaft e.V., 2018)
	Ja	Nicht vorhanden	Nein	Keine rechtliche Grundlage für diese Anwendung (Cramer et al., 2021)	Nein	Forschungsprojektsbsp.: pebbles (Lucke et al., 2022)
Lokale Flexibilitätsmärkte						
	Ja	- EAF-0.2 - EAF-3	Nein	Zeitnahe Umsetzung bei gMSB: TAF 10 (Kurtz et al., 2022)	Ja	IoT-Netzsensoren mit zentraler IoT-Plattform (Netze BW GmbH; SMIGHT GmbH, 2022) Digitale Ortsnetzstation (Bögelein, 2019)
Stromnetzanalyse/-monitoring	Ja		Nein			
Intraday-Handel	Nein	- EAF-2 - EAF-12	Nein	-	Ja	HEMS- & Cloud-Lösung Klassische Fernwerktechnik (Hannen, 2022; Wickert et al., 2022)
Day-Ahead-Handel	Nein	- EAF-2 - EAF-12	Nein	-	Ja	HEMS- & Cloud-Lösung

Allgemeiner Anwendungsfall (i.d.R. auf Basis von Estermann et al., 2021)	Abhängigkeit iMSys-Durchdringung (i.d.R. Estermann et al., 2021)	EAF laut Stufenmodell Version 2.1 (nur NS)	Marktreife iMSys	Praxisbeispiel iMSys	Marktreife Alternativ-/Übergangslösung	Praxisbeispiel Alternativ-/Übergangslösung
Bilanzkreis-ausgleich						Klassische Fernwirk-technik (Wickert et al., 2022)
	Ja	▪ EAF-2 ▪ EAF-12	Nein	-	Ja	Klassische Fernwirk-technik (Wickert et al., 2022)
PPA-Bilanzkreis-ausgleich	Nein	▪ EAF-2 ▪ EAF-12	Nein	-	Ja	Klassische Fernwirk-technik (Wickert et al., 2022)
Redispatch 2.0 (ehemals EisMan)	Ja	▪ EAF-11	Nein	-	Ja	Klassische Fernwirk-technik (Dierks, 2022a; Wickert et al., 2022)
	Ja	▪ EAF-1	Nein	-	Ja	i.d.R. Rundsteuer-technik oder Zeitschalt-uhren (Bundesnetzagen-tur für Elektri-zität, Gas, Telekommuni-kation, Post und Eisenbah-nen & Bun-deskartell-amt, 2021b)
§14a EnWG	Ja	▪ EAF-2 ▪ EAF-11	Nein	-	Ja	Klassische Fernwirk-technik (Bundesnetzagen-tur für Elektri-zität, Gas, Telekommuni-kation, Post und Eisenbah-nen, 2022b)
Q-Management	Ja		Nein	-	Ja	

Allgemeiner Anwendungsfall (i.d.R. auf Basis von Estermann et al., 2021)	Abhängigkeit iMSys-Durchdringung (i.d.R. Estermann et al., 2021)	EAF laut Stufenmodell Version 2.1 (nur NS)	Marktreife iMSys	Praxisbeispiel iMSys	Marktreife Alternativ-/Übergangslösung	Praxisbeispiel Alternativ-/Übergangslösung
Anlagenmonitoring	Nein	Nicht vorhanden	Nein	-	Ja	HEMS- & ggf. Cloud-Lösung IoT-Plattform (sig Media GmbH & Co. KG, 2022; Wickert et al., 2022)
Eigenverbrauchs-optimierung	Nein	▪ EAF-2	Nein	-	Ja	HEMS- & ggf. Cloud-/IoT-Lösung mit gesondertem, hochauflöser Zähler (Kiwigrid GmbH, 2022)
Spitzenlastmanagement	Nein	▪ EAF-2	Nein	-	Ja	HEMS- & ggf. Cloud-Lösung mit gesondertem, hochauflöser Zähler (Conso-linno Energy GmbH)
FCR	Ja	Nicht vorhanden	Nein	-	Ja	RLM-Zähler mit klass. Fernwerktechnik / HEMS- & Cloud-Lösung (Wickert et al., 2022)
aFRR	Ja	▪ EAF-8	Nein	-	Ja	RLM-Zähler mit klass. Fernwerktechnik / HEMS- & Cloud-Lösung (Wickert et al., 2022)
mFRR	Ja	▪ EAF-9	Nein	-	Ja	RLM-Zähler mit klass. Fernwerktechnik / HEMS- & Cloud-Lösung

Allgemeiner Anwendungsfall (i.d.R. auf Basis von Estermann et al., 2021)	Abhängigkeit iMSys-Durchdringung (i.d.R. Estermann et al., 2021)	EAF laut Stufenmodell Version 2.1 (nur NS)	Marktreife iMSys	Praxisbeispiel iMSys	Marktreife Alternativ-/Übergangslösung	Praxisbeispiel Alternativ-/Übergangslösung
Lastmanagement (Netzengpässe)						(Wickert et al., 2022)
	Ja	▪ EAF-10	Nein	-	Ja	Klassische Fernwerktechnik (Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen, 2022b)
	Ja	▪ EAF-2	Nein	-	Ja	HEMS- & Cloud-Lösung Klassische Fernwerktechnik (Wickert et al., 2022)
	Ja	Nicht vorhanden	Nein	-	Ja	Gesonderter hochauflösender Zähler ggf. mit Relais + klass. Fernwerktechnik (50Hertz et al., 2017b)
	Nein	▪ EAF-4 ▪ EAF-5	(Ja)	Aktuell nur die Option per direkter Anbindung per LMN (nicht per SME ohne BSI TR-03109-5) (Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik & Bundesministerium für Wirtschaft und Energie,	Ja	Walk-by-Ansatz Mobilfunkfernauslesung IoT-Plattform (Linnemann, 2021)
Arbitrage						
Lastmanagement (Frequenzhaltung)						
Wärmeabrechnung (HeizkostenV, FFVAV)						

Allgemeiner Anwendungsfall (i.d.R. auf Basis von Estermann et al., 2021)	Abhängigkeit iMSys-Durchdringung (i.d.R. Estermann et al., 2021)	EAF laut Stufenmodell Version 2.1 (nur NS)	Marktreife iMSys	Praxisbeispiel iMSys	Marktreife Alternativ-/Übergangslösung	Praxisbeispiel Alternativ-/Übergangslösung
Wärme(netz-)optimierung				2021a; Sagemcom Dr. Neuhaus GmbH, 2021)		
	Ja	- EAF-6 - EAF-15	Nein	-	Ja	Cloud-Plattform (E.ON SE; Franzén et al., 2019)
EAF-0.1: Erhebung von abrechnungsrelevanten Daten zur Elektrizität am Netzanschlusspunkt EAF-0.2: Erhebung von nicht abrechnungsrelevanten Daten zur Elektrizität am Netzanschlusspunkt EAF-1: Steuerung Verbrauchseinrichtungen in Niederspannung (§ 14a EnWG) EAF-2: Energiemanagement von regelbaren Erzeugungs- und Verbrauchseinrichtungen EAF-4: Fernauslesung von personenbeziehbaren und abrechnungsrelevanten Messdaten aus dem Submetering-System der Liegenschaft EAF-5: Fernauslesung von personenbeziehbaren und abrechnungsrelevanten Messdaten aus der Hauptmessung verschiedener Sparten (Mehrsparten-Metering)		EAF-6: Erhebung von Netzzustandsdaten anderer Sparten EAF-8: Teilnahme am Regelenergiemarkt aFRR EAF-9: Teilnahme am Regelenergiemarkt mFRR EAF-10: Dynamische Tarife für Elektrizität EAF-11: Messen und Steuern für Redispatch 2.0 EAF-12: Messen und Steuern für Direktvermarktung EEG/KWKG EAF-14: Bereitstellung von Daten für Energiemonitoring und für Mehrwertdienste Elektrizität EAF-15: Bereitstellung von Daten für Energiemonitoring und für Mehrwertdienste Gas, Wasser, Wärme EAF-17: Fernauslesung RLM Elektrizität				

Tabelle 1 Übersicht über allgemeine Anwendungsfälle aus energiewirtschaftlicher Sicht sowie deren Abhängigkeit von der Durchdringung des iMSys bei den Letztverbrauchern jeweils größtenteils auf Abb. 5 in (Estermann et al., 2021) (thematisch passende EAF auf Basis von (Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik & Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, 2021b)), als auch die Marktreife vom iMSys aus Sicht des Zielmodells mit beispielhaften Ansätzen aus der Praxis sowie die Marktreife alternativer Ansätze bzw. Übergangslösungen mit ggf. vorhandenen Praxisbeispielen

In Summe wird an der Tabelle deutlich, dass bisher nur eine Minderheit an allgemeinen Anwendungsfällen aktuell vollständig produktiv per iMSys abbildbar sind. Aktive Systeme im Bereich des Meterings sind hier insbesondere per LMN-Anbindung hervorzuheben: von der Abdeckung einfacher SLP-Abrechnungen im Stromsektor, hin zu aufwendigeren gestuften oder variablen Stromtarifen mit viertelstündiger Abrechnung, bis zur Erfassung von Wärmeverbräuchen, bspw. im Rahmen der HeizkostenV. Bei der letzten Anwendung ist zu beachten, dass aufgrund des Fehlens der BSI TR-03109-5 aktuell keine zertifizierten Submetereinheiten zum Aufnehmen von Messdaten, z.B. in einer Liegenschaft, für die zentrale Weiterleitung per CLS-Kanal zur Verfügung stehen. Im Wärmebereich sind in der Vergangenheit stattdessen andere (teil-)automatisierte Ansätze entstanden, bspw. die Auslesung von Zählerdaten per *Walk-By* als auch vollautomatisierte Verfahren zur Erfassung von fernauslesbaren Zählern über Mobilfunk oder *Internet of Things* (IoT)-Plattformen (z.B. per *LoRaWAN* oder *Mioty* Übertragungstechnik) (Linnemann, 2021, 2022).

Ebenso können netzrelevante Leistungs-, Strom- und Spannungswerte für den Verteilnetzbetreiber zeitnah per TAF 10 *Abruf von Netzzustandsdaten* in ersten Anwendungen bei gMSB in den operativen Netzbetrieb übernommen werden sollen (Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik, 2021b; Kurtz et al., 2022). Auf dieser Basis ist es möglich die Einflüsse bspw. auf Spannungsschwankungen aufgrund neuer sektorübergreifender DEA wie Wärmepumpen oder E-Kfz sowie zunehmender Erzeugung sichtbarer für den jeweiligen Anschlussnetzbetreiber (ANB) werden zu lassen (Estermann, 2022). Neben den Möglichkeiten des iMSys sind auch im Niederspannungsbereich neue digital gestützte Technikansätze zur Erhöhung der Transparenz bereits in der Praxis angekommen.

Neben der Thematik von lesenden Zugriffen auf Messtechnik ist das Thema der Steuerung ein Kernelement der deutschen iMSys-Strategie (Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik, 2019b). Mit der bereits angesprochenen fehlenden BSI TR-03109 ist eine BSI-konforme Steuereinheit bisher nicht am Markt verfügbar. Nichtsdestotrotz konnten bereits erfolgreiche Steuerhandlungen per CLS-Kanal in mehreren (Forschungs-/Pilot-)Projekten für unterschiedliche DEA wie Wärmepumpen oder E-Kfz bereits in der Praxis mit nicht zertifizierten Steuereinheiten realisiert werden (z.B. (Estermann et al., 2018; Estermann, 2022; GISA GmbH, 2022; Hartke, 2019; Quenel, 2021; Stötzel, Martin, Hadler, Tina et al., 2019; TMZ Thüringer Mess- und Zählerwesen Service GmbH, 2021)). Eine kritische technische Herausforderung in diesem Kontext ist der herstellerübergreifende, automatisierte Zugriff auf

unterschiedliche GWA-Systeme als aEMT bzw. pEMT mithilfe von CLS-Managementsystemen (VDE Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e.V., 2022). Ohne eine sichergestellte Interoperabilität, ist es schwierig system- und akteursübergreifende Lösungen mit geringeren Integrationskosten in der Breite umzusetzen (VDE Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e.V., 2022). An diesem Punkt könnten die geplanten Entwicklungen von Standardschnittstellenspezifikationen vom VDE (Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e.V.) FNN bis Ende des Jahres 2022 eine Lösung sein (VDE Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e.V., 2022). Grundsätzlich ungelöst bleibt in diesem Zuge die allgemeine Problematik verschiedener Standards bei der Anlagenkommunikation, welche mit dem vorgesehenen CLS-Kanal-Ansatz weiterhin existiert (Wickert et al., 2022).

Hinsichtlich alternativer Ansätze sind bei der DEA-Anbindung verschiedenste Lösungen im produktiven Einsatz. Im Hausbereich kommen vor allem Heimenergiemanagementsystem (HEMS) zum Einsatz. In der Regel bestehen diese aus zwei Komponenten. Einmal einem System vor Ort, welches die Informationen und Steuersignale vor Ort verarbeitet. Und als Zweites ein (Cloud-)Backendsystem, in dem weitere Funktionalitäten wie zum Beispiel Prognosen oder Datenanbindungen an weitere Marktakteure vonstattengehen können. In diesem Kontext sind vor allem unabhängige Dienstleister als auch Hersteller mit jeweils in der Regel proprietären Systemen aktiv. Mit diesen Systemen können bereits viele Anwendungsfälle zum heutigen Tage abgedeckt werden (vgl. Tabelle 1 oben). Insofern die Anwendungsfälle eine 15-minütige Bilanzkreisabrechnung benötigen (z.B. Regelreserve¹⁸ oder Day-Ahead-/Intraday-Handel), können die gesonderten steuernden Vorgänge, mithilfe der sogenannten zweiten WAN-Anbindung, parallel zum iMSys-befüllten Messdatenmanagementsystem (MDM) des verantwortlichen MSB kombiniert werden. In diesem Fall kommt vor allem TAF 7 *Zählerstandsgangmessung* des iMSys zum Tragen (Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik, 2021b). Dieser ermöglicht im 15-Minuten-Raster den Zählerstand einer mME per SMGW zu erfassen. (Wickert et al., 2022)

Außerhalb der typischerweise im Niederspannungs- und Haushaltsbereich eingesetzten HEMS-Systemen befinden sich in den höheren Spannungsebenen ($\geq$ MS) vor allem klassi-

¹⁸ Es gibt insgesamt drei Arten von Regelreserve in Deutschland: Frequency Containment Reserve (FCR), automatic Frequency Restoration Reserve (aFRR) und manual Frequency Restoration Reserve (mFRR) (50Hertz et al. (2022b)).

sche Fernwirkssysteme im Einsatz. Über diese können gesicherte Verbindungen beispielsweise zu EEG-Direktvermarktern oder Aggregatoren von Großlasten, die zum Beispiel als RR-Anbieter für die Übertragungsnetzbetreiber (ÜNB) aktiv sind, aufgebaut werden. Der Einsatz dieser klassischen Fernwirktechnik ist unter Umständen auch in der Niederspannung möglich, insofern ein marktlicher Einsatz von einer DEA wie einer KWKG-Anlage vorgesehen ist. (50Hertz et al., 2022b; Wickert et al., 2022)

Im Bereich der Modernisierung bzw. dem Neubau von Wärmenetzen sind vor allem zwei Trends zentral: Einerseits zunehmende Einspeiser wie (Groß-)Wärmepumpen oder die Abwärmenutzung, und andererseits die Absenkung der Temperaturen im Netz. Für einen sicheren und effizienten Netzbetrieb sind zusätzliche Informationen als auch Eingriffe in das System notwendig, aus diesem Grund kommen mittlerweile kommerziell verfügbare Cloud-Plattformen zum Einsatz, die Sensoren wie bspw. Wärmezähler als auch Aktoren, z.B. Wärmepumpen, fernauslesen bzw. -ansteuern können. In Kombination mit zentral erstellten Prognosen erlaubt das einen vorausschauenden Betrieb über die Sektoren hinweg. Davon abweichend existieren bisher im iMSys-Umfeld keine marktreifen Lösungen (Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik, 2021d). (E.ON SE; Wickert et al., 2022)

6. Zugriff auf eine kostengünstige und leistungsfähige TK-Infrastruktur

Für den flexiblen Einsatz von bspw. Wärmepumpen oder E-Kfz als auch die kombinierte iMSys-Anwendung bspw. fürs Submetering zur Erhöhung des Nutzens eines einzelnen SMGW sind leistungsfähige TK-Infrastrukturen eine zwingende Voraussetzung wie aus den exemplarischen, allgemeinen Anwendungsfällen in Tabelle 2 deutlich wird.

Allgemeiner Anwendungsfall	EAF Stufenmodell Version 2.1 (Bundesamt für Sicherheit in der Informati- onstechnik, 2021d)	Daten- auflösung	(Maximale) Latenz nach (Accenture & Fraunhofer IKS, 2017; VDE, 2015)	Verfügbarkeit nach (Accenture & Fraunhofer IKS, 2017; VDE, 2015)	Referenz
Flexibilitäts- vermarktung von DEA (insb. für Stromhandel und Bi- lanzkreisgleich)	- EAF-2 - EAF-12	Bis 60 s	Klein (ca. 50 ms) – Mittel (über 100 ms)	Hoch - sehr hoch	(Doleski, 2017)
Regelreserve- Erbringung	- EAF-8 - EAF-9	1 – 4 s	Klein (i.d.R. ≤ 5 s DEA - ÜNB)	Sehr hoch ≥ 95 %	(50Hertz et al., 2022b; Aichele & Doleski, 2013)
Abschaltbare Lasten nach AbLaV 2016 ($\geq$ Mittelspannungs- anschluss) ¹⁹	Nicht vorhanden	60 s	Klein (≤ 10 s abschalt- bare Last - ÜNB)	Sehr hoch ≥ 95 %	(50Hertz et al., 2017a, 2017b)
EAF-2: Energiemanagement von regelbaren Erzeugungs- und Verbrauchseinrichtungen EAF-8: Teilnahme am Regelenergiemarkt aFRR EAF-9: Teilnahme am Regelenergiemarkt mFRR			EAF-12: Messen und Steuern für Direktvermarktung EEG/KWKG		

Tabelle 2 Exemplarische Anwendungsfälle zur DEA-Flexibilisierung mit (sehr) hohen Anforderungen an die IKT-Infrastruktur (thematisch passende EAF auf Basis von (Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik & Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, 2021b))

¹⁹ Verordnung zu abschaltbaren Lasten vom 16. August 2016 (BGBl. I S. 1984), die zuletzt durch Artikel 9 des Gesetzes vom 16. Juli 2021 (BGBl. I S. 3026) geändert worden ist – beachten: seit dem 01.07.2022 ist das Gesetz außer Kraft gesetzt, ein Nachfolgeprodukt war in Diskussion für eine geplante Einführung Anfang 2023, ist jedoch am Ende nicht Bestandteil der letzten Energiegesetzgebungsanpassungen gewesen (50Hertz et al. (2022a)).

Für die WAN-Anbindung stehen prinzipiell verschiedene, geeignete technische Lösungen bereits im Markt zur Verfügung (sig Media GmbH & Co. KG, 2021; Sörries et al., 2018):

- Klassische Mobilfunkanbindung per EDGE (2. Generation, 2G) oder LTE als Teil der 4G Mobilfunknetze als bisher dominierende Anbindung von Messtechnik (Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen & Bundeskartellamt, 2021b)
- Kabelgebundene Kommunikation per direktem Breitband oder Glasfaseranschluss
- Breitband-Powerline-Kommunikation (BPL) zur Übertragung per Stromnetz
- Oder auf einige Regionen eingeschränkt per CDMA-Mobilfunk im 450 MHz Band sowie testweise für 450 MHz LTE (Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen, 2022b; Power Plus Communications AG, 2022)

Grundsätzlich besteht mit dem derzeitigen Aufbau des deutschen 450 MHz LTE Mobilfunknetzes bereits eine mittelfristige, weiträumige Lösung zur Verfügung, die neben einer hohen Leistungsfähigkeit bzgl. Latenz, Durchsatz und Nutzer je Zelle, auch ausfallsicher für mindestens 72 Stunden ist. Der derzeitige Zeitplan der ausführenden Gesellschaft, der 450connect GmbH, sieht eine bundesweite Verfügbarkeit bis 2025 vor. Als Zwischenziel stehen die ersten regional begrenzten operativen Nutzungen bspw. in Baden-Württemberg in 2023 an. (450connect GmbH, 2022a, 2022b, 2022c, 2022d; VKU Verlag GmbH, 2022b; Wissner et al., 2020)

Mit dem neuen 450 MHz ist es prinzipiell möglich die typische *Kellerproblematik* vom Haushaltssegment anzugehen, da die verwendete Frequenz eine hohe Ausbreitung erlaubt. In diesem Kontext wird von einer vorteilhaften *Deep-Indoor*-Eigenschaft gesprochen. Trotzdem ist davon auszugehen, dass eine Erhöhung der Innenabdeckung u.a. zur Erschließung der Keller von ca. 50 % auf rund 70 % nicht alle iMSys erreichen wird, insbesondere falls ein sehr hohes Ausbauniveau erreicht werden soll. Wie herausfordernd die ordnungsgemäße TK-Anbindung beim derzeitigen Rollout ist, zeigt ebenfalls die Praxiserfahrung eines Messdienstleisters vom letzten Jahr, wo 4 von 5 Störungen auf eine nicht ausreichende Mobilfunkanbindung zurückzuführen waren (Koller, 2021). (Sörries et al., 2018; Wissner et al., 2020)

Entsprechend ist der kostengünstige Zugriff über andere TK-Ansätze sicherzustellen, damit der Rollout nicht an diesem Punkt einer Einschränkung unterliegt (Sörries et al., 2018). Davon ausgehend sollte das 450 MHz Mobilfunknetz möglichst als Standard etabliert werden, da es im Vergleich zu anderen WAN-Anbindungen im Schwarzfall weiterhin zur Verfügung stehen wird (Sörries et al., 2018). Dies ist eine Grundvoraussetzung damit am Ende ein erfolgreicher Netzwiederaufbau gelingen kann (Sörries et al., 2018).

Die Akzeptanz zur Nutzung unter Netzbetreibern ist grundsätzlich seit dem Zuschlag im März 2021 vorhanden, jedoch weiterhin ausbaufähig wie der *Bericht zum Zustand und Ausbau der Verteilernetze 2021* der Bundesnetzagentur zeigt (Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen, 2022b):

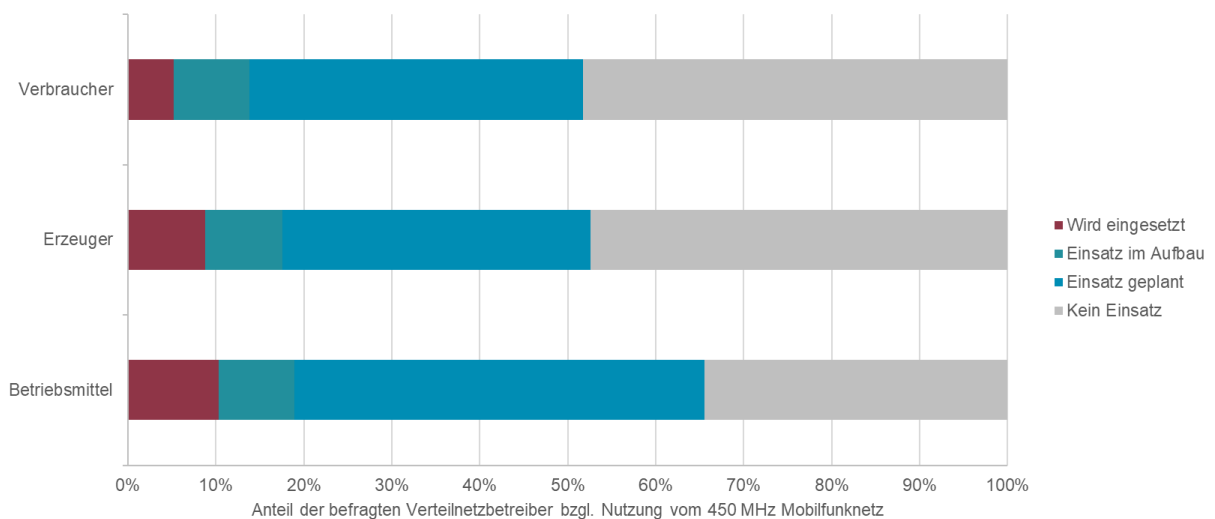


Abbildung 9: (Geplante) Nutzung des 450 MHz Mobilfunknetzes von deutschen Verteilnetzbetreibern. Quelle: eigene Darstellung, Datenbasis: Abbildung 2-8 in (Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen, 2022b)

7. Fachkräftemangel

Für die Umsetzung der iMSys-Infrastruktur sind vor allem die übergeordnete *Berufshauptgruppe der Informatik-, Informations- & Kommunikationstechnologieberufe* als auch die Berufsgruppe der *Elektrotechnik* gefragt (nach der *Klassifikation der Berufe 2010 (überarbeitete Fassung 2020)*) (Barbara-Christine Schild & Gabriele T. Braun, 2017; Bundesagentur für Arbeit, 2021; Gaggermeier, 2022):

1. *Informatik-, Informations- & Kommunikationstechnologieberufe:*

Die erste Gruppierung betrifft an dieser Stelle vor allem die Tätigkeiten in den Backendsystemen im Rahmen der Ausübung der Funktionsrollen des EMT bzw. GWA. Zusätzlich sind Tätigkeiten beim Aufbau und Betrieb der TK-Infrastruktur, insbesondere im Rahmen der WAN-Anbindung, gefragt.

2. *Elektrotechnik:* Hier steht primär die Installation und Wartung vom iMSys sowie der weiteren Systemeinheiten im Fokus des Anforderungsprofils, welches in diese Berufsgruppe fällt.

Grundsätzlich lässt sich mit der zunehmenden Digitalisierung in der Energieversorgung für die jeweiligen Berufsfelder eine Zunahme an notwendigen (IT-)Kenntnissen feststellen (Barbara-Christine Schild & Gabriele T. Braun, 2017; Roth, 2018). Aus diesem Grund werden alle relevanten Anforderungsniveaus vom *Fachkräfte radar* der Bundesagentur für Arbeit im Folgenden näher betrachtet (Niveau 2-4, vgl. Tabelle 3). Der Fokus wird hierbei auf den Engpassschwellwerten liegen, die jedoch je Niveau tendenziell unterschiedlich sind. Eine *Damenregel* besagt, dass bei Fachkräften (Niveau 2) und Spezialist:innen (Niveau 3) für den Engpass-Indikator Arbeitslosen-Stellen-Relation bei ca. 2:1 liegt, also ca. 50 % der Stellen nicht bei den Arbeitsagenturen durch die Unternehmen gemeldet werden. Bei den Expert:innen (Niveau 4) ist das Verhältnis i.d.R. wesentlich höher. Üblicherweise beträgt es 4:1. Beide Annahmen werden in der kommenden Interpretation übernommen. (Gaggermeier, 2022)

Anforderungs-niveau	Bezeichnung	Qualifikatorische Voraussetzungen: Beschäftigt werden typischerweise Menschen mit ...	Typische Engpass-Schwellenwerte für Arbeitslosen-Stellen-Relation
1	Helfer:innen	kein formaler beruflicher Bildungsabschluss oder einjährige Berufsausbildung	(keine Berücksichtigung im Fachkräfteradar der Bundesagentur für Arbeit)
2	Fachkräfte	Abschluss einer mindestens zweijährigen Berufsausbildung oder vergleichbare Qualifikation	≈ 2:1
3	Spezialist:innen	Meister-/Technikerausbildung oder Fachhochschul-/Hochschulabschluss oder vergleichbare Qualifikation	≈ 2:1
4	Expert:innen	mindestens vierjährige Hochschulausbildung oder vergleichbare Qualifikation	≈ 4:1

Tabelle 3: Anforderungsniveaus und typische Qualifikationen sowie typische Engpass-Schwellenwerte der Engpassanalyse der Bundesagentur für Arbeit im Fall der Arbeitslosen-Stellen-Relation. Quelle: Angepasste und erweiterte Tabelle C.I-T1 in (Burstedde et al., 2018), aktualisiert nach (Gaggermeier, 2022).

Als Ergebnis aus dem Fachkräfteradar lässt sich grundlegend die dominierende Tendenz feststellen, dass bei beiden Gruppierungen mit einer Ausnahme (Spezialist:innen im IKT-Bereich) das Arbeitslosen-Stellen-Verhältnis geringer ausfällt im Vergleich zu allen Berufen (vgl. Abbildung 10 und Abbildung 11). Darüber hinaus lässt sich bei den IKT-Berufen ausschließlich bei den Expert:innen ein Engpass feststellen, der aber bei einem angenommen 4:1 Verhältnis mit 1,3 signifikant nach unten abweicht und damit ein relevanter Indikator für einen Engpass ist. Bei den geringeren Anforderungsniveaus der Spezialist:innen und Expert:innen ist entweder der Wert über 2 oder gleich 2, sodass ein Engpass für diesen Indikator nicht oder nur knapp nicht feststellbar ist.

Im Unterschied zu den IKT-Berufen ist die Elektrotechnik in allen drei Niveaus zu niedrig. Ein Engpass ist somit zu vermuten. Vor allem die Expert:innen sind mit 0,9 besonders gefragt. Nichtsdestotrotz sind Spezialist:innen mit 0,9 deutlich unter dem 2:1 Schwellwert. Bei den Fachkräften ist mit 1,8 der Schwellwert dafür nur leicht unterschritten. Zusammenfassend stellt sich die Situation in der Elektrotechnik kritischer dar als in den IKT-Berufen. Nichtsdestotrotz ist bei beiden Gruppierungen ein kritischer Wert im Fall des höchsten Niveaus, den Expert:innen, festzuhalten, der sich aber regional unterschiedlich ausprägen kann (Burstedde et al., 2018). Eine regionale Betrachtung fand an dieser Stelle jedoch nicht statt.

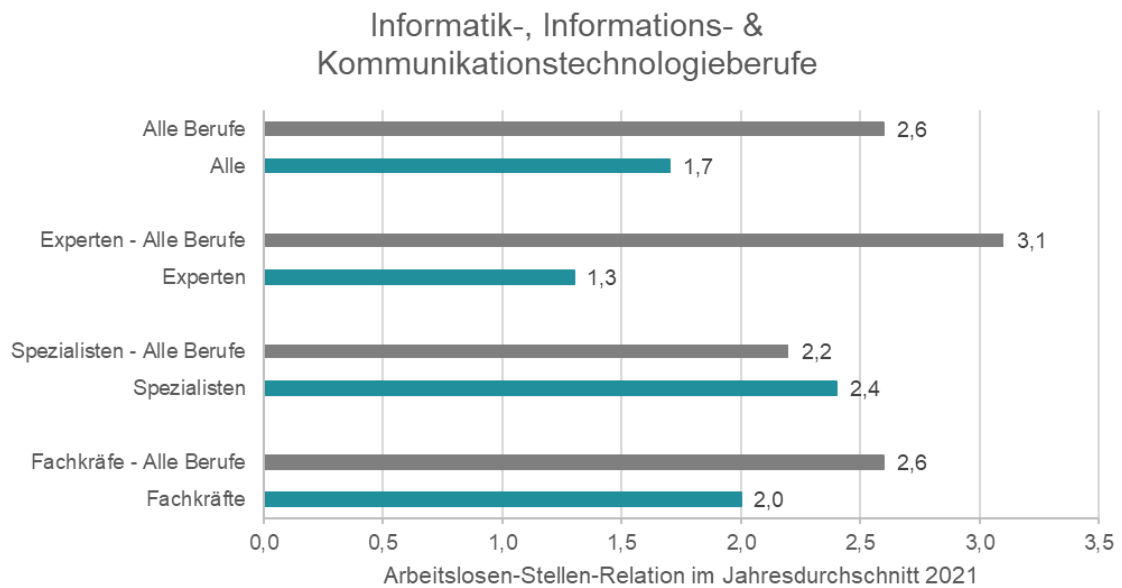


Abbildung 10: Arbeitslosen-Stellen-Relation im Jahresdurchschnitt 2021 der Berufshauptgruppe der Informatik-, Informations- & Kommunikationstechnologieberufe im Vergleich zu allen Berufen auf Basis des Fachkräftetradar der Bundesagentur für Arbeit (Bundesagentur für Arbeit, 2022). Quelle: Eigene Darstellung

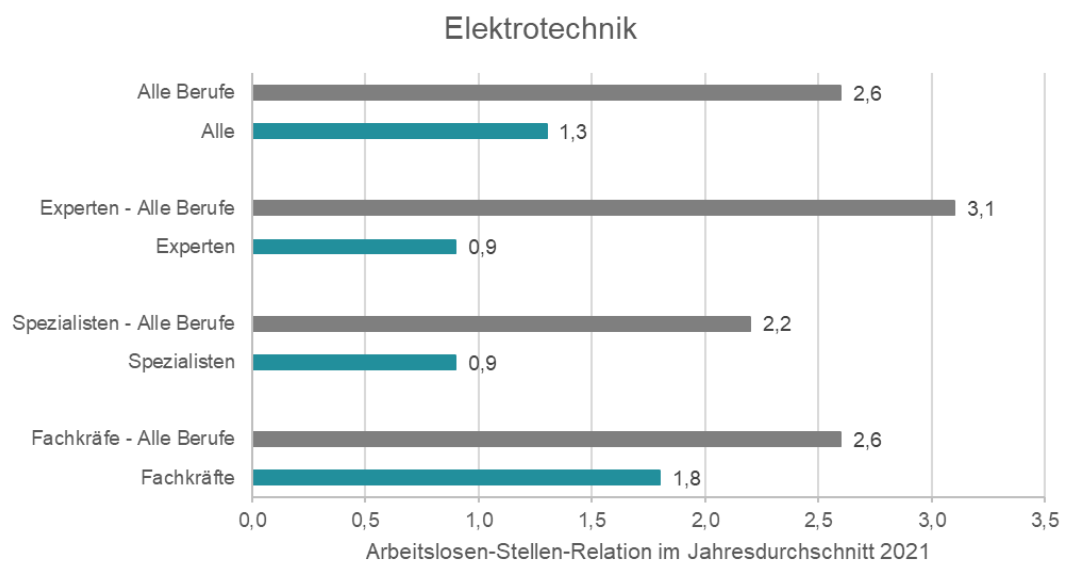


Abbildung 11: Arbeitslosen-Stellen-Relation im Jahresdurchschnitt 2021 im Vergleich zu allen Berufen der Berufsgruppe Elektrotechnik auf Basis des Fachkräftetradar der Bundesagentur für Arbeit (Bundesagentur für Arbeit, 2022). Quelle: Eigene Darstellung

Ob dieser Engpass auf Expert:innenniveau in Zukunft behoben wird, ist mindestens in Zweifel zu stellen, wenn die *VDE Studie Arbeitsmarkt 2022 - Elektroingenieurinnen und Elektroingenieure* zu Rate gezogen wird (Verband der Elektrotechnik Elektronik und Informationstechnik e.V., 2022). Ein Kernergebnis ist ein sinkendes Interesse an Studiengängen, die in Richtung

Elektro- und Informationstechnik orientiert sind. Auch im Wärmemarkt sieht der Bundesverband der Deutschen Heizungsindustrie die geplante Beschleunigung der Klimaziele der deutschen Bundesregierung bspw. bei neuer Heiztechnik wie Wärmepumpen aus Handwerksicht (Niveau 2-3) kritisch, da die aktuelle Auslastung bereits sehr hoch ist, eine schwierige Altersstruktur herrscht sowie die Ausbildungsquote im historischen Vergleich sehr niedrig ist (Bundesverband der Deutschen Heizungsindustrie, 2022). Ebenso hebt der Zentralverband des deutschen Handwerks die Bedeutung des zunehmenden Fachkräftemangels für die Umsetzung der Energiewende- und der Digitalisierungsziele in einem Positionspapier im Februar 2022 hervor (Zentralverband des deutschen Handwerks, 2022). Ebenfalls zeigt die Branchenbefragung vom ifo Institut im Juli 2022 die angespannte Lage im gesamten deutschen Arbeitsmarkt, mit der höchsten erfassten Anzahl an Unternehmen mit gemeldeten Fachkräftemangel in Höhe von 49,7 % (Sauer & Schultz, 2022). Im Detail sind exemplarisch für die Digitalisierung ggf. relevante Dienstleister wie *Dienstleistungen der Informationstechnologie* mit 61,7 %, oder verarbeitendes Gewerbe zu Datenverarbeitungsgeräten mit 57,3 %, über dieser bereits hohen Gesamtquote.

Gleichzeitig muss bei diesen Prognosen bzw. Brancheneinschätzungen beachtet werden, dass die voranschreitende Digitalisierung selbst Substituierungspotenzial mit sich bringt und tendenziell mit niedrigerem Anforderungsniveau von größerer Bedeutung ist (Dengler & Matthes, 2021). Die konsequente Ausnutzung dieses Potenzials kann somit Freiraum für Beschleunigung an anderer Stelle bieten. Dessen ungeachtet bleibt die Kernherausforderung des Fachkräftemangels bestehen, der sich vermutlich im mittel- bis langfristigen Zeitrahmen mit dem Renteneintritt der *Babyboomer* in den kommenden 15 Jahren vergrößert²⁰ (Statistisches Bundesamt, 2022) sowie bei Bestrebungen einer kurzfristigen Beschleunigung u.a. vom iMSys-Rollout als Hemmnis wirken kann.

²⁰ Statistisches Bundesamt (2022): Nach Angaben des Statistischen Bundesamtes (Destatis) aus dem Mikrozensus 2021 werden 12,9 Millionen Erwerbspersonen bis 2036 das Renteneintrittsalter überschritten haben. Dies entspricht knapp 30 % der dem Arbeitsmarkt zur Verfügung stehenden Erwerbspersonen, bezogen auf das Berichtsjahr 2021.

8. Kritische Cybersicherheitslage

Mit der Zunahme an IKT-Lösungen und deren Vernetzung innerhalb der allgemeinen Energieversorgung nimmt die Bedeutung von potenziellen Cyberangriffen für unterschiedliche Zwecke seit Jahren zu. Ursache ist insbesondere die sehr hohe Bedeutung der kritischen Infrastrukturen (KRITIS) für die gesellschaftliche Stabilität sowie die volkswirtschaftliche Entwicklung eines Landes, die die Energieversorgung in eine exponierte Lage als attraktives Angriffsziel versetzt. (Bartusiak et al., 2021; Mayer & Brunekreeft, 2020)

Eine Kernproblematik in diesem Umfeld ist die Herausforderung des Umgangs mit der Zunahme an cyberphysikalischen Systemen (CPS), welche einerseits informationstechnische Bausteine wie die Fähigkeit der Echtzeitverarbeitung oder TK-Infrastrukturen enthalten, und andererseits mithilfe von Sensoren und Aktoren mit der Realität interagieren. Damit decken CPS nicht nur klassische Industriekontrollsysteme (*industrial control systems*, ICS) ab, als traditionelle Variante sogenannter *operational technologies* (OT), sondern ebenso komplementäre IT-Ansätze wie Cloud- oder Edge-Computing der IT-Domäne oder vernetzte Geräte als Teil der Internet of Things (IoT)-Domäne. Diese neue Vernetzung erlaubt zusätzliche Anwendungsfälle, ermöglicht jedoch gleichzeitig neue Angriffsvektoren auf die Energieversorgung. An dieser kritischen OT-IT-Schnittstelle setzt vor allem das SMGW als sicheres Gateway an, um eine zuverlässige, vertrauenswürdige und gesicherte Verknüpfung zwischen den zwei Welten zu gewährleisten. (Mayer & Brunekreeft, 2020; Stübs et al.)

Grundsätzlich sind ICS, welche u.a. in der Energieversorgung zum Einsatz kommen, bereits von einer zunehmenden Anzahl an aufgedeckten Sicherheitslücken betroffen (vgl. Abbildung 12). Die Mehrzahl dieser Lücken wird dabei von herstellerunabhängigen Parteien aufgedeckt. Auf diese, als auch bisher unbekannte Sicherheitslücken, treffen zunehmend gezielte Bedrohungen die von hochprofessionellen Angreifern mit potenziellen staatlichen Verbindungen vermehrt ausgenutzt werden. Ein solcher Angriff, ein *advanced persistence threat* (APT), setzt auf langanhaltende, intensive und mehrstufige Angriffe um am Ende systemkritische OT-Systeme zu erreichen. Hierbei spielt, wie an Abbildung 13 erkennbar, die IT/IoT-Domäne eine relevante Rolle als Einfallstor, wenn beispielhaft das Gesamtumfeld der kritischen Infrastrukturen betrachtet wird. (Bartusiak et al., 2021; Claroty Ltd., 2022)

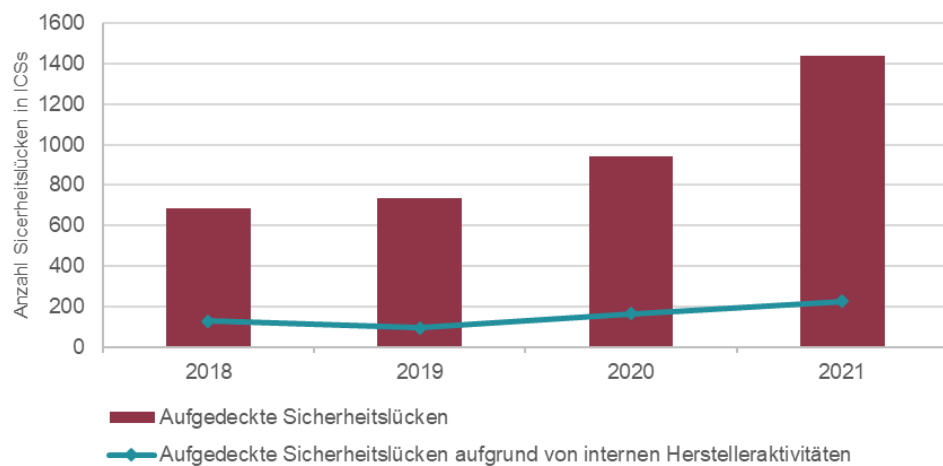


Abbildung 12: Herstellergetriebene sowie extern aufgedeckte Sicherheitslücken im weltweiten *industrial control systems* (ICSs) Segment im Zeitraum 2018 bis 2021. Quelle: Nachgebildete Darstellung in (Claroty Ltd., 2022)

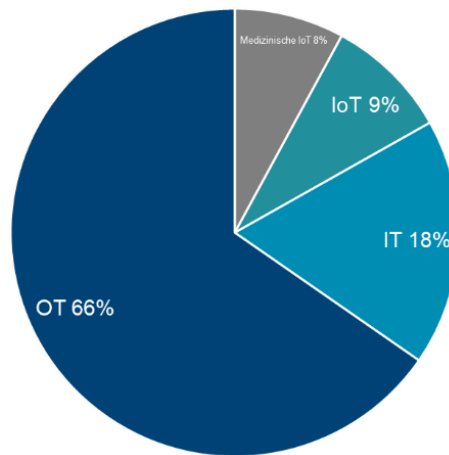


Abbildung 13: Relativer Anteil an weltweit aufgedeckten Sicherheitslücken je Produktgruppe im zweiten Halbjahr 2021 insbesondere im Bereich der kritischen Infrastrukturen. Quelle: Nachgebildete Darstellung in (Claroty Ltd., 2022)

Auch wenn APTs im Gegensatz zu üblichen Bedrohungen in der Energiebranche wie E-Mails mit schadhaften Links oder Anhängen oder einem Phishing-Ansatz sehr selten sind, sind die Auswirkungen potenziell umso wirkungsvoller. Berühmtheit hat dieses Segment erlangt mit dem *Stuxnet*-Angriff auf das Urananreicherungsprogramm von Iran im Jahr 2010, der trotz logischer und physischer Trennung vom eingesetzten ICS, dem *air gap* Prinzip, erfolgreich war. (Bartusiak et al., 2021; Roberto Setola et al., 2019)

Doch nicht nur die Energieträgerversorgung ist aufgrund eines APT gestört gewesen, sondern auch direkt die Stromversorgung von rund einer Viertelmillion Menschen in der Ukraine im Jahr 2015. Hinter dem ersten erfolgreichen Cyberangriff auf ein Stromnetz stand das Werkzeug *Blackenergy 3*. Es ermöglicht prinzipiell das Leitsystem von einem Netzbetreiber, in diesem Fall Ukrenergo, aus der Ferne zu überwachen. Damit erlaubt es den Angreifenden im Vorhinein das System auszukundschaften. Sobald ein Übergang in eine aktive Angriffsphase erfolgen soll, kann das Werkzeug gezielt in den Netzbetrieb eingreifen und Netzgebiete spannungslos schalten sowie gleichzeitig Netzwiederaufbauaktivitäten stören, indem gezielt Systemdateien gelöscht werden. Der gleiche Schadcode konnte jedoch nicht nur in der Ukraine gefunden werden. Im Fall von amerikanischen Netzbetreibern war der Befall in einigen Systemen über fünf Jahre zu verzeichnen, wobei insgesamt eine höhere Gesamtanzahl betroffen war. (Bartusiak et al., 2021; Roberto Setola et al., 2019)

Mit dem am 24.02.2022 eingeleiteten Ukrainekonflikt hat die Bedrohungslage durch APT eine neue Dimension erreicht. Die bereits im letzten Jahr vom BSI festgestellte Angriffserhöhung auf Energienetze hat nach dem russischen Angriff das BSI dazu veranlasst eine abstrakt erhöhte Bedrohungslage auszurufen. (Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik, 2021a, 2022b; Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik Pressestelle, 2022)

Erkennbar ist diese neue Cybersicherheitslage an folgenden kürzlich bekannt gewordenen (vermutlichen) APT-Angriffen bzw. Werkzeugen im Energiesektor:

- *AcidRain*-Cyberangriff auf das Satellitennetzwerk *Viasat KA-SAT* im Rahmen des Angriffs auf die Ukraine: Zeitgleich zum russischen Einmarsch in die Ukraine am 24.02.2022 fing ein *Wiper*-Modul der Schadsoftware *VPNFilter* an Satellitenrouter vollständig außer Betrieb zu setzen. Als vermutlicher Kollateralschaden zu großskaligen Ausfällen in der Ukraine, war der Enercon Fernzugriff für Serviceunternehmen und EEG-Direktvermarktern von ca. 11.000 MW deutscher Winderzeugungsleistung teilweise über Wochen ausgefallen. Nicht betroffen war hingegen der Zugriff von VNB zur Umsetzung von Netzengpassmaßnahmen. (Guerrero-Saade, 2022)
- Angriff auf den WEA-Hersteller Nordex SE am 31.03.2022: Aufgrund eines Angriffs auf unterschiedliche IT-Systeme des Unternehmens war u.a. die Fernüberwachung vom Hersteller zwischenzeitlich inaktiv. Ausgenommen von dem Ausfall war die

Kommunikation zwischen Netzbetreibern und Direktvermarktungsunternehmen zu den einzelnen WEA bzw. Windparks. (Nordex Group, 2022)

- Erfolgreiche Verteidigung gegen eine Cyberattacke auf das ukrainische Stromnetz mit dem APT-Werkzeug *Industroyer2* am 08.04.2022. Im Detail lief der Angriff in Form von Vorbereitungen zur Störung von ICS-Systemen bereits zwei Wochen. Ziel der abgewehrten Attacke war die Herbeiführung von Versorgungsausfällen von Hochspannungs-/MS-Übergabestationen. Bei dem eingesetzten Angriffswerkzeug handelt es sich um eine neue Version vom Vorgänger *Industroyer*, der im Dezember 2016 zu Stromausfällen im Raum Kyjiw geführt hat. (ESET Research, 2022)
- Professioneller Angriff auf das WEA-Betriebs- und Instandhaltungsunternehmen Deutsche Windtechnik AG am 11./12.04.2022. Zur Abwehr des Angriffs musste das Firmennetzwerk heruntergefahren werden. Als Resultat dieser Maßnahme war der Fernzugriff des Unternehmens auf WEA temporär eingeschränkt. Ein erstes Analyseergebnis im Auftrag der Deutsche Windtechnik AG ergab keinen schädlichen Zugriff auf einzelne WEA. Der WEA-Fernzugriff des Unternehmens ist seit dem 14.4.2022 wieder aktiv. (Deutsche Windtechnik AG, 2022)
- Am 13.04.2022 erfolgte die Veröffentlichung einer Entdeckung eines neuen APT-Angriffswerkzeug *PIPEDREAM* zur potenziellen Kompromittierung klassischer speicherprogrammierbarer Steuereinheiten (SPS) in ICS-Umgebungen. Vermutlich kam *PIPEDREAM* bisher nicht zum praktischen Einsatz. Angriffsziele des neuen Werkzeugs sind vor allem Flüssigerdgasinfrastrukturen sowie leistungselektronische Komponenten in Stromversorgungssystemen. (Dragos, Inc.; Dragos, Inc., 2022)

Anhand dieser Auswahl an Beispielen ist erkennbar wie relevant neue sichere Infrastrukturen wie das iMSys sind. Nichtsdestotrotz ist das iMSys nicht die *eine* Lösung aufgrund der Einsatzgrenzen des Systems sowie der fehlenden, kurzfristigen breiten Verfügbarkeit (Buchmann et al., 2022; Wickert et al., 2022). Folglich ist hier die Herausforderung weitere Maßnahmen zur schnellen Erhöhung der Cybersicherheit zu identifizieren bzw. umzusetzen um die neue kritische Lage zu adressieren (wegewerk GmbH, 2022).

9. Fazit mit Ausblick

Bei der betrachteten Fokus-Technik des intelligenten Messsystems als ein Kernbaustein der deutschen Digitalisierungsstrategie der Energiewende bzw. mit dem Schwerpunkt auf dem Stromsektor konnten sechs Kernherausforderungen für die politisch geplante Beschleunigung des intelligenten Messsystems Rollout identifiziert werden:

1. **Akzeptanz- und Wissenslücke vom iMSys**

Trotz des offiziellen Rolloutbeginns seit Februar 2019 ist 33 % der Bevölkerung das iMSys zum Anfang von 2022 weiterhin nicht bekannt. Dies ist kritisch, da Studien zeigen, dass die Endkunden unter Umständen mit einem überraschenden Pflichtrollout eine kritische Haltung gegenüber dem iMSys entwickeln können. Neben der Wissenslücke ist rund ein Drittel der Menschen gegenüber der iMSys-Nutzung (eher) nicht aufgeschlossen (Stand: Anfang 2022). Um hier die Akzeptanz zu erhöhen sind vor allem ein vorteilhaftes Kosten-Nutzen-Verhältnis sowie eine Gewährleistung des Datenschutzes von zentraler Bedeutung.

2. **Defizit bei Planungs- und Rechtssicherheit**

Die Historie des iMSys ist seit den ersten Entwicklungen von einer Vielzahl an Verzögerungen und Neuausrichtungen der politischen Rahmenbedingungen geprägt. Das letzte große Ereignis war das Oberverwaltungsgerichtsurteil Anfang 2021, welches zu hoher Unsicherheit bei den Marktakteuren geführt hat. Aufgrund einer schnellen Reaktion von regulatorischer Seite konnte zeitnah mit einer MsbG-Novelle im Sommer 2022, als auch mit dem Rückzug der seit Februar 2019 gültigen Markterklärung, die kritischen Punkte aus dem Urteil adressiert werden. Nichtsdestotrotz ist der Rollout-Prozess weiterhin von Verzögerungen geprägt. Wichtigstes Beispiel ist die ausstehende Veröffentlichung der BSI TR-01309-5 sowie die zugehörige Testrichtlinie zur schnellen Zertifizierung der unterschiedlichen Systemeinheiten. Darüber hinaus besteht mit der weiterhin ausstehenden §14a EnWG Ausprägung bis Ende 2022 als zentrales Instrument zur kostengünstigen, sicheren und schnellen Integration insbesondere von Wärmepumpen und E-Kfz in der Niederspannung, sodass die nächste Stufe der Digitalisierung im Verteilnetzbetrieb ausgebremst wird. Gleichzeitig besteht mit der weiterhin ausstehenden Erneuerung der zurückgezogenen Markterklärung ein weiteres Hemmnis für die flächendeckende Umsetzung neuer Anwendungsfälle des iMSys, da hiermit ein Anreiz – die 10 % Mindestausbauquote – fehlt

alle grundzuständigen Messstellenbetreiber in einen flächendeckenden Rollout-Prozess schnellstmöglich einzubeziehen.

3. **Limitierter Nutzen der aktiven iMSys-Infrastruktur**

Mit den Verzögerungen auf regulatorischer sowie im Bereich der regulierten Marktkommunikation ist der Übergang in den Massenrollout weiterhin stark behindert. Als Resultat befinden sich die Ausbauzahlen des iMSys weiterhin auf niedrigem Niveau und die beteiligten Akteure können nicht von Skalierungseffekten profitieren. Die bisherigen im Markt produktiv umgesetzten Anwendungsfälle betreffen ausschließlich die lesende Richtung, während die potenziell attraktive bidirektionale Anbindung von flexiblen DEA der fehlenden Richtlinie BSI TR-01309-5 über einzelne Pilot- bzw. Forschungsprojekte hinaus entgegensteht. Sobald eine Lösung für die Koordination von Steuerzugriffen, als auch zertifizierte Systemeinheiten zur Verfügung stehen, können eine Vielzahl an unterschiedlichen werthaltigen Anwendungen vor allem in der Niederspannung zum Einsatz kommen. Gleiches gilt für die Sektorenkopplung hinsichtlich der Notwendigkeit kostenarme, skalierbare Datenübertragung zwischen den Sektoren mithilfe von zukünftig zertifizierten Submetereinheiten umzusetzen, die zum Beispiel eng an bestehende als auch kommende IoT-Netzwerke andocken können. Zentral bei jeder iMSys-Nutzung ist die Herausforderung das kostenintensivere Bauteil, das SMGW, möglichst über eine Vielzahl an komplementären Anwendungen zu finanzieren bzw. einzelne wertbehaftete Anwendungen auf einem Gerät zu skalieren.

4. **Zugriff auf eine kostengünstige und leistungsfähige TK-Infrastruktur**

Vor allem die Möglichkeit der kurzfristigen Flexibilisierung von DEA beispielsweise für den Intradayhandel oder den Regelreservemarkt erlaubt potenziell den Zugriff auf wirtschaftlich attraktivere Märkte. Darüber hinaus sind alle zusätzlichen Anwendungsfälle per CLS-Kanal, die beispielsweise mit der Datenökonomie verbunden sein können, davon abhängig, dass eine günstige als auch performante Datenverbindung existiert. Mittel- bis langfristig ist hier unter Umständen bereits das 450 MHz Funknetz der 450connect GmbH ein erfolgsversprechender Ansatz. Für den kurzfristigen Einsatz von iMSys sowie einen großflächigen Ausbau sind weitere Telekommunikationsansätze vonnöten, so dass diese nicht neben dem zentralen, schwarzfallfesten 450 MHz Netzausbau aus dem Blick geraten dürfen.

5. **Fachkräftemangel**

Die Beschleunigung der Energiewende sowie des iMSys-Rollout als Teil der deutschen Digitalisierungsaktivitäten ist geprägt von zunehmenden Fachkräftemangel. Dieser Mangel zeigt sich derzeit deutlich auf dem höchsten Anforderungsniveau, den Expert:innen sowie beim zentralen Elektrohandwerk zur praktischen Umsetzung. Umso höher kurzfristig die Nachfrage nach Fachkräften ist, umso wahrscheinlicher ist mit einem Hindernis zu rechnen. Zudem ist vermutlich in mittel- bis langfristiger Sicht mit einer Verschärfung der Situation zu rechnen, insofern keine Gegenmaßnahmen erfolgreich sind.

6. **Kritische Cybersicherheitslage**

Als letzte Herausforderung konnte gezeigt werden, wie wichtig insbesondere kurzfristige Lösungen zur Erhöhung der Cybersicherheit sind. Mit dem russischen Angriff auf die Ukraine hat sich die Lage signifikant verschlechtert. Erste Auswirkungen wie der Telekommunikationsausfall zur Anbindung von 11 GW installierter Windleistung sind möglicherweise ein Vorbote für eine neue verschärfte Bedrohungslage der deutschen Energieversorgung. Damit ist ein energiepolitisches Kernziel, die Aufrechterhaltung der Versorgungssicherheit, mit einer zusätzlichen Unsicherheit zu der bereits bestehenden Energierohstoffknappheit belegt (Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz, 2022a).

Falls diese Herausforderungen konsequent adressiert werden, kann das iMSys mit den weiterhin relevanten Ansätzen von *security-* und *privacy-by-design* ein erfolgreicher Baustein bei der Digitalisierung der Energiewende sein. Nichtsdestotrotz wird es nicht *die* Lösung sein, sondern es muss unter anderem ein sinnvoller Übergang mit bestehenden Informations- und Kommunikationsansätzen gefunden werden, damit die bestehenden Möglichkeiten der Digitalisierung bereits kurzfristig die Energiewende nach vorne bringen können.

In welchen Varianten mögliche Lösungsansätze vor allem für die sechs identifizierten Herausforderungen aussehen könnten, wird im direkten Ariadne-Nachfolgeprodukt *Bericht zu Maßnahmen in der Digitalisierung der Energieversorgung zur Erreichbarkeit der Energiewende-Szenarien* untersucht. Nach aktueller Planung ist eine Veröffentlichung Anfang 2023 vorgesehen.

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Beschreibung
aEMT	aktiver externer Marktteilnehmer
aFRR	<i>automatic Frequency Restoration Reserve</i> (Sekundärregelreserve)
ANB	Anschlussnetzbetreiber
APT	<i>advanced persistence threat</i>
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie
BMWK	Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (ehemals BMWi)
BNetzA	Bundesnetzagentur
bne	Bundesverband Neue Energiewirtschaft
BPL	Breitband-Powerline-Kommunikation
BSI	Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik
CC	<i>Common Criteria</i>
CLS	Controllable Local System
CPS	cyberphysikalisches System
DEA	Dezentrale Energieanlagen
EAF	Energieanwendungsfall
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
EG	Europäische Gemeinschaft
E-Kfz	Elektrokraftfahrzeugen
EMT	externer Marktteilnehmer
EMS	Energiemanagementsystem
EnWG	Energiewirtschaftsgesetz
ERD	energiewirtschaftlich relevanten Daten
EU	Europäische Union
FCR	<i>Frequency Containment Reserve</i> (Primärregelreserve)
FNN	Forum Netztechnik/Netzbetrieb
GDEW	Gesetz zur Digitalisierung der Energiewende
gMSB	grundzuständiger Messstellenbetreiber
GWA	Gateway Administrator

HAN	Home Area Network
HEMS	Heimenergiemanagementsystem
HeizkostenV	Heizkostenverordnung
HKE	Home Area Network Kommunikationsadaptereinheit
ICS	<i>industrial control systems</i>
IKT	Informations- und Kommunikationstechnologien
iMSys	intelligentes Messsystem
IoT	<i>Internet of Things</i>
IT	Informationstechnik
kME	konventionelle Messeinrichtung
KRITIS	kritische Infrastruktur
kWh	Kilowattstunde
KWKG	Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz
LMN	Local Meteorological Network
MaKo	Marktkommunikation
MDM	Messdatenmanagement
mFRR	<i>manual Frequency Restoration Reserve</i> (Tertiärregelreserve)
MHz	Megahertz
mME	moderne Messeinrichtung
MSB	Messstellenbetreiber
MsbG	Messstellenbetriebsgesetz
MS	Mittelspannung
NS	Niederspannung
OT	<i>operational technologies</i>
OVG	Oberverwaltungsgericht
pEMT	passiver externer Marktteilnehmer
PP	Protection Profile
PTB	Physikalisch-Technische Bundesanstalt
PtX	<i>power-to-X</i>
POG	Preisobergrenze
PV	Photovoltaikanlagen

RLM	registrierende Leistungsmessung
RR	Regelreserve
SE	Steuereinheit
SLP	Standardlastprofilkunden
SME	Submeteringseinheit
SMGW	Smart Meter Gateway
SM-PKI	Smart Metering Public Key Infrastruktur
SPS	speicherprogrammierbare Steuereinheiten
SRL	<i>System Readiness Level</i>
SteuVerG	Steuerbare-Verbrauchseinrichtungen-Gesetz
TAF	Tarifanwendungsfall
TK	Telekommunikation
TR	technische Richtlinie
ÜNB	Übertragungsnetzbetreiber
VDE	Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e.V.
VNB	Verteilnetzbetreiber
WAN	Wide Area Network
WEA	Windenergieanlagen
wMSB	wettbewerblicher Messstellenbetreiber

Literaturangaben

- 450connect GmbH (2022a) *450connect beauftragt Nokia mit Lieferung der Netztechnik für das LTE450-Netz für kritische Infrastrukturen in Deutschland* - 450connect [Online], Köln. Verfügbar unter <https://www.450connect.de/450connect-beauftragt-nokia-mit-lieferung-der-netztechnik-fuer-das-lte450-netz-fuer-kritische-infrastrukturen-in-deutschland?s=&cat=18> (Abgerufen am 7 März 2022).
- 450connect GmbH (2022b) *Vantage Towers stellt deutschlandweit Funktürme für das krisensichere Funknetz von 450connect bereit* - 450connect [Online], Düsseldorf. Verfügbar unter <https://www.450connect.de/vantage-towers-stellt-deutschlandweit-funktuerme-fuer-das-krisensichere-funknetz-von-450connect-bereit?s=&cat=18> (Abgerufen am 7 März 2022).
- 450connect GmbH (2022c) *LBBW finanziert den Aufbau des bundesweiten LTE450-Funknetzes durch 450connect* - 450connect [Online], Köln/Stuttgart. Verfügbar unter <https://www.450connect.de/lbbw-finanziert-den-aufbau-des-bundesweiten-lte450-funknetzes-durch-450connect?s=&cat=18> (Abgerufen am 7 März 2022).
- 450connect GmbH (2022d) *450connect: Comarch neuer Partner des alleinigen Betreibers der 450MHz-Frequenzen* - 450connect [Online], Köln/Krakau. Verfügbar unter <https://www.450connect.de/450connect-comarch-neuer-partner-des-alleinigen-betreibers-der-450mhz-frequenzen?s=&cat=18>.
- 50Hertz, Amprion, TenneT & TransnetBW (Hg.) (2017a) *Mindestanforderungen an die Informationstechnik des Anbieters für die Erbringung von Abschaltleistung* [Online]. Verfügbar unter <https://www.regelleistung.net/ext/download/ablaAnforderungenInformationstechnik>.
- 50Hertz, Amprion, TenneT & TransnetBW (Hg.) (2017b) *Abschaltbare Lasten: Präqualifikations-Anforderungen* [Online]. Verfügbar unter <https://www.regelleistung.net/ext/download/ablaPraelqualifikationsanforderungen>.
- 50Hertz, Amprion, TenneT & TransnetBW (Hg.) (2022a) *EINFÜHRUNG EINES SYSTEMDIENSTLEISTUNGS-PRODUKT ZUR SYSTEMSTABILITÄTSSTÜTZUNG IM ECHTZEITBEREICH AUS ABSCHALTBAREN LASTEN* [Online]. Verfügbar unter https://www.regelleistung.net/ext/download/Whitepaper_ABLA_SDL_2022_04_22.
- 50Hertz, Amprion, TenneT & TransnetBW (Hg.) (2022b) *Präqualifikationsverfahren für Regelreserveanbieter (FCR, aFRR, mFRR) in Deutschland ("PQ-Bedingungen"): Version: 1.04* [Online]. Verfügbar unter https://www.regelleistung.net/ext/download/PQ_Bedingungen_FCR_aFRR_mFRR_2022.
- A. Schoen, J. Ulfers, H. Maschke, E. Junge, C. Bott, L. Thurner & M. Braun (2021) „Considering Control Approaches for Electric Vehicle Charging in Grid Planning“, *ETG Congress 2021*, 716-721.
- Accenture & Fraunhofer IKS (Hg.) (2017) *Smart Grid = Connected Grid: Kommunikationstechnologien als Grundlage des Smart Grid* [Online]. Verfügbar unter <https://www.iks.fraunhofer.de/content/dam/esk/dokumente/Smart%20Grid%20Connected%20Grid.pdf>.
- Aichele, C. & Doleski, O. D. (2013) *Smart Meter Rollout: Praxisleitfaden zur Ausbringung intelligenter Zähler*, Wiesbaden, Springer Vieweg.
- Appelrath, H-J, Kagermann, H & Mayer, C (Hg.) (2012) *Future Energy Grid: Migrationspfade ins Internet der Energie*, acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften [Online]. Verfügbar unter <https://www.acatech.de/publikation/future-energy-grid-migrationspfade-ins-internet-der-energie/download-pdf?lang=de>.
- Barbara-Christine Schild & Gabriele T. Braun (2017) *NQuE-Abschlussbericht Qualifizierung in der Elektromobilität* [Online]. Verfügbar unter https://www.nque.de/dokumente/pdf/BIBB_NQuE_Netzwerk_Qualifizierung_Elektromobilitaet_Abschlussbericht_20170425.pdf.
- Bartusiak, A., Kühne, M., Nitschke, O. & Rösch, D. (2021) *Aktuelle Herausforderungen für die Cybersicherheit in der Energieversorgung* [Online]. Verfügbar unter <https://www.iosb-ast.fraunhofer.de/de/abteilungen/kognitive-energiesysteme/lernlabor-cybersicherheit-energie-wasserversorgung/whitepaper-cybersicherheit-energieversorgung.html>.
- BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. (2021) *E-Mobilität nicht durch Schüren von unbegründeten Ängsten gefährden: BDEW zur Debatte über privates Laden und das Modell der Spitzenglättung* [Online], Berlin. Verfügbar unter <https://www.bdew.de/presse/presseinformationen/e-mobilitaet-nicht-durch-schueren-von-unbegrueendeten-aengsten-gefaehrden/>.

- Beschlusskammer 6 BK6-22-128: *Festlegungsverfahren zur prozessualen Abwicklung von Steuerungshandlungen in Verbindung mit intelligenten Messsystemen (iMS) (Universalbestellprozess)* [Online]. Verfügbar unter https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Beschlusskammern/1_GZ/BK6-GZ/2022/BK6-22-128/Anlagen_Konsultation/BK6-22-128_Erl_Rahmenbedingungen.pdf?__blob=publicationFile&v=1.
- Beschlusskammer 6 (2020) *Festlegungsverfahren zur Weiterentwicklung der Netzzugangsbedingungen Strom* [Online]. Verfügbar unter https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Beschlusskammern/1_GZ/BK6-GZ/2020/BK6-20-160/BK6-20-160_beschluss_vom_21.12.2020.pdf?__blob=publicationFile&v=1.
- Beschlusskammer 6 (2022a) BK6-22-128: *Eröffnung eines Festlegungsverfahrens zur prozessualen Abwicklung von Steuerungshandlungen in Verbindung mit intelligenten Messsystemen (iMS) (Universalbestellprozess)* [Online]. Verfügbar unter https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Beschlusskammern/1_GZ/BK6-GZ/2022/BK6-22-128/BK6-22-128-EroeffnungVerf.html.
- Beschlusskammer 6 (2022b) *Positionspapier: zur Konkretisierung der Reichweite energiewirtschaftlich relevanter Mess- und Steuerungsvorgänge nach § 19 Absatz 2 MsbG* [Online]. Verfügbar unter https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Beschlusskammern/1_GZ/BK6-GZ/2022/BK6-22-253/BK6-22-253_Positionspapier_download.pdf?__blob=publicationFile&v=1.
- Bögelein, L. (2019) *Evolution der Ortsnetzstation: Aus intelligenter wird digitale Ortsnetzstation* [Online] (netzpraxis - Magazin für Energieversorgung). Verfügbar unter <https://www.energie.de/netzpraxis/news-detailansicht/nsctrl/detail/News/evolution-der-ortsnetzstation-aus-intelligent-wird-digital>.
- Bogensperger, A., Estermann, T., Samweber, F., Köppl, S., Müller, M., Zeislmaier, A. & Wohlschlager, D. (2018) *Smart Meter: Umwelt, Technik, Mehrwert* [Online]. Verfügbar unter https://www.ffe.de/attachments/article/851/FE_13549_Bericht_final_online.pdf.
- Breuer, A (Hg.) (2021) *Lösungen. Strategien. Impulse.: Für das Energiesystem der Zukunft*, in Vertretung für DESIGNETZ [Online]. Verfügbar unter https://www.designetz.de/fileadmin/downloads/DESIGNETZ_Band_1.pdf.
- Buchmann, M., Stark, S., Blank-Babazadeh, M. & Mayer, C. (2022) „Elektrische Verteilnetze resilient ausbauen – Herausforderungen und Handlungsoptionen“, *Zeitschrift für Energiewirtschaft*, Vol. 46, No. 1, S. 27–39.
- Bundesagentur für Arbeit (Hg.) (2021) *Klassifikation der Berufe 2010 – überarbeitete Fassung 2020: Band 1: Systematischer und alphabetischer Teil mit Erläuterungen* [Online]. Verfügbar unter https://statistik.arbeitsagentur.de/DE/Statischer-Content/Grundlagen/Klassifikationen/Klassifikation-der-Berufe/KldB2010-Fassung2020/Printausgabe-KldB-2010-Fassung2020/Generische-Publikationen/KldB2010-PDF-Version-Band1-Fassung2020.pdf?__blob=publicationFile&v=18.
- Bundesagentur für Arbeit (Hg.) (2022) *Fachkräft radar* [Online]. Verfügbar unter <https://arbeitsmarktmonitor.arbeitsagentur.de/faktencheck/fachkraefte/> (Abgerufen am 26 April 2022).
- Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik Pressestelle (2022) *Einschätzung der aktuellen Cyber-Sicherheitslage in Deutschland nach dem russischen Angriff auf die Ukraine* [Online], Bonn. Verfügbar unter https://www.bsi.bund.de/DE/Service-Navi/Presse/Pressemitteilungen/Presse2022/220225_Angriff-Ukraine-Statement.html;internet481?nn=132646.
- Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI) (Hg.) *Aktuelle Registrierungen bei der SM-PKI Root-CA* [Online]. Verfügbar unter https://www.bsi.bund.de/DE/Themen/Unternehmen-und-Organisationen/Standards-und-Zertifizierung/Smart-metering/Smart-Meterin-PKI/Registrierte_Sub-CAs/registrierte_sub_cas_node.html (Abgerufen am 4 Oktober 2022).
- Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI) (Hg.) *Zertifikatsnachweise nach § 25 MsbG* [Online]. Verfügbar unter https://www.bsi.bund.de/DE/Themen/Unternehmen-und-Organisationen/Standards-und-Zertifizierung/Smart-metering/Administration-und-Betrieb/Zertifikate25MsbG/zertifikate25MsbG_node.html (Abgerufen am 4 Oktober 2022).
- Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI) (Hg.) (2014) *Protection Profile for the Security Module of a Smart Meter Gateway (Security Module PP): Schutzprofil für das Sicherheitsmodul der Kommunikationseinheit eines intelligenten Messsystems für Stoff- und Energiemengen* BSI-CC-PP-0077-V2 [Online]. Verfügbar unter https://www.bsi.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/BSI/Zertifizierung/Reporte/ReportePP/pp0077V2b_pdf?__blob=publicationFile&v=1.

- Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI) (Hg.) (2017) *Technische Richtlinie BSI TR-03109-4: Smart Metering PKI - Public Key Infrastruktur für Smart Meter Gateways* [Online]. Verfügbar unter https://www.bsi.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/BSI/Publikationen/TechnischeRichtlinien/TR03109/TR-03109-4_PKI.pdf?__blob=publicationFile&v=3.
- Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI) (Hg.) (2019a) *Technische Richtlinie BSI TR 03109-1: Anforderungen an die Interoperabilität der Kommunikationseinheit eines 3 intelligenten Messsystemsintelligenten Messsystems* [Online]. Verfügbar unter https://www.bsi.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/BSI/Publikationen/TechnischeRichtlinien/TR03109/TR03109-1.pdf?__blob=publicationFile&v=3.
- Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI) (Hg.) (2019b) *Standardisierungsstrategie zur sektorübergreifenden Digitalisierung nach dem Gesetz zur Digitalisierung der Energiewende: Roadmap für die Weiterentwicklung der technischen BSI-Standards in Form von Schutzprofilen und Technischen Richtlinien* [Online]. Verfügbar unter https://www.bsi.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/BSI/SmartMeter/standardisierungsstrategie.pdf?__blob=publicationFile&v=3.
- Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI) (Hg.) (2020a) *Das Smart-Meter-Gateway: Cyber-Sicherheit für die Digitalisierung der Energiewirtschaft* [Online]. Verfügbar unter https://www.bsi.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/BSI/Publikationen/Broschueren/Smart-Meter-Gateway.pdf?__blob=publicationFile&v=11.
- Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI) (Hg.) (2020b) *Allgemeinverfügung zur Feststellung der technischen Möglichkeit zum Einbau intelligenter Messsysteme* [Online]. Verfügbar unter https://www.bsi.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/BSI/SmartMeter/Marktanalysen/Allgemeinverfuegung_Feststellung_Einbau_01_2020.pdf?__blob=publicationFile&v=5.
- Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI) (Hg.) (2020c) *Marktanalyse zur Feststellung der technischen Möglichkeit zum Einbau intelligenter Messsysteme nach § 30 MsbG: Version 1.2* [Online]. Verfügbar unter https://www.bsi.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/BSI/SmartMeter/Marktanalysen/Marktanalyse_nach_Para_30_MsbG_v1_2.pdf?__blob=publicationFile&v=2.
- Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI) (Hg.) (2021a) *Die Lage der IT-Sicherheit in Deutschland 2021* [Online]. Verfügbar unter https://www.bsi.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/BSI/Publikationen/Lageberichte/Lagebericht2021.pdf?__blob=publicationFile&v=3.
- Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI) (Hg.) (2021b) *Anforderungen an die Interoperabilität der Kommunikationseinheit eines intelligenten Messsystems: Technische Richtlinie BSI TR-03109-1* [Online]. Verfügbar unter https://www.bsi.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/BSI/Publikationen/TechnischeRichtlinien/TR03109/TR03109-1.pdf?__blob=publicationFile&v=4.
- Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI) (Hg.) (2021c) *Technische Richtlinie BSI TR-03109: BSI-TR-03109 - Dachdokument* [Online]. Verfügbar unter https://www.bsi.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/BSI/Publikationen/TechnischeRichtlinien/TR03109/TR03109.pdf?__blob=publicationFile&v=3.
- Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI) (Hg.) (2021d) *Stufenmodell zur Weiterentwicklung der Standards für die Digitalisierung der Energiewende: Rahmenbedingungen für die Weiterentwicklung der BSI-Spezifikationen* [Online]. Verfügbar unter https://www.bsi.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/BSI/SmartMeter/Stufenmodell/Weiterentwicklung_BSI-Spezifikationen.pdf?__blob=publicationFile&v=5.
- Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI) (Hg.) (2022a) *BSI TR-03109 Technische Vorgaben für intelligente Messsysteme und deren sicherer Betrieb* [Online]. Verfügbar unter https://www.bsi.bund.de/DE/Themen/Unternehmen-und-Organisationen/Standards-und-Zertifizierung/Technische-Richtlinien/TR-nach-Thema-sortiert/tr03109/TR-03109_node.html (Abgerufen am 21 April 2022).
- Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI) (2022b) *Cyber-Sicherheitslage zur Ukraine-Krise - Einschätzung der aktuellen Cyber-Sicherheitslage in Deutschland nach dem russischen Angriff auf die Ukraine* [Online], Bonn. Verfügbar unter https://www.bsi.bund.de/DE/Service-Navi/Presse/Pressemitteilungen/Presse2022/220225_Angriff-Ukraine-Statement.html (Abgerufen am 21 April 2022).
- Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI) (Hg.) (2022c) *Allgemeinverfügung zur Feststellung nach § 19 Abs. 6 Messstellenbetriebsgesetz* [Online]. Verfügbar unter <https://www.bsi.bund.de>

- /SharedDocs/Downloads/DE/BSI/SmartMeter/Marktanalysen/Allgemeinverfuegung_Feststellung_Para_19_Abs_6.pdf?__blob=publicationFile&v=5.
- Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI) (2022d) *Smart Meter: Rücknahme der Allgemeinverfügung vom 7. Februar 2020* [Online], Bonn. Verfügbar unter https://www.bsi.bund.de/DE/Service-Navi/Presse/Pressemitteilungen/Presse2022/220520_Uebergangregelung-SMGW.html.
- Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI) & Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) (Hg.) (2021a) *Technische Eckpunkte für die Weiterentwicklung der Standards: Cyber-Sicherheit für die Digitalisierung der Energiewende* [Online]. Verfügbar unter https://www.bsi.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/BSI/SmartMeter/technische_eckpunkte.pdf?__blob=publicationFile&v=6.
- Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI) & Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) (Hg.) (2021b) *Stufenmodell zur Weiterentwicklung der Standards für die Digitalisierung der Energiewende: Energiewirtschaftliche Anwendungsfälle* [Online]. Verfügbar unter https://www.bsi.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/BSI/SmartMeter/Stufenmodell/Energiewirtschaftliche_Anwendungsaefaele.pdf?__blob=publicationFile&v=5.
- Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) (Hg.) (2022a) *Fortschrittsbericht Energiesicherheit: Deutschland reduziert Energieabhängigkeit von Russland in hohem Tempo* [Online]. Verfügbar unter https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/Energie/0325_fortschrittsbericht_energiesicherheit.pdf?__blob=publicationFile&v=16.
- Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) (Hg.) (2022b) *Zweiter Förderaufruf zur Weiterentwicklung und Anwendung der Smart Meter Gateway - Kommunikationsplattform für die Digitalisierung von Energienetzen (DigENet II)* [Online]. Verfügbar unter https://www.energieforschung.de/lw_resource/datapool/systemfiles/elements/files/E3D6D5C1512611BBE0537E695E86AF62/current/document/220714_F%C3%B6rderaufruf_DigENet_II_final.pdf.
- Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen (Hg.) (2022a) *Mitteilung Nr. 27: Verschiebung der Umsetzung der Datenformate einschließlich der Marktkommunikation 2022 auf den 01.10.2022* [Online]. Verfügbar unter https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Beschlusskammern/BK06/BK6_83_Zug_Mess/835_mitteilungen_datenformate/Mitteilung_27/Mitteilung_Nr_27.html.
- Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen (Hg.) (2022b) *Bericht zum Zustand und Ausbau der Verteilernetze 2021: Berichte der Verteilernetzbetreiber gem. § 14 Abs. 1a und 1b EnWG (alte Fassung)* [Online]. Verfügbar unter https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Energie/Unternehmen_Institutionen/NetzentwicklungUndSmartGrid/ZustandAusbauVerteilernetze2021.pdf?__blob=publicationFile&v=3.
- Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen & Bundeskartellamt (Hg.) (2017) *Monitoringbericht 2017: Monitoringbericht gemäß § 63 Abs. 3 i. V. m. § 35 EnWG und § 48 Abs. 3 i. V. m. § 53 Abs. 3 GWB* [Online]. Verfügbar unter https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Mediathek/Monitoringberichte/Monitoringbericht2017.pdf?__blob=publicationFile&v=4.
- Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen & Bundeskartellamt (Hg.) (2019) *Monitoringbericht 2018: Monitoringbericht gemäß § 63 Abs. 3 i. V. m. § 35 EnWG und § 48 Abs. 3 i. V. m. § 53 Abs. 3 GWB* [Online]. Verfügbar unter https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Mediathek/Monitoringberichte/Monitoringbericht2018.pdf?__blob=publicationFile&v=6.
- Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen & Bundeskartellamt (Hg.) (2020) *Monitoringbericht 2019: Monitoringbericht gemäß § 63 Abs. 3 i. V. m. § 35 EnWG und § 48 Abs. 3 i. V. m. § 53 Abs. 3 GWB* [Online]. Verfügbar unter https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Mediathek/Monitoringberichte/Monitoringbericht_Energie2019.pdf?__blob=publicationFile&v=6.
- Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen & Bundeskartellamt (Hg.) (2021a) *Monitoringbericht 2020: Monitoringbericht gemäß § 63 Abs. 3 i. V. m. § 35 EnWG und § 48 Abs. 3 i. V. m. § 53 Abs. 3 GWB* [Online]. Verfügbar unter https://www.bundeskartellamt.de/SharedDocs/Publikation/DE/Berichte/Energie-Monitoring-2020.pdf?__blob=publicationFile&v=4.

- Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen & Bundeskartellamt (Hg.) (2021b) *Monitoringbericht 2021: Monitoringbericht gemäß § 63 Abs. 3 i. V. m. § 35 EnWG und § 48 Abs. 3 i. V. m. § 53 Abs. 3 GWB* [Online]. Verfügbar unter https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Mediathek/Monitoringberichte/Monitoringbericht_Energie2021.pdf?__blob=publicationFile&v=2.
- Bundesverband der Deutschen Heizungsindustrie (BDH) (Hg.) (2022) *Zielbild Wärmemarkt 2045: Strategische Marktentwicklung* [Online]. Verfügbar unter https://www.bdh-industrie.de/fileadmin/user_upload/Broschueren/BDH_Zielbild_Waermemarkt_2045.pdf.
- Bundesverband Neue Energiewirtschaft e.V. (bne) *Bundesregierung verspricht Entwurf für Entbürokratisierungsgesetz bis Jahresende* [Online], Berlin. Verfügbar unter <https://www.bne-online.de/de/news/detail/bne-pressemitteilung-graichen-kuendigt-entbuerokratisierungspaket-bis-ende-2022-an/>.
- Bundesverband Neue Energiewirtschaft e.V. (bne) (Hg.) (2018) *Branchenkompass: Markt- und Anbieterübersicht: Wettbewerbliche Messstellenbetreiber und Dienstleister* [Online]. Verfügbar unter <https://www.bne-online.de/de/news/detail/bne-branchenuebersicht-zu-messstellenbetreibern-und-dienst-leistern/>.
- Burstedde, A., Flake, R., Malin, L., Risius, P. & Werner, D. (2018) *Fachkräfte für die digitale Transformation: Arbeitsmarktsituation und Gestaltungsmöglichkeiten*, Institut der deutschen Wirtschaft Köln e. V. [Online]. Verfügbar unter https://www.familienunternehmen.de/media/public/pdf/publikationen-studien/studien/fachkraefte-fuer-die-digitale-transformation/Fachkraefte-fuer-die-digitale-Transformation_Stiftung-Familienunternehmen.pdf.
- Claroty Ltd. (Hg.) (2022) *Claroty Biannual ICS Risk & Vulnerability Report: 2H 2021* [Online]. Verfügbar unter <https://security.claroty.com/l/902751/biannual-report-2h21/3drnqp>.
- Consolinno Energy GmbH (Hg.) *Optimierung: Optimieren heißt flexibel sein. Energie wird dann produziert, wenn sie benötigt wird* [Online]. Verfügbar unter <https://consolinno.de/steuern/>.
- Cramer, W., Gebhardt, S., Jessenberger, S. & Metzger, M. (2021) *Lokale Energiemärkte für eine kostenoptimierte Energiewende: Eine Blaupause für die nächste Bundesregierung?* [Online]. Verfügbar unter <https://pebbles-projekt.de/wp-content/uploads/2021/09/pebbles-Policy-Paper.pdf>.
- Dengler, K. & Matthes, B. (2021) *Folgen des technologischen Wandels für den Arbeitsmarkt: Auch komplexere Tätigkeiten könnten zunehmend automatisiert werden*, Nürnberg: Institut für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung (IAB), IAB-Kurzbericht 13/2021 [Online]. Verfügbar unter <https://www.econstor.eu/handle/10419/240181>.
- Deutsche Telekom Security GmbH (Hg.) *Smart Metering PKI (SM-PKI) - Überblick* [Online]. Verfügbar unter <https://www.telesec.de/de/branchen-and-eco-systeme/smart-metering-pki/ueberblick/> (Abgerufen am 21 April 2022).
- Deutsche Windtechnik AG (2022) *Cyber-Angriff auf Deutsche Windtechnik* [Online]. Verfügbar unter <https://www.deutsche-windtechnik.com/presseinformationen/item/462-Cyber-Angriff-auf-Deutsche-Windtechnik>.
- Di Nucci, M. R. (2014) „The Roll-out of Smart Metering between Discording Interests and Institutional Inertia“, in Brunnengräber, A. & Di Nucci, M. R. (Hg.) *Im Hürdenlauf zur Energiewende*, Wiesbaden, Springer Fachmedien Wiesbaden, S. 265–287.
- Die Bundesregierung (Hg.) (2021) *Mehr Fortschritt wagen: Bündnis für Freiheit, Gerechtigkeit und Nachhaltigkeit* [Online]. Verfügbar unter <https://www.bundesregierung.de/resource/blob/974430/1990812/04221173eef9a6720059cc353d759a2b/2021-12-10-koav2021-data.pdf?download=1>.
- Dierks, S. (2022a) „Redispatch 3.0 braucht Smart-Meter-Rollout“, *energate messenger*, 19. Januar [Online]. Verfügbar unter <https://www.energate-messenger.de/news/219334/redispatch-3.0-braucht-smart-meter-rollout>.
- Dierks, S. (2022b) *Gateway-Zertifizierung: Da waren's nur noch sechs: Smart-Meter-Rollout* [Online]. Verfügbar unter <https://www.energate-messenger.de/news/223292/gateway-zertifizierung-da-waren-s-nur-noch-sechs>.
- Dierks, S. (2022c) *Zerres stellt geänderte Regulierung in Aussicht: FGE-Tagung* [Online]. Verfügbar unter <https://www.energate-messenger.de/news/226721/zerres-stellt-geaenderte-regulierung-in-aussicht>.

- Discoveryg GmbH (Hg.) (2021) *Energiemonitoring mit Smart Metern - Discoveryg GmbH* [Online], Heidelberg. Verfügbar unter <https://discoveryg.com/smart-metering-loesungen/portal?real-time>.
- Doleski, OD (Hg.) (2017) *Herausforderung Utility 4.0: Wie sich die Energiewirtschaft im Zeitalter der Digitalisierung verändert*, Wiesbaden, Springer Vieweg.
- Dragos, Inc. *CHERNOVITE: since 2021* [Online]. Verfügbar unter <https://www.dragos.com/threat/chernovite/> (Abgerufen am 19 April 2022).
- Dragos, Inc. (2022) *CHERNOVITE's PIPEDREAM Malware Targeting Industrial Control Systems (ICS)* [Online]. Verfügbar unter <https://www.dragos.com/blog/industry-news/chernovite-pipedream-malware-targeting-industrial-control-systems/> (Abgerufen am 19 April 2022).
- E.ON Energie Deutschland GmbH (Hg.) (2022) *Smarter Tarif in Verbindung mit einem intelligenter Zähler* [Online], München. Verfügbar unter <https://www.eon.de/de/pk/strom/smartstromoeko/hinweis.html>.
- E.ON SE (Hg.) *E.ON ectogrid™ - our solution to reach zero emission levels* [Online], Essen. Verfügbar unter <https://www.eon.com/en/business-customers/technology/ectogrid.html>.
- ESET Research (Hg.) (2022) *Industroyer2: Industroyer reloaded: This ICS-capable malware targets a Ukrainian energy company* [Online]. Verfügbar unter <https://www.welivesecurity.com/2022/04/12/industroyer2-industroyer-reloaded/> (Abgerufen am 19 April 2022).
- Estermann, T. (2022) *Dezentrale Flexibilität und Smart Metering im netzdienlichen Einsatz*, Dissertation, Technische Universität München [Online]. Verfügbar unter <https://mediatum.ub.tum.de/1622115>.
- Estermann, T., Müller, M., Weiß, A. & Würtenberg, I. (2018) *Steuerbox im Feldversuch: Umsetzung von Schalthandlungen mit der zukünftigen Smart-Grid-Infrastruktur bestehend aus intelligentem Messsystem und Steuerbox* [Online]. Verfügbar unter https://www.researchgate.net/deref/https%3A%2F%2Fwww.ffe.de%2Fattachments%2Farticle%2F765%2FPaper_Steuerbox%2520im%2520Feldversuch.pdf.
- Estermann, T., Springmann, E. & Köppl, S. (2021) „Method for determining the feasibility of grid and ancillary services through smart meter“, *Smart Energy*, Vol. 2 [Online]. DOI: 10.1016/j.segy.2021.100018.
- Förderer, K., Lösch, M., Növer, R., Ronczka, M. & Schmeck, H. (2019) „Smart Meter Gateways: Options for a BSI-Compliant Integration of Energy Management Systems“, *Applied Sciences*, Vol. 9, No. 8.
- Franzén, I., Nedar, L. & Andersson, M. (2019) „Environmental Comparison of Energy Solutions for Heating and Cooling“, *Sustainability*, Vol. 11, No. 24, S. 7051.
- Gaggermeier, C. (2022) *Handbuch für den Fachkräftenradar* [Online]. Verfügbar unter <https://arbeitsmarktmonitor.arbeitsagentur.de/downloads/322/>.
- Gesellschaft für Energie und Klimaschutz Schleswig-Holstein GmbH (Hg.) (2021) *Forschungsberichte zum Energiesystem X.0: Nr. 1: Intelligente und effiziente Vernetzung von Energieerzeugern und -verbrauchern auf Quartiersebene* [Online]. Verfügbar unter https://www.eksh.org/fileadmin/redakteure/downloads/publikationen/Forschungsberichte_X_0_1_2021_ISSN.pdf.
- GISA GmbH (2022) *GISA, Audi, MITNETZ STROM und Robotron setzen Elektromobilität netzverträglich um* [Online], Halle (Saale). Verfügbar unter <https://www.gisa.de/gisa-audi-mitnetz-strom-robotron-elektromobilitaet/>.
- González, J. & Blenk, J.-P. (2020) „Ausprägung und Betrieb der neuen Funktion „Smart-Meter-Gateway-Administration““, in Doleski, O. D. (Hg.) *Realisierung Utility 4.0 Band 2*, Wiesbaden, Springer Fachmedien Wiesbaden, S. 277–299.
- GreenPocket GmbH (Hg.) (2022) *Rollout: Energietransparenz für Privatkunden* [Online], Köln. Verfügbar unter <https://www.greenpocket.com/de/produkte/privatkunden>.
- Greveler, U. (2016) „Die Smart-Metering-Debatte 2010–2016 und ihre Ergebnisse zum Schutz der Privatsphäre“, *Datenbank-Spektrum*, Vol. 16, No. 2, S. 137–145.
- Großjohann, G. (2022) *BSI nimmt Allgemeinverfügung zum Smart Meter-Rollout zurück* [Online]. Verfügbar unter <https://energie.blog/bsi-nimmt-allgemeinverfuegung-vom-7-februar-2020-zum-smart-meter-rollout-zurueck/>.
- Guerrero-Saade, J. A. (2022) *AcidRain | A Modem Wiper Rains Down on Europe* [Online]. Verfügbar unter <https://www.sentinellone.com/labs/acidrain-a-modem-wiper-rains-down-on-europe/> (Abgerufen am 19 April 2022).

- Hannen, P. (2022) *Sonnen und Esforin ermöglichen privaten Haushalten den Intraday-Stromhandel* [Online]. Verfügbar unter <https://www.pv-magazine.de/2022/06/22/sonnen-und-esforin-ermoeneglichen-pri- vaten-haushalten-den-intraday-stromhandel/>.
- Hannes Gaschnig & Thomas Göllinger (2019) *Das Zielkreiskonzept als Instrument zur Analyse und Kom- munikation energiepolitischer Ziele*.
- Hartke, F. (2019) „Die Flexibilität in den Griff bekommen: CLS-Management in der Praxis“, *ew – Maga- zin für die Energiewirtschaft*, Vol. 10, S. 23–25.
- Hartmann, M. (2022) *Die Digitalisierung der Energiewende* [Online], Berlin. Verfügbar unter <https:// www.bitkom.org/sites/main/files/2022-03/Bitkom-Charts%20Energie2022.pdf>.
- Hausheld AG (2022) *Hausheld AG widerspricht der Aufhebung der BSI Markterklärung* [Online], Möncheng- ladbach. Verfügbar unter <https://hausheld.info/presseartikel/hausheld-ag-widerspricht-der-aufhe- bung-der-bsi-markterklärung.html>.
- Holl, F. (2021) *Die Akzeptanz von Smart Metern durch Endverbraucherinnen und Endverbraucher im Kontext von Smart Grids in Deutschland: Welche Faktoren haben einen Einfluss auf die Akzeptanz von Smart Metern?* [Online]. Verfügbar unter https://smartgrids-bw.net/public/uploads/2021/03/Die_Akzeptanz_ von_SmartMetern.pdf.
- Josef Schubert, D. K., Meyer, T. & Möst, D. (2015) „Die Transformation des deutschen Energiesystems aus der Perspektive der Bevölkerung“, *Zeitschrift für Energiewirtschaft*, Vol. 39, No. 1, S. 49–61.
- Karcher, P. & Fitzenberger, R. (2020) „Optimierung der Bewirtschaftung eines Netzbetreiberdiffe- renzbilanzkreises durch die Nutzung von Online-Smart-Meter-Daten“, in Doleski, O. D. (Hg.) *REALI- SIERUNG UTILITY 4.0: Praxis der digitalen energiewirtschaft von den*, [Place of publication not identified], MORGAN KAUFMANN, S. 561–571.
- Kiwigrid GmbH (Hg.) (2022) *KiwiOS X: Warum eine vielseitige Energy-IoT-Plattform den Schlüssel zur erfolg- reichen Energiewende im Eigenheim darstellt* [Online]. Verfügbar unter <https://kiwigrid.com/de/arti- kel/kiwios-x-warum-eine-vielseitige-energy-iot-plattform-den-schluessel-zur-erfolgreichen-energie- wende-im-eigenheim-darstellt>.
- Koller, P. (2021) *Voltaris sieht Rollout-Planung nur wenig beeinträchtigt* [Online]. Verfügbar unter <https:// www.energie-und-management.de/nachrichten/it/detail/voltaris-sieht-rollout-planung-nur-wenig- beeintraechtig-142822>.
- Kreutzmann, H. & Vollmer, S. (2014) *Protection Profile for the Gateway of a Smart Metering System (Smart Meter Gateway PP): Schutzprofil für die Kommunikationseinheit eines intelligenten Messsystems für Stoff- und Energiemengen BSI-CC-PP-0073* [Online]. Verfügbar unter https://www.bsi.bund.de/Shared- Docs/Downloads/DE/BSI/Zertifizierung/Reporte/ReportePP/pp0073b_pdf?__blob=publication- File&v=1.
- Kroener, N., Förderer, K., Lösch, M. & Schmeck, H. (2020) „State-of-the-Art Integration of Decentral- ized Energy Management Systems into the German Smart Meter Gateway Infrastructure“, *Applied Sciences*, Vol. 10, No. 11.
- Kurtz, R., Spitalny, L. & Gabriel, M. (2022) *Smart-Meter-Roll-out - Standortbestimmung der grundzuständi- gen Messstellenbetreiber* [Online]. Verfügbar unter <https://pages.pwc.de/smart-meter-rollout>.
- Linnemann, M. (2021) *FFVAV: Neue Anforderungen für Fernwärmenetzbetreiber* [Online]. Verfügbar unter <https://itemsnet.de/itemsblogging/ffvav-neue-anforderungen-fuer-fernwaermenetzbetreiber/>.
- Linnemann, M. (2022) *Energiewirtschaftlich relevante Daten – Lockerung der SMGW-Pflicht?* [Online], Münster. Verfügbar unter <https://itemsnet.de/itemsblogging/energiewirtschaftlich-relevante-da- ten-lockerung-der-smgw-pflicht/>.
- Lucke, M., Gebhardt, S., Brunner, C., Vogler, T., Wiegand, V., Heringer, F., Amthor, A., Franz, Marquart, Franz, Hammer, A., Jessenberger, S., Metzger, M., Niessen, S., Schreck, S., Armstorfer, A., Ulbig, A. & Zocher, J. (2022) *pebbles: Projektmagazin* [Online]. Verfügbar unter https://pebbles-projekt.de/ wp-content/uploads/2018/05/220302_Pebbles_Mag_Digital.pdf.
- Luderer, G., Kost, C. & Dominika (2021) *Deutschland auf dem Weg zur Klimaneutralität 2045 - Szenarien und Pfade im Modellvergleich* [Online], Potsdam Institute for Climate Impact Research. Verfügbar un- ter https://ariadneprojekt.de/media/2022/02/Ariadne_Szenarienreport_Oktober2021_ corr0222.pdf.

- Mayer, C & Brunekreeft, G (Hg.) (2020) *Resilienz digitalisierter Energiesysteme: Wie können Blackout-Risiken begrenzt werden?*, Schriftenreihe zur wissenschaftsbasierten Politikberatung [Online]. Verfügbar unter <https://www.acatech.de/publikation/rde-analyse/download-pdf?lang=de>.
- Netze BW GmbH *Digitalisierung im Netz: Neuer Stromsensor liefert Echtzeitdaten von der „letzten Meile“* [Online], 15.08.2019. Verfügbar unter https://assets.ctfassets.net/xytfb1vrn7of/45djsJJcczNZ-hASJ36MXpd/81bf85329012328eb99c5216d475dd0a/191011_PM_Stromsensor_FINAL.pdf.
- Nordex Group (2022) *Update zum Cybersicherheitsvorfall* [Online]. Verfügbar unter <https://www.nordex-online.com/de/2022/04/update-zum-cybersicherheitsvorfall/>.
- Oberverwaltungsgerichts für das Land Nordrhein-Westfalen (2021) *Oberverwaltungsgericht stoppt vorläufig Einbauverpflichtung für intelligente Messsysteme (Stromzähler)* [Online], Münster. Verfügbar unter https://www.ovg.nrw.de/behoerde/presse/pressemitteilungen/01_archiv/2021/18_210305/index.php (Abgerufen am 21 April 2022).
- Paulsen, N. & Schaule, S. (2021) *Digitale Energiewende: Fast die Hälfte der Deutschen will Smart Meter nutzen* [Online], Berlin. Verfügbar unter <https://www.bitkom.org/Presse/Presseinformation/Knappe-Haelfte-will-Smart-Meter>.
- Power Plus Communications AG (2022) *TMZ nimmt erfolgreich das erste LTE450-Smart Meter Gateway in Thüringen in Betrieb* [Online], Erfurt, Köln, Mannheim. Verfügbar unter <https://www.ppc-ag.de/de/blog/tmz-nimmt-erfolgreich-das-erste-lte450-smart-meter-gateway-in-betrieb/> (Abgerufen am 26 April 2022).
- power42 GmbH (Hg.) (2022) *powerfox Shop - mache deinen Stromzähler smart!* [Online], Berlin. Verfügbar unter <https://shop.powerfox.energy/>.
- Quenel, P (Hg.) (2021) *Energy Highlights 2021* [Online], Köln, sig Media GmbH & Co. KG. Verfügbar unter https://www.50komma2.de/wp-content/uploads/2021/02/502_1-21-1.pdf.
- Roberto Setola, Luca Faramondi, Ernesto Salzano & Valerio Cozzani (2019) „An overview of Cyber Attack to Industrial Control System“, *Chemical Engineering Transactions*, Vol. 77, No. 2019 [Online]. DOI: 10.3303/CET1977152.
- Roth, I. (2018) *Digitalisierung in der Energiewirtschaft: Technologische Trends und ihre Auswirkungen auf Arbeit und Qualifizierung*, Hans-Böckler-Stiftung, Working Paper Forschungsförderung 073 [Online]. Verfügbar unter <https://www.econstor.eu/handle/10419/216001>.
- Sagemcom Dr. Neuhaus GmbH (Hg.) (2021) *Smart Meter Gateway (SMGW) - SMARTY IQ: Supported Meter List* [Online], Hamburg/Rostock. Verfügbar unter https://www.sagemcom.com/V02/fileadmin/user_upload/Energy/Dr.Neuhaus/Support/SMGW/SMGW_SupportedMeter_2v01.pdf.
- Sauer, S. & Schultz, H. (2022) *Fachkräftemangel steigt auf Allzeithoch* [Online], München. Verfügbar unter <https://www.ifo.de/pressemitteilung/2022-08-02/fachkraeftemangel-steigt-auf-allzeithoch>.
- Schmidt, T. S., Schmid, N. & Sewerin, S. (2019) „Policy goals, partisanship and paradigmatic change in energy policy – analyzing parliamentary discourse in Germany over 30 years“, *Climate Policy*, Vol. 19, No. 6, S. 771–786.
- Schneider, C. (2020) *Den Rollout im Blick – die Kenntnis der Bevölkerung von Smart Metern/ intelligenten Messsystemen: Eine repräsentative Untersuchung in den Bundesländern Baden-Württemberg, Bayern und Hessen*. [Online]. Verfügbar unter https://www.ich-bin-zukunft.de/wp-content/uploads/2020/06/SmartGridsBW2020_Bekanntheit_Smart-Meter_V09.pdf.
- sig Media GmbH & Co. KG (Hg.) (2021) *Branchenguide SMART METERING 2021* [Online]. Verfügbar unter https://www.50komma2.de/Smart-Metering/502_Branchenguide_Smart-Metering_2021_DS.pdf.
- sig Media GmbH & Co. KG (Hg.) (2022) *IoT-Monitoring für Windparks* [Online], Köln, INSYS MICRO-ELECTRONICS GmbH. Verfügbar unter <https://www.50komma2.de/?p=29190>.
- SMIGHT GmbH (Hg.) (2022) *Beispiele aus der Anwendung* [Online]. Verfügbar unter <https://smight.com/smight-grid2-anwendungen>.
- Sörries, B., Lucidi, S., Nett, L., Wissner, M., Wietfeld, C., Böcker, S. & Dorsch, N. (2018) *Gutachten Digitalisierung der Energiewende: Topthema 3: TK-Netzinfrastuktur und TK-Regulierung*, WIK Wissenschaftliches Institut für Infrastruktur und Kommunikationsdienste [Online]. Verfügbar unter https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Studien/digitalisierung-der-energiewende-thema-3.pdf?__blob=publicationFile&v=10.

- Statistisches Bundesamt (Destatis) (2022) *12,9 Millionen Erwerbspersonen erreichen in den nächsten 15 Jahren das gesetzliche Rentenalter: Pressemitteilung Nr. 330* [Online], Wiesbaden. Verfügbar unter https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2022/08/PD22_330_13.html.
- Stiftung Umweltenergierecht (Hg.) (2022) *Synopse zur Novelle des Erneuerbare-Energien-Gesetz (Gegenüberstellung EEG 2023 und EEG 2021)* [Online]. Verfügbar unter https://stiftung-umweltenergierecht.de/wp-content/uploads/2022/07/Synopse_EEG_2023_Novelle_Bundestagsbeschluss_Stiftung_Umweltenergierecht_Stand_2022-07-14_V3.pdf.
- Stötzel, Martin, Hadler, Tina, Britzl, F., Berndlmaier, T., Kittlaus, B. & Roesler, K. (2019) *Energiemanagement und Steuerung einer PV-Anlage über die Smart-Meter-Gateway Infrastruktur: Ein Proof of Concept der coneva GmbH und Stadtwerke München GmbH, Coneva GmbH* [Online]. Verfügbar unter https://www.coneva.com/?smd_process_download=1&download_id=1076.
- Streim, A. & Schaule, S. (2020) *Interesse an Smart Metern steigt* [Online], Berlin. Verfügbar unter <https://www.bitkom.org/Presse/Presseinformation/Interesse-an-Smart-Metern-steigt>.
- Stübs, M., Blochberger, M., Federrath, H., Pein, R. P., Kirsch, E. & Teschepat, R. *Modellierung von Sicherheitsschichten und -Zonen für eine Sichere IKT-Infrastruktur in Energie-Effizienz-Verbünden* [Online]. Verfügbar unter https://svs.informatik.uni-hamburg.de/publications/2019/2019-08-19-Modellierung_von_Sicherheitsschichten_und_-Zonen_fuer_eine_Sichere_IKT-Infrastruktur_in_Energie-Effizienz-Verbunden.pdf.
- Tibber Deutschland GmbH (Hg.) (2022) *Dein Stromvertrag für das digitale Zeitalter - Tibber* [Online]. Verfügbar unter <https://tibber.com/de/stromtarif#dynamic-pricing>.
- TMZ Thüringer Mess- und Zählerwesen Service GmbH (Hg.) (2021) *Zukunftsweisende E-Mobilität: intelligente Ladesäulensteuerung über Smart Meter Gateway* [Online]. Verfügbar unter https://www.thueringerenergie.de/Content/Documents/News/Artikel_Intelligente_Ladesaeulensteuerung_TMZ_Smart-MeterGateway.pdf.
- VDE FNN Netztechnik/Netzbetrieb (Hg.) (2020) *Netzbetriebliche Anforderungen an die Steuerung von Kundenanlagen im Verteilnetz: FNN-Anwendungsfälle und Anforderungstabelle* [Online]. Verfügbar unter <https://shop.vde.com/de/netzbetriebliche-anforderungen-an-die-steuerung-von-kundenanlagen-im-verteilnetz>.
- VDE Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e.V. (Hg.) (2022) *LK Metering und Digitalisierung: PG Netzplanung mit Flexibilitäten*, Forum Netztechnik/Netzbetrieb im VDE [Online]. Verfügbar unter <https://www.vde.com/resource/blob/2178094/667581be81eb883d97bc485eedf5197f/ps-netzplanung-mit-flexibilitaeten-data.pdf>.
- VDE (ITG) (Hg.) (2015) *Kommunikationsnetz für das Smart Grid: VDE-Positionspapier* [Online]. Verfügbar unter <https://shop.vde.com/de/vde-positionspapier-kommunikationsnetz-f%C3%BCr-das-smart-grid>.
- Verband der Elektrotechnik Elektronik und Informationstechnik e.V. (VDE) (Hg.) (2022) *Arbeitsmarkt 2022 - Elektroingenieurinnen und Elektroingenieure: Zahlen | Fakten | Schlussfolgerungen* [Online]. Verfügbar unter <https://shop.vde.com/de/arbeitsmarkt-2022>.
- VKU Verlag GmbH (Hg.) (2022a) *Smart-Meter-Rollout: die nächsten Schritte* [Online]. Verfügbar unter <https://www.zfk.de/digitalisierung/smart-city-energy/smart-meter-rollout-die-naechsten-schritte>.
- VKU Verlag GmbH (Hg.) (2022b) *Wer für die Energiewende ist, ist auch für ein 450-MHz-Funknetz* [Online], München, Berlin, Zfk.de. Verfügbar unter <https://www.450connect.de/wer-fuer-die-energiewende-ist-ist-auch-fuer-ein-450mhz-funknetz?s=&cat=16>.
- Wagner, J., Namockel, N. & Lilienkamp, Arne (2022) *Dezentrale Koordination: Auswirkungen unterschiedlicher Ladekonzepte für Elektrofahrzeuge auf Markt und Netz* [Online]. Verfügbar unter https://www.ewi.uni-koeln.de/cms/wp-content/uploads/2022/09/EWI_Kurzstudie_DeKo_neues-Format-1.pdf.
- wegewerk GmbH (2022) *BSI: Bedrohung durch Cyberangriffe in Deutschland steigt weiter* [Online]. Verfügbar unter <https://www.zfk.de/digitalisierung/it/bsi-bedrohung-durch-cyberangriffe-in-deutschland-steigt-weiter>.
- Weise, M. (2021) *Smart Meter Rollout in Deutschland – ein juristischer Rück- und Ausblick* [Online]. Verfügbar unter https://smartgrids-bw.net/public/uploads/2021/08/SmartMeterRollout_Essay_final.pdf.

- Weise, M. & Großjohann, G. (2018) *Dr. Michael Weise (BBH): »Neue SMGW-Anforderungen sind Kostentreiber«* [Online]. Verfügbar unter <https://energie.blog/neue-smgw-anforderungen-treiben-die-kosten/>.
- Wickert, M., Bergsträßer, J., Gkoktsis, G., Hirsch, T., Klaiber, S., Klobasa, M., Kohrs, R., Hagen, L., Steffen, N., Offergeld, T., Rülcke, L., Schmidt, D., Warweg, O., Wende-von Berg, S. & Werner, D. (2022) *Digitalisierung des Energiesystems – 14 Thesen zum Erfolg* [Online]. Verfügbar unter <https://www.cines.fraunhofer.de/content/dam/zv/cines/dokumente/CINES%20Thesenstudie-DigitalisierungI.pdf>.
- Wissner, M., Sörries, B. & Zander, W. (2020) „Die 450 MHz-Frequenz als Wegbereiter der Energiewende“, *Zeitschrift für Energiewirtschaft*, Vol. 3, No. 2, S. 1.
- Zählerfreunde GmbH (Hg.) (2022) *Zählerfreunde - Manage Your Energy* [Online], Pullach. Verfügbar unter <https://www.zaehlerfreunde.com/tarifwechsel-info>.
- Zentralverband des deutschen Handwerks (ZDH) (Hg.) (2022) *Zukunft braucht Können – Fachkräfte für das Handwerk* [Online], Berlin.



Der rote Faden durch die Energiewende: Das Kopernikus-Projekt Ariadne führt durch einen gemeinsamen Lernprozess mit Politik, Wirtschaft und Gesellschaft, um Optionen zur Gestaltung der Energiewende zu erforschen und politischen Entscheidern wichtiges Orientierungswissen auf dem Weg zu einem klimaneutralen Deutschland bereitzustellen.

Folgen Sie dem Ariadnefaden:



@AriadneProjekt



Kopernikus-Projekt Ariadne



ariadneprojekt.de

Mehr zu den Kopernikus-Projekten des BMBF auf kopernikus-projekte.de

Wer ist Ariadne? In der griechischen Mythologie gelang Theseus durch den Faden der Ariadne die sichere Navigation durch das Labyrinth des Minotaurus. Dies ist die Leitidee für das Energiewende-Projekt Ariadne im Konsortium von mehr als 25 wissenschaftlichen Partnern. Wir sind Ariadne:

adelphi | Brandenburgische Technische Universität Cottbus – Senftenberg (BTU) | Deutsche Energie-Agentur (dena) | Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW) | Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) | Ecologic Institute | Fraunhofer Cluster of Excellence Integrated Energy Systems (CINES) | Guidehouse Germany | Helmholtz-Zentrum Hereon | Hertie School | Hochschule für Wirtschaft und Umwelt Nürtingen-Geislingen (HfWU) | ifok | Institut der deutschen Wirtschaft Köln | Institut für Klimaschutz, Energie und Mobilität | Institute For Advanced Sustainability Studies (IASS) | Mercator Research Institute on Global Commons and Climate Change (MCC) | Öko-Institut | Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK) | RWI – Leibniz-Institut für Wirtschaftsforschung | Stiftung KlimaWirtschaft | Stiftung Umweltenergierecht | Technische Universität Darmstadt | Technische Universität München | Universität Greifswald | Universität Hamburg | Universität Münster | Universität Potsdam | Universität Stuttgart – Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER) | ZEW – Leibniz-Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung