

INSTITUT FÜR
INNOVATION UND
TECHNIK

Standards und Normen für die digitale Sektorenkopplung in Deutschland und Europa

Status quo und Handlungsbedarfe

Peter Gabriel, Matthias Künzel, Axel Mangelsdorf, Daniel Schöllhorn

Impressum

Herausgeber

Institut für Innovation und Technik (iit)
in der VDI/VDE Innovation + Technik GmbH
Steinplatz 1
10623 Berlin
Tel.: +49 30 310078-5599
Fax.: +49 30 310078-216
E-Mail: info@iit-berlin.de
www.iit-berlin.de

Autoren

Peter Gabriel
Dr. Matthias Künzel
Dr. Axel Mangelsdorf
Daniel Schöllhorn

Layout

Poli Quintana

Bildnachweis

Premreuthai – stock.adobe.com

DOI: 10.23776/2024_12
Berlin, September 2024

Zitation

Gabriel, Peter; Künzel, Matthias; Mangelsdorf, Axel; Schöllhorn, Daniel (2024): Standards und Normen für die digitale Sektorenkopplung in Deutschland und Europa. Status quo und Handlungsbedarfe. Institut für Innovation und Technik, Berlin.

Executive Summary

Die Energiewende ist ohne den Einsatz der erneuerbaren Energien – Wind-, Solar- und Wasserkraft – nicht denkbar. Windenergie und Photovoltaik sind aber im Aufkommen hoch volatil, und der so erzeugte Strom kann bislang nur zu hohen Kosten zwischengespeichert werden. Mit dem Konzept der Sektorenkopplung sollen daher sowohl die bisher weitgehend getrennt betriebenen Netze für Strom, Gas und Wärme als auch die Nachfragesektoren Haushalte, Gewerbe, Industrie und Mobilität miteinander verknüpft werden. Ziel ist eine hohe Flexibilität bei Erzeugung, Verbrauch, Speicherung und Wandlung von Energie, sodass Angebot und Nachfrage von Energie stabil miteinander in Beziehung gesetzt werden können.

Das kann nur durch ein umfangreiches Data-Sharing und eine digitale Kommunikation sowohl zwischen den beteiligten Akteuren – Kraftwerksbetreibern, Netzbetreibern, Energieversorgern und Verbrauchern – als auch zwischen Anlagen, Maschinen und Geräten erfolgreich umgesetzt werden. In der aktuellen Fachdiskussion kommt dabei zwei neueren Ansätzen eine besonders hohe Bedeutung zu. Das sind

- die Datenräume oder Data-Spaces, die für ein Data-Sharing zwischen autonomen Akteuren unter voller Wahrung der Datensouveränität sorgen sollen, und
- die Asset Administration Shell (AAS, deutsch: Verwaltungschale) als digitaler Zwilling für die Systemkomponenten in den Energienetzen.

Eine verlässliche und robuste Energieversorgung benötigt anerkannte und ausgereifte Normen. Diese sind für die etablierten Strukturen der Energienetze über viele Jahrzehnte weiterentwickelt und implementiert worden. Die Konzepte für Datenräume und die AAS werden jedoch noch maßgeblich in Konsortialstandards und FuE-Projekten vorangetrieben. Das erlaubt zwar eine agile Entwicklung, begrenzt aber notwendigerweise auch den Kreis der beteiligten Partner. Die Arbeiten zur Digitalisierung der Sektorenkopplung müssen daher auch in die Normung einfließen, über die alle interessierten Kreise eingebunden werden.

Die vorliegende Studie, die im Auftrag der DKE (Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik) erstellt wurde, untersucht diese Herausforderung. Sie beleuchtet den Stand der Standardisierung und Normung der digitalen Sektorenkopplung in Deutschland und Europa und leitet daraus Hand-

lungsempfehlungen ab. Den Schwerpunkt bilden die Datenraum-Initiativen International Data Spaces und Gaia-X sowie die Asset Administration Shell. Dazu konkurrierende Ansätze werden ebenfalls vorgestellt. Zusätzlich wird auch die aktuelle Normungslandschaft zur Digitalisierung der Energienetze (Smart Grid) diskutiert, in die sich die neueren Arbeiten zu Datenräumen und digitalen Zwillingen eingliedern müssen. Die Studie basiert auf einer Literaturanalyse und einem Workshop mit Experten und Expertinnen im Januar 2024.

Szenarien

Die Sektorenkopplung ist aktuell noch eher Zielbild als Wirklichkeit. Grundlage der Betrachtungen in der Studie sind daher die Use-Cases aus dem SINTEG-Förderprogramm¹ des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz. Für die Studie wurden daraus drei Szenarien für die Sektorenkopplung abgeleitet, die die gesamte Breite der Energiewirtschaft abdecken:

Im Szenario „Lokale Optimierung“ geht es um die Verbrauchsoptimierung einer Liegenschaft, eines Haushalts oder eines kleinen Gewerbebetriebs. Im Mittelpunkt steht die technische Kopplung von Ressourcen wie Wärmepumpen, E-Fahrzeugen und Photovoltaik-Anlagen. Zentrale Fragestellungen sind die Interoperabilität der Geräte, die Wahrung des Datenschutzes und das Plug-and-play bei der Einrichtung und Nutzung der Geräte.

Das Szenario „Regionale Optimierung“ befasst sich mit der Interaktion mehrerer autonomer Akteure innerhalb eines Wohnquartiers oder eines Gewerbegebiets, sowohl zur Verbrauchsoptimierung als auch zur Vermarktung von Flexibilitäten. Dabei kommen auch andere Energieformen wie Industriewärme oder Biogas ins Spiel, und organisatorische Aspekte wie Datensouveränität und Informationssicherheit werden zunehmend wichtiger. Vor allem in diesem Szenario gilt: Die nahtlose Integration des Smart-Meter-Gateways, das ab bestimmten Verbrauchs- und Erzeugungsmengen gesetzlich vorgeschrieben ist, ist von zentraler Bedeutung. Dazu kommt, dass etablierte und in der Elektrizitätswirtschaft vorgeschriebene Markrollen und Kommunikationswege eingehalten werden müssen.

Das Szenario „Überregionale Optimierung“ umreißt die Koordination zwischen Großkraftwerken, Großspeichern, Großverbrauchern und den Betreibern von Strom-, Gas- und Wärmenetzen. Ziele sind der stabile und effiziente Netzbetrieb sowie mit weiter

¹ SINTEG: Schaufenster intelligente Energie – Digitale Agenda für die Energiewende. Das Förderprogramm lief von 2016 bis 2021 und hatte ein Volumen von 500 Mio. EUR.

steigender Bedeutung die Vermarktung von Flexibilitäten. Regulatorischen und marktlichen Rahmenbedingungen kommt eine bedeutende Rolle zu. Das betrifft etwa die Beschränkungen der Kommunikation zwischen Netzbetrieb und Marktseite und die notwendigen Abstimmungen mit den europäischen Nachbarstaaten.

Datenräume, Asset Administration Shell und bestehende Normung

Den skizzierten Anforderungen muss die digitale Sektorenkopplung mit ihren Datenräumen und digitalen Zwillingen genügen. Für die Umsetzung von Datenräumen stehen derzeit zwei Initiativen:

Der Standard International Data Spaces (IDS) des Industriekonsortiums International Data Spaces Alliance (ISDA) definiert ein abstraktes Referenzarchitekturmodell für Datenräume, in denen unabhängige Akteure unter voller Wahrung ihrer Datensouveränität Data-Sharing betreiben können. IDS gibt keine konkrete Systemarchitektur und keine verbindlichen Implementierungen vor. Es wird aber eine Open-Source-Referenzimplementierung für einzelne IDS-Komponenten bereitgestellt, und mit dem DataSpace Protocol ist auch eine technische Spezifikation für die Kommunikation zwischen den Komponenten eines Datenraums vorhanden. In den Normungsorganisationen ISO, IEC und CEN/CENELEC werden mittlerweile erste Arbeitsgruppen aufgesetzt, die die IDS-Arbeiten in die Normung übernehmen sollen.

In ähnlicher Weise wie IDS beschreibt der Standard Gaia-X des Konsortiums Gaia-X European Association for Data and Cloud eine abstrakte Referenzarchitektur für vertrauenswürdige Cloud-Systeme, die normative Regeln (Policy-Rules) für den Betrieb erfüllen müssen, etwa zur Transparenz des Ortes der Datenverarbeitung oder zum Datenschutz. Auch für Gaia-X gibt es weder eine konkrete Systemarchitektur noch verbindliche Implementierungen. Wiederum ähnlich zu IDS liegt mit den Cross Federation Service Components (XFSC) aber eine Open-Source-Implementierung für zentrale Systemkomponenten vor. Mit dem Gaia-X Trust Framework steht zudem eine technische Spezifikation bereit, mit der konkrete Gaia-X-Umsetzungen bei bereits vorhandenen spezialisierten Dienstleistern (Gaia-X-Clearing-Houses) registriert und von Anwendern hinsichtlich der Erfüllung der Policy-Rules validiert werden können.

Die Standards, Spezifikationen und Referenzimplementierungen von IDS und Gaia-X befinden sich noch in Entwicklung. Ihre Anwendung und die daraus abgeleiteten Weiterentwicklungen werden derzeit maßgeblich in öffentlich geförderten FuE-Projekten auf nationaler und europäischer Ebene vorangetrieben. Mit Catena-X, das die Automobilindustrie adressiert, gibt es ein sehr weit fortgeschrittenes Projekt, das schon in den Operativbetrieb übergegangen ist. Für die Energiewirtschaft existieren

sowohl in Deutschland als auch in der Europäischen Union mehrere FuE-Projekte, die aber noch nicht den Reifegrad von Catena-X erreicht haben.

Die Diskussion zum digitalen Zwilling dreht sich zumindest in Deutschland vor allem um die Asset Administration Shell (AAS), die vom aus der Industrieplattform Industrie 4.0 hervorgegangenen Standardisierungskonsortium Industrial Digital Twin Association (IDTA) getragen wird. Parallel wurde die Normung seitens DKE und dem Standardisation Council Industrie 4.0 (SCI4.0) bei der internationalen Normungsorganisation IEC vorangetrieben. Die AAS beinhaltet technische Spezifikationen dazu, wie über das Internet auf weitgehend frei definierbare Merkmale eines Assets, z. B. eine technische Anlage, eine Maschine oder eine Maschinenkomponente, zugegriffen werden kann. Für konkrete Anwendungsfälle definieren Teilmodelle die tatsächlichen Merkmale, wobei sie sich auf vorhandene Standards, Normen und Klassifikationen stützen. Derzeit gibt es bereits 85 Teilmodelle, die allesamt im produzierenden Gewerbe angesiedelt sind.

Für grundlegende Aspekte des Smart Grids gibt es bereits eine Normung in der Energiewirtschaft, wobei der jeweilige Stand durchaus unterschiedlich ist: In der Elektrizitätswirtschaft gibt es etablierte Referenzmodelle, wie etwa das Smart Grid Architecture Model (SGAM), die zunehmend um Aspekte des Data-Sharing und der Datenräume erweitert werden. Eine deutsche Besonderheit im Stromnetz, die in der Sektorenkopplung berücksichtigt werden muss, ist das gesetzlich vorgeschriebene Smart-Meter-Gateway. Die anderen Sektoren der Energiewirtschaft stehen im Vergleich zur Elektrizitätswirtschaft zurück und weisen noch größere Lücken bei der Standardisierung ihrer Digitalisierung auf.

Handlungsempfehlungen

Für die Standardisierung und Normung der digitalen Sektorenkopplung werden in der Studie drei Handlungsfelder identifiziert:

- *Datenräume: Standardisierung und Normung enger verbinden.* Die Standardisierung der Datenräume, namentlich IDS und Gaia-X, sollte enger mit der Normung verzahnt werden. Normennahe Fachverbände sollten sich zum einen stärker und proaktiver in die Konsortialstandards und FuE-Projekte einbringen und zum anderen den engen Anschluss an die Arbeiten in den nationalen, europäischen und internationalen Normungsorganisationen sicherstellen.
- *Asset Administration Shell in die Praxis bringen.* Für die schon weiter fortgeschrittene Asset Administration Shell stehen stärker praxisbezogene Aufgaben an: Dazu gehören eine Abstimmung mit dem Kommunikationsstandard OPC UA, um in der Praxis überlappende Einsätze zu vermeiden,

und die Entwicklung von Teilmodellen gezielt für die Energiewirtschaft. In die Standardisierungs- bzw. Normungsarbeiten sollten noch stärker europäische und internationale Partner eingebunden werden, um der teilweise noch bestehenden Wahrnehmung der AAS als einer nationalen Initiative entgegenzuwirken.

- *Bestehende Normung aufgreifen und weiterentwickeln.*
Etablierte Referenzmodelle wie das Smart Grid Architecture Model müssen in die Entwicklung von Standards und Normen für Datenräume einbezogen und weiterentwickelt werden. Normenorganisationen wie die DKE, die an der Standardisierung des in Deutschland vorgeschriebenen Smart-Meter-Gateway beteiligt sind, sollten dafür Sorge tragen, dass der Smart-Meter-Roll-out nicht durch zu strikte technische Regeln für die Informationssicherheit verzögert wird, und dass die Konvergenz der Energiearten für die Sektorenkopplung berücksichtigt wird. Zudem müssen noch Normungslücken geschlossen werden. Das betrifft etwa die Bereitstellung von Daten in ausreichender Qualität in der Gaswirtschaft oder die Definition interoperabler Standards für digitale Daten in Fernwärmenetzen. Auch für das Zusammenspiel von Einzelanlagen innerhalb einer Liegenschaft, wie Wärmepumpen, bidirektionale Ladestellen und Photovoltaik-Anlagen, müssen die zahlreichen, oft proprietären Standards noch vereinheitlicht werden.

Inhalt

1 Einleitung	7
2 Zielbild und allgemeine Anforderungen an die Normung	10
2.1 Lokale Optimierung einer Liegenschaft.....	12
2.2 Regionale Optimierung mehrerer Liegenschaften	14
2.3 Überregionale Optimierung.....	16
2.4 Zwischenfazit	18
3 Konzepte für Datenräume	19
3.1 Konsortialstandards für Datenräume	20
3.1.1 International Data Spaces.....	20
3.1.2 Gaia-X	23
3.1.3 Andere Ansätze	25
3.2 Pilotprojekte für Datenräume in der Energiewirtschaft.....	26
3.2.1 Deutschland.....	26
3.2.2 Europäische Union	30
3.3 Zwischenfazit	30
4 Konzepte für den digitalen Zwilling	32
4.1 Asset Administration Shell.....	32
4.2 Andere Ansätze	33
4.3 Zwischenfazit	34
5 Bestehende Normung	35
5.1 Elektrizitätswirtschaft.....	35
5.1.1 Referenzmodelle und Referenzarchitekturmodelle.....	35
5.1.2 Smart-Meter-Gateway	37
5.2 Gaswirtschaft.....	38
5.3 Zentrale Wärmeversorgung	39
5.4 Dezentrale Wärmeversorgung und Mobilität	40
5.5 Klassifikationen und Begriffe für Geräte und Komponenten	41
5.6 Zwischenfazit	41
6 Handlungsempfehlungen	43
6.1 Grundprinzipien	43
6.2 Handlungsfeld Datenräume: Standardisierung und Normung enger verbinden	43
6.3 Handlungsfeld Asset Administration Shell: In die Praxis bringen	44
6.4 Handlungsfeld bestehende Normung: Berücksichtigen und weiterentwickeln.....	45
7 Literaturverzeichnis.....	46

1 Einleitung

Die Energiewende zielt auf den Ersatz fossiler Energieträger durch erneuerbare Energie ab. Die große Mehrheit der erneuerbaren Energien in Deutschland entfällt dabei auf die Bereiche Windkraft, Photovoltaik und Wasserkraft. Bei Windkraft und Photovoltaik hängen Menge und Zeitpunkt der erzeugten elektrischen Leistung von Wetter und Jahreszeit ab. Die erzeugte Energiemenge ist vorhersagbar, aber eben nur eingeschränkt steuerbar. Ein Überangebot lässt sich zwar abregeln, eine Versorgungslücke muss jedoch durch andere Mechanismen ausgeglichen werden. Das bisherige Paradigma des Energiesystems, in dem der Ausgleich von Erzeugung und Verbrauch nahezu ausschließlich durch die Steuerung auf der Erzeugungsseite stattfindet, gerät hierdurch erheblich unter Druck.

Gegenüber den Gas- oder Wärmenetzen weist das Stromnetz zudem eine deutlich geringere Trägheit auf. Abweichungen zwischen erzeugten und verbrauchten Strommengen führen schon nach kürzester Zeit zu Abweichungen in der Frequenz und der Beeinträchtigung aller angeschlossenen Verbraucher. Hinzu kommt, dass die großtechnische Speicherung von Energie im Stromnetz deutlich aufwendiger und teurer ist als in den anderen leitungsgebundenen Energienetzen Gas und Wärme.

Das Ziel des seit einigen Jahren diskutierten Konzepts der Sektorenkopplung ist daher die Verknüpfung sowohl der bislang weitgehend entkoppelten Energiesysteme Strom, Gas und Wärme als auch der verschiedenen Nachfragesektoren Haushalte, Gewerbe, Industrie und Mobilität.² Eine zentrale Rolle spielt dabei die Flexibilität bei Erzeugung, Verbrauch, Speicherung und Wandlung von Energie, die vielfältige Formen annehmen kann (siehe Abbildung 1):

- Der Stromverbrauch, etwa der Betrieb von Kühlaggregaten eines Handelslagers, erfolgt vorrangig dann, wenn die Preise niedrig sind oder eigene Energie im Betrieb erzeugt werden kann.
- Überschüssiger Strom wird beim bidirektionalen Laden in den Batterien einer Flotte von E-Autos gespeichert und später wieder von dort abgerufen.
- Strom wird in andere Energieformen umgewandelt und dann den Verbrauchern zur Verfügung gestellt oder gespeichert. Typische Formen der Energieumwandlung sind

etwa thermodynamische Wärmepumpen (Power to Heat, PtH) oder Elektrolyse-Anlagen, die brennbare Gase und Brennstoffe erzeugen (Power to Gas, PtG; Power to Liquid, PtL).

Die zunehmende Schaffung von Flexibilitätspotentialen und Verschiebung bzw. Substitution von Energieverbräuchen auf lokaler Ebene über Sektorengrenzen hinweg sind somit erste Schritte hin zur Sektorenkopplung. Mithilfe geeigneter digitaler Werkzeuge, regulatorischer Rahmenbedingungen und finanzieller Anreize können diese zurzeit meist lokalen Prinzipien über eine Vielzahl von Akteuren aggregiert und auf die regionalen und überregionalen Anwendungsfelder des Energiesystems ausgeweitet werden. Die intelligente direkte oder indirekte Vernetzung ermöglicht es somit, Synergieeffekte und Flexibilitätspotentiale zu heben. Flexibilität bietet dabei nicht nur finanzielle Anreize für die Beteiligten, sondern sie ist auch eine elementare Voraussetzung dafür, die Systemstabilität zu gewährleisten (Bundesnetzagentur 2017).

Sektorenkopplung und Flexibilität sind unmittelbar auf die digitale Vernetzung sowohl der technischen Anlagen als auch der Akteure angewiesen. In der aktuellen Fachdiskussion in Deutschland werden dabei zwei Konzepte besonders in den Vordergrund gestellt:

- die cloudbasierten Datenräume als Instrument, mit dem Daten unter voller Wahrung der Datensouveränität zwischen den Akteuren im Energiesystem austauschbar sind (unter vielen anderen: Heeß et al. 2024, Bergsträßer et al. 2022) und
- die Asset Administration Shell (AAS, Verwaltungsschale) als sogenannter digitaler Zwilling, d. h. als einheitliche digitale Repräsentation zu allen Systemkomponenten im Energiesystem (u. a.: Dickopf et al. 2023).

² Tatsächlich gibt es mehrere, leicht voneinander abweichende Definitionen der Sektorenkopplung (Wietschel et al. 2018). Diese Studie bezieht sich auf die Definition von Komarnicki et al. 2021.

Komponenten des sektorengekoppelten Energiesystems

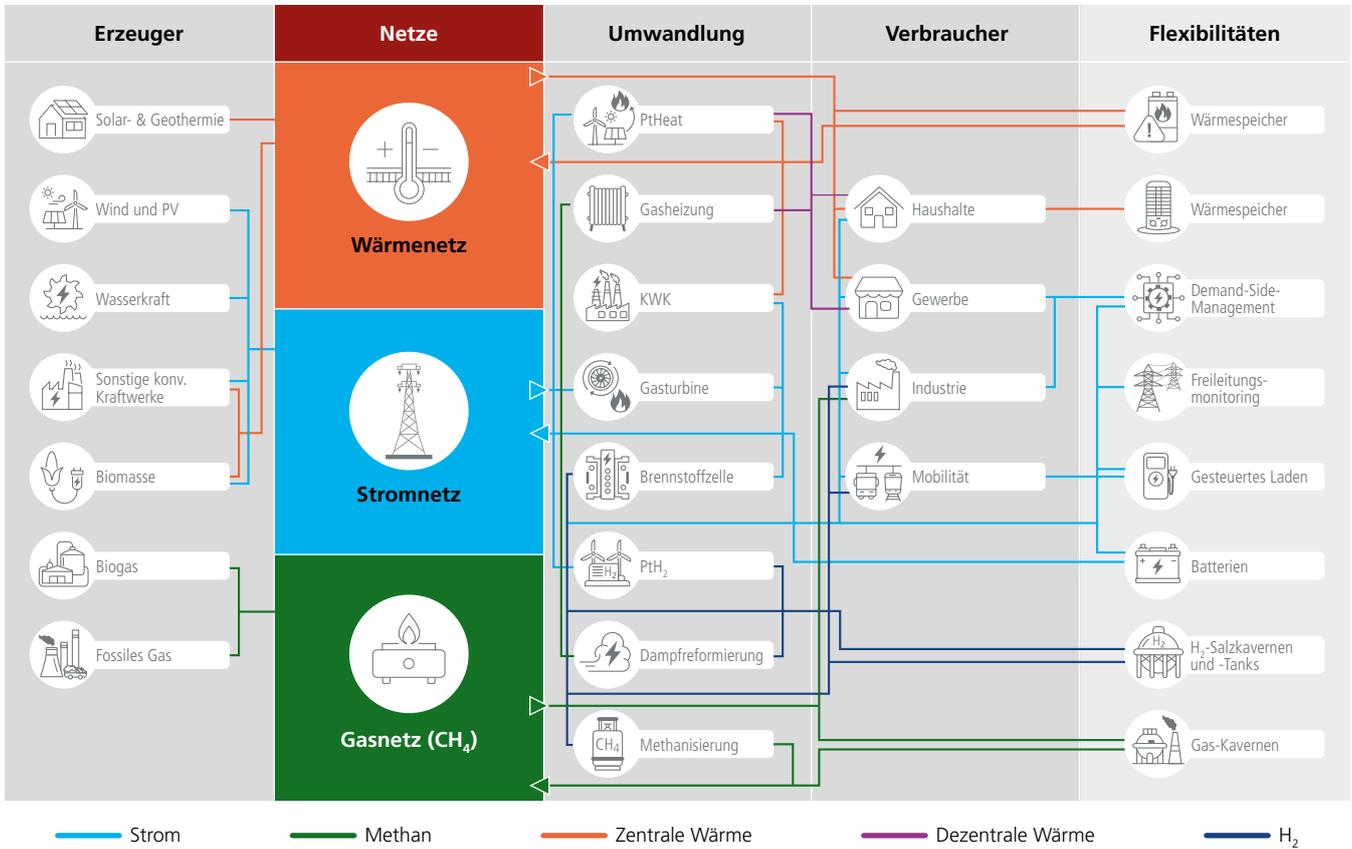


Abbildung 1: Komponenten der Sektorenkopplung (nach Cußmann und Schachler 2023)

Ein zuverlässig funktionierendes Energiesystem ist ohne technische Normen undenkbar. Normen werden unter Beteiligung der Öffentlichkeit entwickelt, mit dem Ziel, möglichst alle interessierten Kreise in die inhaltliche Arbeit einzubeziehen. Die Entscheidungen in den Gremien werden gemeinsam getroffen. Diese hohen Anforderungen verleihen den Normen eine breite Akzeptanz und Legitimität, insbesondere in der Energiewirtschaft.

Datenräume und Asset Administration Shell wurden allerdings bislang nicht durch die bekannten Normungsorganisationen wie DKE, CEN/CENELEC, IEC und ISO vorangetrieben, sondern durch zwei Standardisierungskonsortien, die International Dataspaces Association (IDSA) und die Industrial Digital Twin Association (IDTA), sowie durch eine Reihe von großen, öffentlich geförderten Pilotprojekten – auch wenn beide Konsortialstandards vorhandene Normen nutzen und mittlerweile von Normungsorganisationen aufgegriffen werden.

In Standardisierungskonsortien werden informelle Standards oder andere Festlegungen erarbeitet, die nicht zwingend im Konsens aller Teilnehmer der Gremien und unter Beteiligung der Öffentlichkeit getroffen werden; Pilotprojekte haben nur eine begrenzte Anzahl von Teilnehmern. Daher ist es von zentraler Bedeutung für das Energiesystem, dass die aktuellen Arbeiten zur Digitalisierung der Sektorenkopplung in die Normung einfließen. Nur so kann gewährleistet werden, dass die Energiewirtschaft auch in Zukunft hoch zuverlässige Dienstleistungen anbietet.

Die vorliegende Studie untersucht diese Herausforderung. Sie betrachtet anhand einer Literaturanalyse den aktuellen Stand der Standardisierung und Normung der Sektorenkopplung in Deutschland und auf Ebene der Europäischen Union, und sie leitet Handlungsempfehlungen für die Normung ab. Der Schwerpunkt liegt auf den neuen Ansätzen der Datenräume und der Asset Administration Shell. Parallel besteht bereits eine umfang-

reiche Normung zur Digitalisierung der Energienetze, die allerdings noch Lücken hat, etwa bei den Wärmenetzen und beim bidirektionalen Laden. Deswegen wird auch die aktuelle Normenlandschaft zu den digitalen Energienetzen analysiert.

Nicht betrachtet werden die Auswirkungen der Sektorenkopplung auf die Regulierung und die Marktordnungen und Marktrollen in den Strom-, Gas- und Wärmenetzen. Diese sehr wichtigen Fragen sind kein Gegenstand von technischen Standards oder Normen, müssen aber gleichwohl auch angegangen werden. Für Interessierte geben Bergsträßer et al. (2024) einen Überblick zu diesen Fragestellungen: Für die Etablierung von Datenräumen im Energiesystem spielen europäische Regulierungen, insbesondere der Data Governance Act und der Data Act, eine zentrale Rolle, während die Sektorenkopplung vor allem durch nationale Gesetze wie das Wärmeplanungsgesetz, das Messstellenbetriebsgesetz oder die Novelle der Heizkostenverordnung bestimmt wird.

Einen Schwerpunkt der Betrachtungen in der Studie bilden Referenzmodelle bzw. Referenzarchitekturmodelle. Dieses Konzept kommt in der elektrotechnischen Normung erst seit einigen Jahren vermehrt zum Einsatz, ist aber in der Informations- und Kommunikationstechnologie seit Langem ein bewährtes Instrument. Eine Schlüsselkomponente zur Herstellung der Interoperabilität in technischen Systemen ist eine standardisierte Terminologie und Semantik, die in Normen und Standards festgehalten wird. Eine Voraussetzung für einen geordneten Normungs- und Standardisierungsprozess ist eine Beschreibung der Anwendungsbereiche in einem Referenzmodell. Referenzmodelle und Referenzarchitekturmodelle sind abstrakte Vorgehensweisen für das Systemdesign in einem bestimmten Anwendungsfall. Sie beschreiben den Versuch, systemübergreifende Anwendungsfälle durch eine zweckorientierte Abbildung der Umgebung abzubilden (DIN/DKE 2023b). Solche Referenzmodelle bzw. Referenzarchitekturmodelle sind sowohl bei den Datenräumen als auch bei der Digitalisierung des Stromnetzes zukünftig von sehr großer Bedeutung.

Als Grundlage definiert die Studie im Kapitel 2 zunächst anhand von drei Anwendungsszenarien – Lokale, Regionale und Überregionale Optimierung – ein Zielbild der Sektorenkopplung und leitet allgemeine Anforderungen an die Normung ihrer digitalen Bestandteile ab. Kapitel 3 beschreibt die aktuelle Diskussion zu Standards für Datenräume. Im Mittelpunkt stehen der Konsortialstandard International Data Spaces (IDS) der IDSA und der damit eng verbundene Konsortialstandard GaiaX für den Aufbau europäischer Cloud-Infrastrukturen. Wichtige konkurrierende Ansätze werden ebenfalls diskutiert. Außerdem werden die für die Energiewirtschaft zentralen deutschen und europäischen Pilotprojekte zu Datenräumen vorgestellt. Kapitel 4 erläutert den Status zu Standards für den digitalen Zwilling und geht dabei vor

allem auf die Asset Administration Shell (AAS) ein, beleuchtet aber auch wichtige andere Ansätze. Die bereits laufende Normung bei der Digitalisierung der Energiewirtschaft neben den Datenräumen und der AAS wird in Kapitel 5 analysiert. Das geschieht getrennt für die Sektoren Strom, Gas, Wärme und Mobilität, weil der jeweilige Stand bei der Normung der Digitalisierung sehr unterschiedlich ist. Kapitel 6 leitet schließlich zusammenfassend Handlungsempfehlungen für die Normung der digitalen Sektorenkopplung ab.

Zwischenergebnisse der Studie wurden am 30.01.2024 in Berlin mit neun Fachleuten diskutiert. Ihre Kommentare und Anregungen sind in die abschließende Fassung eingeflossen. Die Autoren bedanken sich herzlich bei den Teilnehmern und Teilnehmerinnen des Workshops:

- *Volker Berkhout*, Fraunhofer-Institut für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik IEE,
- *Kristina Bognar*, Schneider Electric GmbH,
- *Dr. Jacob L. Gorenflos López*, Bitkom,
- *Axel Kiessling*, TenneT TSO GmbH,
- *Alexander Nollau*, DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik,
- *Johannes Stein*, DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik, und
- *Marie-Yeun Thomas*, Bundesnetzagentur.

Zwei weitere Teilnehmende des Workshops haben um Vertraulichkeit gebeten und wollten nicht öffentlich genannt werden.

Die Verantwortung für den Inhalt der Studie liegt ausschließlich bei den Autoren.

Die Studie wurde im Auftrag der Deutschen Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik (DKE) erstellt. Die vom VDE (Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik) getragene DKE ist die Plattform für rund 9.000 Experten und Expertinnen aus Wirtschaft, Wissenschaft und Verwaltung zur Erarbeitung von Normen, Standards und Sicherheitsbestimmungen für die Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik (www.dke.de). Normen unterstützen den weltweiten Handel und dienen u. a. der Sicherheit, Interoperabilität und Funktionalität von Produkten und Anlagen. Als Kompetenzzentrum für elektrotechnische Normung vertritt die DKE die Interessen der deutschen Wirtschaft in europäischen (CENELEC, ETSI) und internationalen Normenorganisationen (IEC). Darüber hinaus erbringt die DKE umfangreiche Dienstleistungen rund um die Normung und das VDE-Vorschriftenwerk.

2 Zielbild und allgemeine Anforderungen an die Normung

Die Sektorenkopplung ist heute noch eher eine Vision als die Realität. Um diese Vision fassbar zu machen, beschreibt dieses Kapitel ein Zielbild der Sektorenkopplung in drei Anwendungsszenarien und leitet daraus allgemeine Anforderungen an die Normung ihrer digitalen Anteile ab. Eine vertiefte Analyse der aktuellen Normen zur Digitalisierung der Energienetze findet sich in Kapitel 5.

Die Anwendungsszenarien dieser Studie beschreiben die Interaktionen zwischen den Akteuren der Sektorenkopplung und ermöglichen es, die jeweiligen Anforderungen und Problemstellungen zu benennen. Ihre Grundlage sind die Umsetzungen in den Reallaboren des Förderprogramms „Schaufenster intelligente Energie – Digitale Agenda für die Energiewende“ (SINTEG), das vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz finanziert wurde. Von 2016 bis 2021 wurden in fünf großflächigen Modellregionen übertragbare Ansätze für eine sichere, wirtschaftliche und umweltverträgliche Energieversorgung bei zeitweise 100 % Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien entwickelt. Die Ergebnisse dieser Modellregionen wurden in mehreren Syntheseberichten zusammengetragen, um projektübergreifende Ergebnisse zu aggregieren und ihre Übertragbarkeit zu bewerten. Besondere Relevanz für diese Studie hat der Synthesebericht 1 „Flexibilitätpotenziale und Sektorkopplung“, da er die relevanten Anwendungsfelder direkt adressiert (Munzel et al. 2022).

Ausgehend von den im Bericht beschriebenen 12 Anwendungsbeispielen wurden die unterschiedlichen Akteure, Anwendungen und Interaktionen ermittelt und anschließend zu einem Gesamtbild der Ebenen, Akteure und technischen Ressourcen der digitalen Sektorenkopplung zusammengeführt, das die Grundlage für die weiteren Analysen darstellt (siehe Abbildung 2). Dabei werden zwei Dimensionen betrachtet:

- die Aggregation der beeinflussten Leistung, die sich über die unterschiedlichen Leistungs- und Netzebenen hinweg vom Endgerät der Privatperson und die dezentralen Erzeugungsanlagen bis zum Transportnetz erstreckt, und
- die Aggregation der Entscheidungsmacht, die von der Feldebene über einzelne Steuergeräte bis hin zu den Marktrollen und dem Energiemarkt führt.

Zwischen den Steuerungsinstanzen und Akteuren wird eine Vielzahl an Informationen ausgetauscht. Dabei unterscheiden sich nicht nur die verwendeten Datenformate und Standards, sondern oft auch die genutzten Infrastrukturen. So spielt beispielsweise die Smart-Meter-Gateway-Infrastruktur eine immer bedeutendere Rolle bei der Ansteuerung von Verbrauchs- und Erzeugungs-

einheiten. Über sie sollen zukünftig alle sicherheitskritischen Steuersignale manipulationssicher und datenschutzkonform kommuniziert und so eine unerwünschte Destabilisierung der Energienetze verhindert werden. Gleichzeitig nutzen viele Akteure wie Gerätehersteller, Aggregatoren oder private Nutzer immer noch proprietäre Kommunikationswege, deren Sicherheitsstandards nur sehr begrenzten Überwachungen und Kontrollen unterliegen.

Um die Komplexität zu reduzieren und die konkreten Anwendungsfälle besser abbilden zu können, wurden für diese Studie drei Anwendungsszenarien herausgearbeitet, die alle Akteure der digitalen Sektorenkopplung und alle Aggregationsebenen der beeinflussten Leistung und der Entscheidungsmacht gleichermaßen abdecken (siehe Abbildung 2):

- Lokale Optimierung einer Liegenschaft
- Regionale Optimierung mehrerer Liegenschaften
- Überregionale Optimierung

Das Szenario „Lokale Optimierung“ adressiert die Verbrauchsoptimierung in der Liegenschaft eines Haushalts oder eines kleineren Gewerbebetriebs, daneben aber auch die Vermarktung von Flexibilitäten. Der Fokus liegt auf der Interaktion der beteiligten Energieressourcen wie Wärmepumpen, Photovoltaik-Anlagen und E-Autos. Viele der Herausforderungen haben einen technischen Charakter und resultieren aus dem Zusammenspiel der zahlreichen Standards für Datenaustausch und Interoperabilität.

Das zweite Szenario „Regionale Optimierung“ setzt eine räumliche Ebene darüber an und beschreibt die Interaktion mehrerer Akteure bei der Sektorenkopplung, seien es die Unternehmen in einem Gewerbegebiet oder die Gebäudeeigentümer in einem Wohnquartier. Der Integration anderer Energieformen wie Industriewärme und Biogas kommt hier eine bedeutende Rolle zu. Gleichberechtigtes Ziel ist neben der liegenschaftsübergreifenden Verbrauchsoptimierung die gemeinsame Vermarktung von Flexibilitäten. Die technischen Herausforderungen sind zwar immer noch präsent, werden aber von den organisatorischen Fragestellungen überlagert, die sich aus den Anforderungen an Datensicherheit und Datensouveränität beim Informationsaustausch zwischen unabhängigen Akteuren ergeben.

Akteure und technische Ressourcen der digitalen Sektorenkopplung sowie ihre Kommunikation

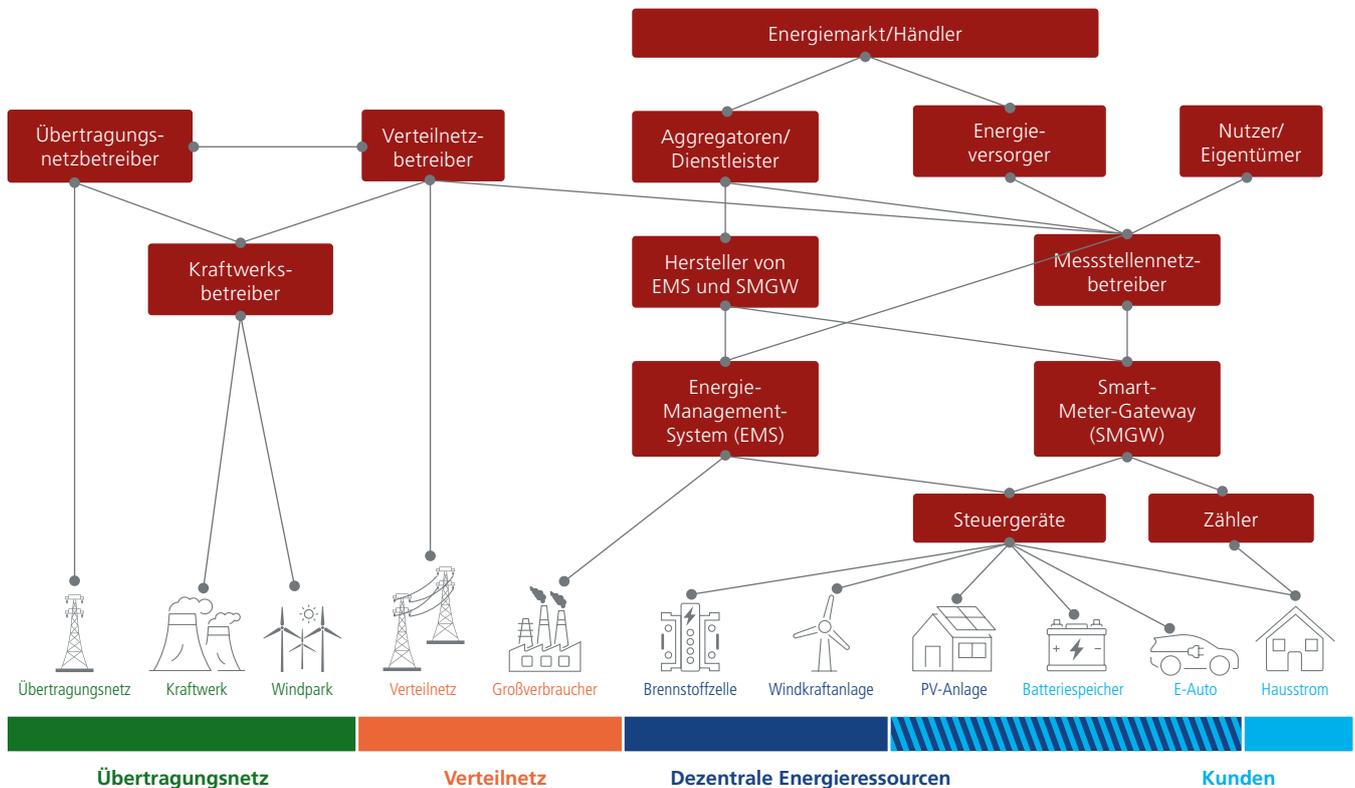


Abbildung 2: Akteure und technische Ressourcen der digitalen Sektorenkopplung sowie ihre Kommunikation

Im dritten Szenario „Überregionale Optimierung“ geht es um die Abstimmung zwischen Großkraftwerken, Großspeichern, Großverbrauchern und den Netzbetreibern. Dabei werden neben dem Stromnetz auch die Gas- und Wärmenetze einbezogen. Angestrebte Nutzen sind der stabile und effiziente Betrieb des Energiesystems und wiederum die Vermarktung von Flexibilitäten. Marktliche und regulatorische Fragestellungen nehmen eine zentrale Rolle ein. Zusätzlich müssen auf dieser Ebene auch die internationalen Verflechtungen der Energienetze mitberücksichtigt werden.

Eigenschaften des Anwendungsszenarios „Lokale Optimierung einer Liegenschaft“

Eigenschaft	Ausprägung
Fokus	Haushalte und kleine Gewerbe
Akteure	Besitzer, Nutzer und Bewohner der Liegenschaften, Energieversorger, Dienstleister (z. B. für Ablesedienste, Energiebeschaffung oder Direktvermarktung), Gerätehersteller
Ressourcen	Wärmepumpen oder andere PtH-Anlagen, Photovoltaik-Anlagen mit Speicher, E-Autos mit Ladestelle (auch bidirektional), Solarthermie
Nutzen	Eigenverbrauchsoptimierung, Vermarktung von Flexibilität (Zusatzerlöse)
Herausforderungen	Offene vs. proprietäre Systeme, möglicher Verlust von Personendaten und von vertraulichen Unternehmensdaten, Plug-and-play-Funktionalitäten von Endverbrauchergeräten

Tabelle 1: Eigenschaften des Anwendungsszenarios „Lokale Optimierung einer Liegenschaft“

2.1 Lokale Optimierung einer Liegenschaft

Das erste Anwendungsszenario umschreibt die Situation in einer einzelnen Liegenschaft (siehe Tabelle 1). Diese kann ein Einfamilienhaus, ein kleiner Gewerbe- oder Industriebetrieb oder ein landwirtschaftliches Unternehmen sein. Betrachtet werden hierbei vor allem die Energieflüsse innerhalb der Liegenschaft. Von außen werden diese über das Stromnetz mit elektrischer Energie und in der Regel einem Gas- oder Fernwärmeanschluss mit thermischer Energie versorgt. Neben unterschiedlichen Verbrauchern besitzen diese Einheiten oft auch eigene Erzeugungsanlagen in Form von Photovoltaik-Anlagen oder Solarthermie sowie Einrichtungen zur Speicherung von thermischer und elektrischer Energie in Form von Batterien und Warmwasserspeichern.

Die Hauptanwendung in diesem Bereich umfasst die finanzielle Optimierung des eigenen Verbrauchs. Die erzielbaren Vergütungen für die Einspeisung von lokal erzeugter Energie liegen um ein Vielfaches niedriger als die zu entrichtenden Preise bei Netzbezug. Entsprechend besteht ein großer finanzieller Anreiz, die selbst erzeugten Energiemengen vor Ort selbst zu nutzen. Flexibilitäten in Form von elektrochemischen Speichern oder zusätzliche Stromsenken durch variable Verbraucher wie Wärmepumpen oder Elektrofahrzeuge erfreuen sich daher großer Beliebtheit und sind vielfach finanziell rentable Investitionen.

Zur Ermittlung des meist finanziell bestimmten Optimums sind eine Vielzahl an Informationen notwendig: Energietarife, Prognosedaten von Verbrauch und Erzeugung sowie die Vorlieben und Ansprüche der Nutzer (siehe Abbildung 3). Hinzu kommt, dass die Kommunikationswege und verfügbaren Informationen

aus den einzelnen Geräten nicht frei gewählt werden können. Für bestimmte Anwendungen, wie z. B. den Abruf von Zählerdaten oder die Steuerung von unterbrechbaren Verbrauchseinrichtungen, ist die Nutzung der Smart-Meter-Infrastruktur gesetzlich vorgeschrieben. In anderen Fällen bieten Hersteller von Geräten wie etwa Heizungsanlagen nur im begrenzten Maße Zugang zu ihren Produkten und den darauf erzeugten Daten. Die Vernetzung der Geräte und die sinnvolle Steuerung bei einer Vielzahl unterschiedlicher Protokolle, Datenformate und Schnittstellen stellen dabei erhebliche Hürden dar. Zusätzlich erschwert wird dieser Umstand dadurch, dass im Szenario häufig eine Vielzahl von Endverbraucher-Geräten im Einsatz sind, die jedes für sich ein sehr unvorteilhaftes Verhältnis von Integrationsaufwand zu finanziellem Optimierungspotential aufweisen.

Hinzu kommt, dass Plug-and-play-Funktionalitäten für viele der Geräte nur sehr unzureichend vorhanden sind. Photovoltaik-, Heizungs- und Klimaanlage unterschiedlicher Hersteller weisen nicht nur grundverschiedene Bedienungskonzepte auf, sondern sind in den wenigsten Fällen ohne erheblichen Aufwand miteinander vernetzbar. Die involvierten Techniker und Handwerker müssen daher erhebliche Hindernisse überwinden, um einen optimalen Betrieb und die Koordination der Anlagen untereinander zu ermöglichen.

Anwendungsbeispiel

- *Eigenverbrauchsoptimierung von selbst erzeugtem Photovoltaik-Strom mittels Batteriespeicher und Elektrofahrzeug:* Da selbst erzeugter Strom deutlich günstiger ist als aus dem Netz bezogene elektrische Energie, soll mittels Speicher und

Akteure, technische Ressourcen und ihre Kommunikation im Anwendungsszenario „Lokale Optimierung einer Liegenschaft“

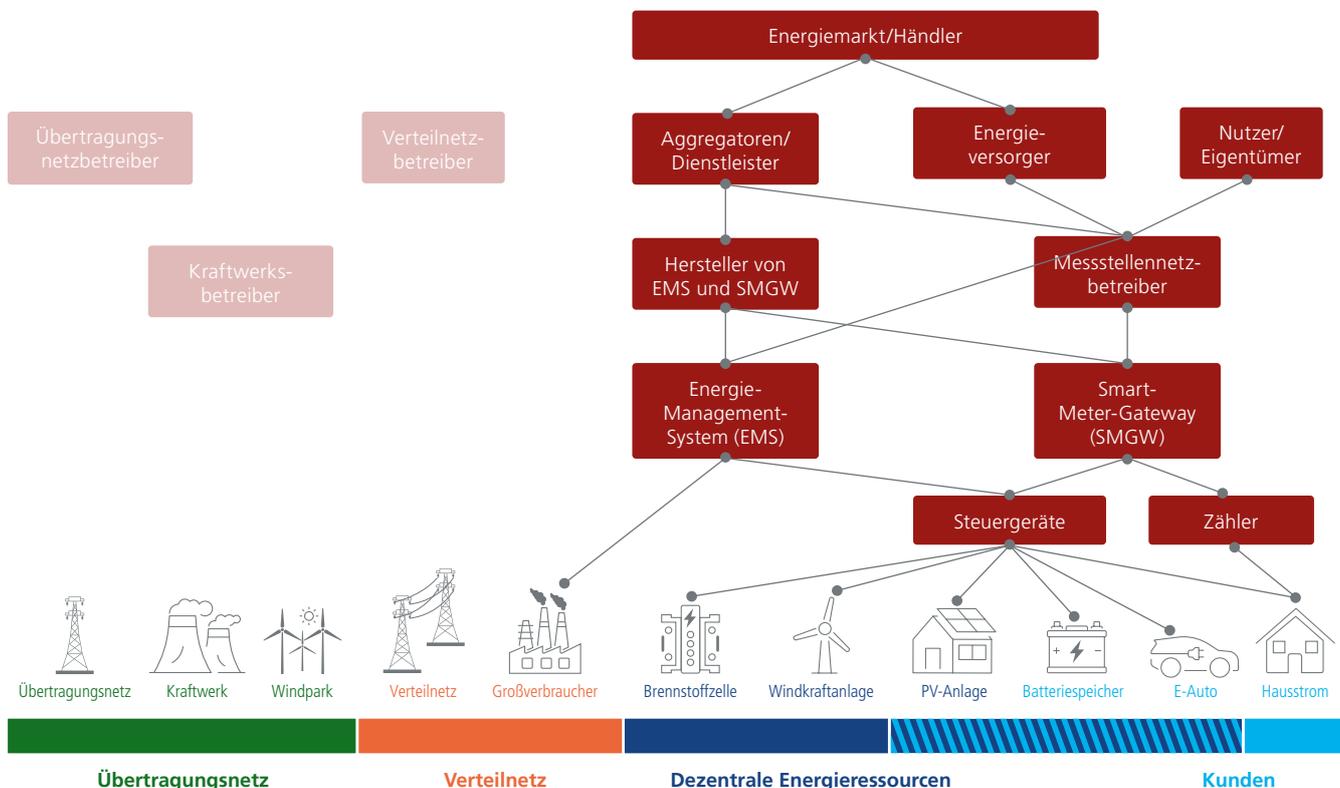


Abbildung 3: Akteure, technische Ressourcen und ihre Kommunikation im Anwendungsszenario „Lokale Optimierung einer Liegenschaft“

Elektrofahrzeug der zur Tagesmitte überschüssig erzeugte Strom zwischengespeichert und in den sonnenarmen, aber verbrauchsreichen Abendstunden genutzt werden. Ein Dienstleister bietet an, durch lernende Systeme auf der Basis von Verbrauchsdaten eine automatisierte Verbrauchsprognose zu erstellen, die die Beladung der Batterie optimiert und Vorschläge zur Verbrauchssteuerung macht. Verfügbare und nicht genutzte Flexibilität wird an der Strombörse vermarktet.

Die Hersteller der Geräte stehen dabei vor der Herausforderung, aus der Vielzahl der Optionen diejenigen auszuwählen, von denen sie glauben, dass sie den späteren Kundennutzen am ehesten treffen, ohne die Produkte zu aufwendig zu gestalten. Wer genug Marktmacht hat, kann eventuell sogar eigene proprietäre Standards durchsetzen. Für die Sektorenkopplung ist damit die Interoperabilität auf Geräteebene eine der zentralen Herausforderungen der Normung.

Anforderungen an Standardisierung und Normung

– *Interoperabilität der Geräte:* Die Frage, wie unterschiedliche Steuergeräte miteinander kommunizieren und welche Datenstandards und Schnittstellen sie dabei nutzen, ist zwar technisch im Einzelfall lösbar, aber die Voraussetzungen sind alles andere als einheitlich geregelt. So existieren zahlreiche Standards und Ökosysteme für die Automatisierung von Wohnungen bzw. Wohngebäuden und von Gewerbebetrieben, teils standardisiert und offen, teils als Konsortialstandard und teilweise als proprietäre Lösung.

– *Datenschutz und Informationssicherheit:* Prognosen für Nutzerverhalten und Energieverbrauch sowie der tatsächliche Energieverbrauch sind Daten mit hohem Personenbezug bzw. vertrauliche Daten von Betrieben. Über Standards und Normen der digitalen Sektorenkopplung muss gewährleistet sein, dass die Vorgaben zum Schutz von Personendaten eingehalten werden und dass Unternehmen sicher sein können, dass ihre betrieblichen Daten nicht in unbefugte Hände geraten.

Eigenschaften des Anwendungsszenarios „Regionale Optimierung mehrerer Liegenschaften“

Eigenschaft	Ausprägung
Fokus	Mittelständische Betriebe, Quartiere, landwirtschaftliche Betriebe
Akteure	Versorgungsnetzbetreiber, Besitzer der Liegenschaften, Wohnungsgenossenschaften, Energieversorger für Strom und Wärme, Dienstleister (z. B. für Demand-Side-Management)
Ressourcen	Wärmepumpen und andere PtH-Anlagen, E-Fahrzeugflotten mit bidirektionalen Ladestellen, Elektrolyse-Anlagen, Brennstoffzellen, Solarthermie, Biogasanlagen, Blockkraftheizwerke, Wärmepumpe
Nutzen	Eigenverbrauchsoptimierung, Zusatzerlöse über die Vermarktung von Flexibilitäten, Engpassmanagement in der Mittelspannung
Herausforderungen	Kommunikation zwischen vielen unterschiedlichen Akteuren und Rollen, sichere und resiliente Kommunikationsinfrastruktur (Smart-Meter-Gateways), Kontrolle über die betrieblichen Daten von Unternehmen, Schutz der Personendaten von Belegschaften und Bewohnern

Tabelle 2: Eigenschaften des Anwendungsszenarios „Regionale Optimierung mehrerer Liegenschaften“

– *Plug-and-play*: Die Einrichtung und Vernetzung von Geräten der lokalen Energiebereitstellung und ihre Nutzung sind oft aufwendig und fehleranfällig. Eine Überprüfung ist durch die Privateigentümer ohne Fachkenntnisse nicht realisierbar, und auch Handwerker und Techniker sind von der Vielzahl an Systemen, Design-Philosophien und Sonderlösungen oft überfordert. Genormte Plug-and-play-Funktionalitäten, wie sie im Bereich der Computertechnik und Consumer-Elektronik bereits Standard sind, könnten hier eine spürbare Verbesserung ermöglichen.

2.2 Regionale Optimierung mehrerer Liegenschaften

Das Anwendungsszenario „Regionale Optimierung“ umschreibt eine Situation, in der mehrere Liegenschaften oder Quartiere betrachtet werden (siehe Tabelle 2). Die Betrachtung umfasst dabei immer mehrere unabhängige Akteure, die in einem regionalen Zusammenhang stehen. Dies können beispielsweise Industrie- und Gewerbeunternehmen sein, die in einem gemeinsamen Gebiet angesiedelt sind. Alternativ sind auch unabhängige Wohnquartiere in einer Stadt oder Dörfern und Gemeinden in einer ländlichen Region denkbar. Im Unterschied zum Anwendungsszenario „Lokale Optimierung“ ist hier allerdings die Aggregationsebene der Energieflüsse höher. Es werden nicht mehr einzelne Geräte wie Energieverbraucher oder Erzeuger betrachtet, stattdessen treten die Liegenschaften als abgeschlossene Einheit im Verbund auf. Diese sind dadurch charakterisiert, dass sie zum einen bestimmte Energiebedarfe in Form von Strom und Wärme haben, andererseits aber auch selbst Energie erzeugen

und bereitstellen können – sei es in Form von Solarstrom, industrieller Abwärme oder eigenerzeugtem Biogas.

Bei der Optimierung von mehreren unabhängigen Einheiten spielen organisatorische und marktliche Fragestellungen eine wichtige Rolle, die bei der Betrachtung einer einzelnen Liegenschaft oft irrelevant sind. So sind hier unterschiedliche Akteure in unterschiedlichen Markttrollen aktiv, die individuelle und zum Teil konkurrierende Ziele verfolgen. Beim Austausch von Informationen folgen sie etablierten Prozessen oder fest vorgegebenen Standards, wie sie beispielsweise für die Elektrizitätswirtschaft in der von der Bundesnetzagentur festgelegten „Marktkommunikation (MaKo)“ definiert sind (siehe Abbildung 4). So sind zwar bereits Informationsflüsse festgelegt und definiert, von einem ganzheitlichen, integrierten Datenraum ist die praktische Umsetzung aber noch weit entfernt.

Entsprechend üben diese Rahmenbedingungen einen zusätzlichen Einfluss auf die Ausgestaltung der Anwendungsfälle und somit auch der unterlagerten technischen Implementierung von Austauschformaten und Datenmodellen aus. Diese müssen nicht nur geeignet sein, eine Verbindung der physischen Geräte zu ermöglichen, sondern auch den organisatorischen Anforderungen der Regulierung, der Informationssicherheit, des Personendatenschutzes für die Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen sowie der Datensouveränität bei der Bereitstellung eigener Daten gerecht werden.

Akteure, technische Ressourcen und ihre Kommunikation im Anwendungsszenario „Regionale Optimierung mehrerer Liegenschaften“

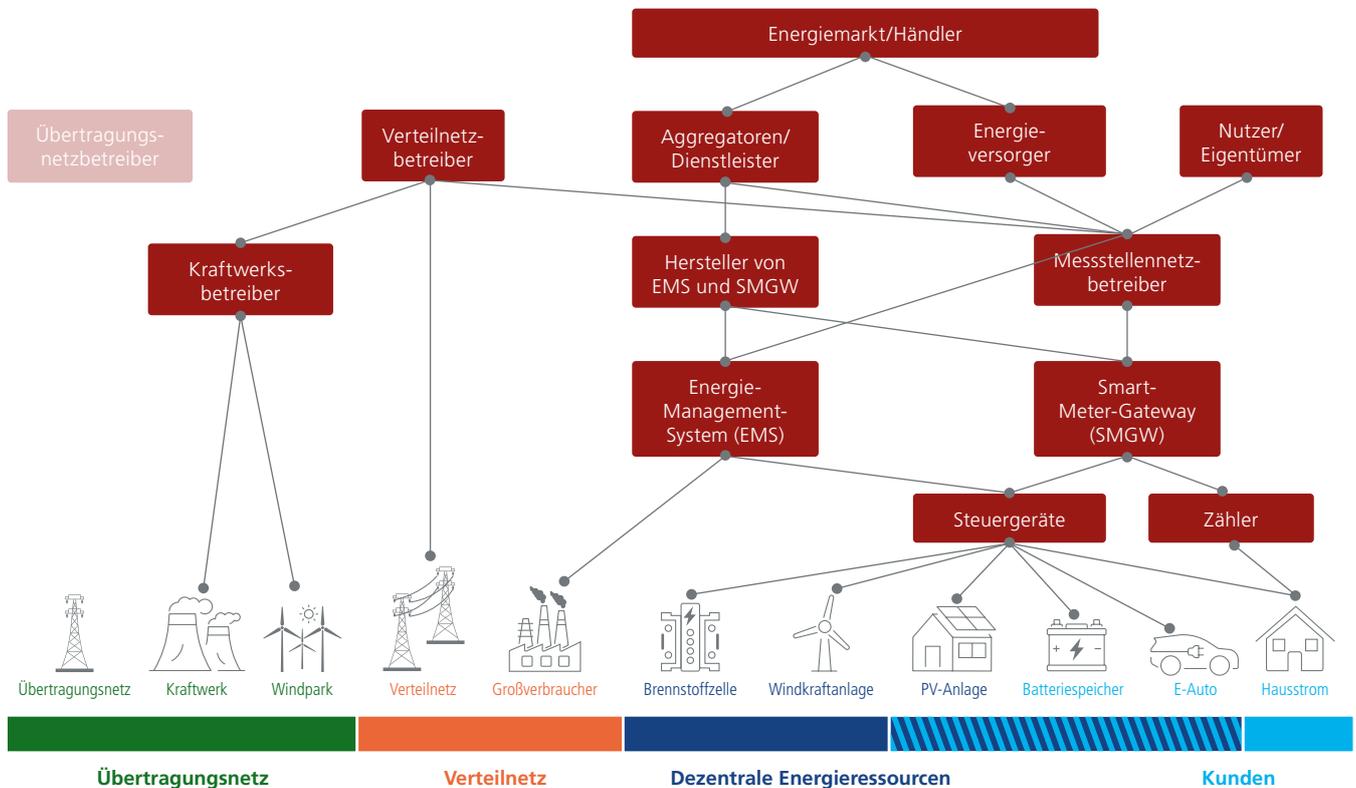


Abbildung 4: Akteure, technische Ressourcen und ihre Kommunikation im Anwendungsszenario „Regionale Optimierung mehrerer Liegenschaften“

Anwendungsbeispiele

- *Erschließung von kleinteiligen Flexibilitätsoptionen bei Haushalten und Kleingewerbe:* Ein Aggregator kann über eine geeignete Datenschnittstelle die Verbrauchsprognosen und möglichen Flexibilitätspotentiale von einer Vielzahl an Verbrauchern abfragen und zusammenführen. Auch wenn das Flexibilitätspotential von jedem einzelnen Anschluss nur gering ist, kann in Summe eine relevante Masse zusammengeführt werden, die dann an den Energiemärkten angeboten wird. Die Einnahmen werden nach Abzug der Verwaltungsprämie unter allen Beteiligten aufgeteilt.
- *Power to Heat im gewerblichen Umfeld:* Ein Logistikunternehmen mit Tiefkühlhochregallager hat neben der eigenen Photovoltaik-Anlage auf dem Dach ein Power-Purchase-Agreement mit einem Windpark abgeschlossen. Um den volatil erzeugten und gelieferten Strom bestmöglich zu nutzen, kann das Kühlhaus als Kältespeicher fungieren, indem die Temperatur im Rahmen der zulässigen Bandbreite angepasst wird. In Zeiten hoher Stromverfügbarkeit wird

„auf Vorrat“ heruntergekühlt, um im umgekehrten Fall teuren Netzbezug von Strom zur Kühlung zu reduzieren. Die Abwärme der Kühlaggregate wird lokal zur Gebäudeheizung verwendet, und die Flexibilität im Strombezug kann zusätzlich als Regelernergie vermarktet werden.

Anforderungen an Standardisierung und Normung

- *Datenschutz, Informationssicherheit und Datensouveränität:* Bei der regionalen Optimierung verschiebt sich der Fokus von der Interaktion der Geräte hin zur Interaktion der Akteure. Diese haben abweichende und gegebenenfalls auch konkurrierende Interessen, wie etwa die finanzielle Optimierung der eigenen Energieerzeugung bzw. des Energieverbrauchs oder die Vermeidung zusätzlichen Netzausbaus. Gleichzeitig besteht Bedarf am Informationsaustausch. Die Herausforderung besteht insbesondere darin, die Datensouveränität der Akteure zu wahren. Sie müssen selbst bestimmen können, welche der eigenen Daten sie bereitstellen, um Dienste und Services in Anspruch zu nehmen, und wo sie vertrauliche Betriebsinfor-

Eigenschaften des Anwendungsszenarios „Überregionale Optimierung“

Eigenschaft	Ausprägung
Fokus	Großverbraucher, Netzbetreiber, Energieversorger
Akteure	Versorgungsnetzbetreiber, Übertragungsnetzbetreiber, Energieversorger für Strom, Gas und Wärme, Aggregatoren
Ressourcen	Großanlagen für Power to Heat und Power to Gas (Elektrolyse), Pumpspeicher, virtuelle Kraftwerke, steuerbare industrielle Großverbraucher, Windparks
Nutzen	Vermarktung von Flexibilität, Netzdienstleistungen
Herausforderungen	Kommunikation zwischen Akteuren und Rollen aus Netzbetrieb und Marktseite, Abstimmung mit europäischen Energieversorgern und Übertragungsnetzbetreibern

Tabelle 3: Eigenschaften des Anwendungsszenarios „Überregionale Optimierung“

mationen schützen wollen. Zudem müssen auch in diesem Anwendungsszenario die persönlichen Daten der Belegschaften und Bewohner geschützt werden.

- *Integration des Smart-Meter-Gateways:* Gleichzeitig wird für eine Reihe von Funktionen, insbesondere bei der Steuerung von Energieverbrauchern, zukünftig das Smart-Meter-Gateway (SMGW) als Kommunikationsinfrastruktur zwingend vorgegeben. Inwieweit parallele Kommunikationswege mit geringerem Schutzniveau weiterhin zulässig sein werden, bleibt abzuwarten. Auf jeden Fall muss das Smart-Meter-Gateway nahtlos in die digitale Sektorenkopplung und ihre Normung einbezogen werden. (Eine vertiefte Betrachtung zur Normung des SMGW findet sich in Abschnitt 5.1.2.)
- *Marktkommunikation und Rollendesign:* Wie unterschiedliche Akteure miteinander kommunizieren, folgt zum Teil gewachsenen und etablierten Mustern. In bestimmten Bereichen wie der Elektrizitätswirtschaft sind diese aber auch durch die Regulierungsbehörden fest vorgegeben. Mit Blick auf die Sektorenkopplung und den informationellen Datenraum ergeben sich hierdurch konkrete Anforderungen an mögliche Lösungsansätze. Die entsprechenden Standards und Normen müssen in jedem Fall in der Lage sein, die existierenden Vorgaben und Strukturen abzubilden und den besonderen Anforderungen der Regulierung an Marktkommunikation und Rollendesign gerecht zu werden.

2.3 Überregionale Optimierung

Das Anwendungsszenario „Überregionale Optimierung“ umschreibt diejenige Situation, in der die Ausgleichs- und Optimierungsaktivitäten über einen ausgedehnten geografischen Raum hinweg stattfinden (siehe Tabelle 3). Entsprechend sind auch die betrachteten Energiemengen nochmals deutlich höher als im vorherigen Anwendungsszenario „Regionale Optimierung“.

Das hier beschriebene Szenario umfasst in erster Linie die Großkraftwerke, Großspeicher und Großverbraucher, die als Einzelakteure spürbaren Einfluss auf die Transportinfrastruktur im Strom- und Gasnetz haben. Direkt darunter sind jedoch auch die aggregierten Verbraucher angesiedelt, die in gebündelter Form ebenfalls signifikanten Einfluss ausüben können. Der Nutzen ist die Optimierung des Energiesystems über die bisherigen Stabilitätsmechanismen, wie beispielsweise die Frequenzhaltung im Strombereich, hinaus. Das Ziel ist es, ungenutzte Potentiale im marktlichen Bereich, aber auch bei den Kapazitäten der Infrastruktur zu heben. Hierzu ist ein Austausch von ökonomischen Informationen, Verbrauchs- und Erzeugungsprognosen und physikalischen Infrastrukturrestriktionen auch über Ländergrenzen hinweg notwendig.

Ähnlich wie im Anwendungsszenario „Regionale Optimierung“ spielen auch hier die rechtlichen Restriktionen bei der Weitergabe von Informationen eine bedeutende Rolle. Der regulatorisch streng getrennte Bereich des Netzbetriebs ist dabei von der marktgetriebenen Seite der Erzeugung, des Handels und des Vertriebs separiert (siehe Abbildung 5). Dies gilt gleichermaßen für die Sektoren Strom und Gas. Eine Datenweitergabe über die regulatorischen oder sektoralen Grenzen hinweg findet nur sehr

Akteure, technische Ressourcen und ihre Kommunikation im Anwendungsszenario „Überregionale Optimierung“

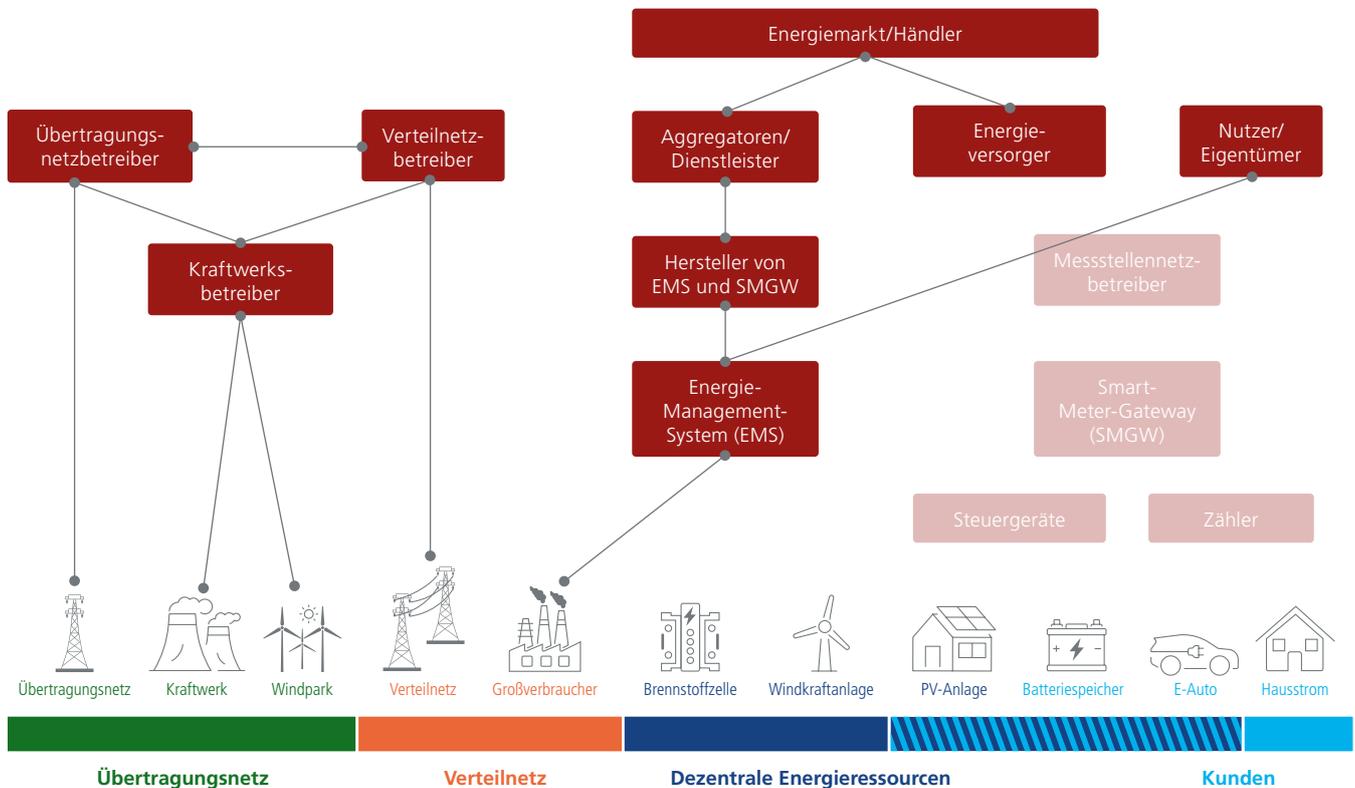


Abbildung 5: Akteure, technische Ressourcen und ihre Kommunikation im Anwendungsszenario „Überregionale Optimierung“

eingeschränkt statt. Hinzu kommt, dass auch die Akteure auf der Marktseite miteinander in Konkurrenz stehen, also ein hohes Interesse daran haben, möglichst wenig Einblick in die eigenen Verbrauchsprognosen, Kundenstrukturen oder Marktaktivitäten zu gewähren. Die zentrale Herausforderung für jedes sektorenübergreifende Datenmodell ist es daher, das richtige Maß an Datenaustausch zu erlauben, damit bestehende Potentiale gehoben werden können, und gleichzeitig restriktiv genug zu sein, um die Datenhoheit der Akteure zu wahren und die regulatorischen Vorgaben einzuhalten.

Anders als bei den beiden vorherigen Anwendungsszenarien spielt hier auch das Thema der Internationalisierung eine zunehmende Rolle. Eine überregionale Optimierung ist ohne Berücksichtigung der europäischen Nachbarn nur sehr bedingt möglich. Alle angestrebten Lösungen müssten also mindestens mit den direkten Nachbarsystemen kompatibel sein.

Anwendungsbeispiele

- **Power to Gas:** Ein lokaler Energieversorger nutzt Wasserstoffherzeugung mittels Elektrolyse, um Wind- oder Solarstrom, der nicht oder nur teilweise ins Netz eingespeist werden kann, zu verbrauchen und stellt daraus H_2 für den Mobilitätssektor her. Die Flexibilität in der Stromabnahme hilft, das Netz vor Überlastungen zu schützen, und stellt eine zusätzliche Erlösquelle dar. Die Abwärme der Brennstoffzellen (ca. 30 % Verlustleistung) wird lokal zur Gebäudeheizung genutzt oder in ein Nahwärmenetz eingespeist. Zusätzliche Flexibilität entsteht dadurch, dass sowohl H_2 als auch die Wärme zwischengespeichert werden können. Die Fahrweise – strom-, gas- oder wärmegeführt – ergibt sich aus einem komplexen Zusammenspiel externer Faktoren, wie dem Wärmebedarf der angeschlossenen Verbraucher in großen Wärmenetzen, dem Füllstand der Gasspeicher, Netzengpässen und Marktpreisen für diverse Energieformen.

Anforderungen an Standardisierung und Normung

- *Kommunikation zwischen Netzbetrieb und Marktseite:* Die überregionale Optimierung der Energiesysteme kann nur gelingen, wenn auch systematisch Informationen zwischen Netzbetrieb und Marktseite ausgetauscht werden können. Die strenge Trennung von Netzbetrieb und Marktseite stellt dabei eine Barriere dar, die berücksichtigt werden muss. Standards und Normen für den Datenaustausch können aber unter Umständen einen begrenzten Informationsfluss ermöglichen, der es erlaubt, Optimierungspotentiale zu heben. Dabei müssen sowohl regulatorische Vorgaben als auch der Schutz von Betriebsgeheimnissen der Akteure berücksichtigt und abgebildet werden können.
- *Internationalisierung:* Spätestens beim Management von Energiesystemen, die ganze Bundesländer beinhalten, kann dies nicht mehr ohne Berücksichtigung der angrenzenden Nachbarstaaten geschehen. Alle Lösungen und Ansätze auf dieser Ebene müssen daher international abgestimmt sein, um ein Zusammenspiel über Ländergrenzen hinweg zu erlauben. Idealerweise werden Standards und Normen gemeinsam entwickelt und das Erreichen von Lösungen von Beginn an als gemeinsame Aufgabe wahrgenommen.

2.4 Zwischenfazit

Aus den drei Anwendungsszenarien ergeben sich grundlegende Anforderungen an die Digitalisierung der Sektorenkopplung, die über geeignete Standards und Normen gewährleistet werden müssen:

Interoperabilität muss gegeben sein

Die Integration aller in die digitale Sektorenkopplung einzubeziehenden Geräte ist sehr aufwendig und vielfach auch technisch nicht lösbar. Die Schaffung von genormten Interoperabilitätsstandards ist eine zwingende Voraussetzung für die Umsetzung der Sektorenkopplung.

Plug-and-play für Endgeräte muss möglich sein

Genormte Plug-and-play-Funktionalitäten, wie sie im Bereich der Computertechnik und Consumer-Elektronik bereits Standard sind, können helfen, die aufwendige und fehleranfällige Inbetriebnahme und Vernetzung von Geräten zu vereinfachen.

Smart-Meter-Gateway muss integriert werden

Das in Deutschland stromwirtschaftlich gesetzlich vorgeschriebene Smart-Meter-Gateway muss nahtlos in die Standardisierung und Normung des Gesamtsystems der Sektorenkopplung integriert werden.

Datenschutz, Informationssicherheit und Datensouveränität müssen gewährleistet sein

Mit der Interaktion verschiedener autonomer Akteure muss ein Ausgleich zwischen deren Interessen bezüglich der Datensouveränität sichergestellt sein. Dies umfasst sowohl den Schutz der persönlichen Daten von Anwendern und Anwenderinnen als auch die Betriebsgeheimnisse der beteiligten Unternehmen. Dafür sind die Authentifizierung der Akteure, die Informationssicherheit und die Datenzugriffskontrolle durch geeignete Methoden abzusichern.

Marktkommunikation und Rollendesign müssen sich abbilden lassen

Sektorenübergreifende Datenräume müssen auf jeden Fall in der Lage sein, die bestehenden Strukturen und Rollen in den unterschiedlichen Energiemärkten abzubilden und den regulatorischen Vorgaben gerecht zu werden.

Begrenzte Kommunikation zwischen Netzbetrieb und Marktseite muss möglich sein

Insbesondere für die überregionale Optimierung muss auch eine begrenzte Kommunikation zwischen Netzbetrieb und Marktseite, die den Vorgaben der Regulierung gerecht wird, möglich sein. Standards und Normen müssen auch dies berücksichtigen.

Internationalisierung ist notwendig

Alle Lösungen und Ansätze müssen international abgestimmt sein, um ein Zusammenspiel über Ländergrenzen hinweg zu erlauben. Idealerweise werden Standards und Normen gemeinsam entwickelt und Lösungen zu erreichen von Beginn an als gemeinsame Aufgabe wahrgenommen.

3 Konzepte für Datenräume

Ein digitales Flexibilitätsmanagement in Energienetzen erfordert das Teilen von Daten zwischen verschiedenen Akteuren: Energieversorgern, Netzbetreibern aller Netzebenen, Dienstleistern sowie gewerblichen und privaten Verbrauchern, die zum Teil auch selbst Energie bereitstellen.

Bei der technischen Umsetzung des Datenteilens wird zwischen zentralen und dezentralen Systemarchitekturen unterschieden. Bei einer zentralen Architektur werden die Daten der Akteure an einer zentralen Stelle gesammelt und verwaltet. In der Regel werden die Daten dabei auch in ein einheitliches Datenmodell überführt. Dieser Ansatz stößt jedoch häufig auf Bedenken, weil die Akteure so die Verfügungshoheit über ihre Daten aufgeben und ihre Datensouveränität verlieren.

Der seit einigen Jahren diskutierte Ansatz der Data-Spaces verzichtet deswegen bewusst auf eine enge Datenintegration. Es gibt weder eine zentrale Datenhaltung noch ein einheitliches Datenmodell. Vielmehr wird für koexistierende und von den Akteuren autonom verwaltete Datenbestände auf Basis eines Datenkatalogs ein gemeinsamer Satz von Diensten für Suche, Abfragen und Datenaustausch angeboten. Die semantische Integration erfolgt bei Bedarf über Mapping-Dienste, die verschiedene Datenmodelle aufeinander abbilden. Der Datenzugriff geschieht über Schnittstellen, die von den einzelnen Akteure bereitgestellt werden (Franklin et al. 2005).

In der aktuellen Diskussion um die technische und organisatorische Umsetzung des Datenteilens in einzelnen Wirtschaftsbranchen hat es sich eingebürgert, nicht mehr von Datenplattformen, sondern von Datenräumen (Data-Spaces³) zu sprechen. Das geht insbesondere auf die Europäische Kommission zurück, die in ihrer Datenstrategie die Gründung von zahlreichen Data-Spaces plant, über die Unternehmen, Bürgerinnen und Bürger und andere Akteure ihre Daten teilen sollen. Gemeint sind damit aber zunächst nicht die oben erläuterten Data-Spaces im engeren Sinne ohne eine tiefergehende semantische Integration, sondern allgemein digitale Infrastrukturen für das Datenteilens, ohne sich schon auf eine Systemarchitektur festzulegen (Europ. Kommission 2020).

Tatsächlich hat in den letzten Jahren bei der technischen Umsetzung aber der Ansatz der Data-Spaces im engeren Sinne deutlich an Bedeutung gewonnen. Dafür steht insbesondere das Konzept der International Data Spaces (IDS)⁴, das anfänglich vom Fraunhofer-Institut für Software- und Systemtechnik (ISST) in

mehreren Forschungsprojekten des BMBF und des BMWK erarbeitet wurde und eine dezentrale Datenhaltung und eine lose Datenintegration vorsieht. IDS ist mittlerweile ein Konsortialstandard, der von einem breiten Industriekonsortium getragen wird und als Grundlage für eine Reihe von nationalen und europäischen Datenraum-Projekten dient. Der Standard umfasst u. a. ein Referenzarchitekturmodell, ein Zertifizierungssystem für IDS-konforme Datenräume, Musterimplementierungen für Teile der Architektur (Eclipse Dataspace Components) und eine Spezifikation für die Kommunikation zwischen Datenraum-Komponenten (Dataspace Protocol).

Daneben gibt es aber auch andere Konzepte für Datenräume, u. a. die Software-Komponenten, Datenmodelle und Standardschnittstellen des Industriekonsortiums FIWARE, das insbesondere auf die Realisierung von digitalen Infrastrukturen für Städte (Smart City) abzielt (SmartCityWorlds und FIWARE 2023), und die von der Europäischen Kommission in Auftrag gegebene Middleware für cloudbasierte Data-Spaces SIMPL (Europ. Kommission 2023).

Die allermeisten Datenraum-Konzepte setzen auf Cloud-Technologien auf. Das erklärt die hohe Bedeutung des ursprünglich von den Wirtschaftsministerien in Deutschland und Frankreich begonnenen Projekts Gaia-X, mit dem der Aufbau europäischer Cloud-Infrastrukturen ermöglicht werden soll, die nicht von den großen US-Hyperscalern abhängen. Mittlerweile ist Gaia-X wie IDS ein internationaler Konsortialstandard mit einem umfassenden Regelwerk, einer Rahmenarchitektur und mehreren Software-Umsetzungen, darunter die oft verwendeten Cross Federation Service Components (XFSC) (Siska et al. 2023). Die Konsortialstandards IDS, Gaia-X und ihre wichtigsten Alternativen werden in Abschnitt 3.1 vorgestellt.

Sowohl in Deutschland als auch in der EU gibt es Pilotprojekte, um Datenräume in der Energiewirtschaft aufzubauen. In Deutschland geschieht das im vom BMWK geförderten Projekt energy dataX, das sich eng an die BMWK-Projekte Catena-X und Manufacturing-X für die Automobilindustrie bzw. das produzierende Gewerbe anlehnt. Die Europäische Kommission hat in ihrem Forschungsprogramm Horizon 2020 mehrere FuE-Projekte für europäische Datenräume aufgesetzt, die die Umsetzung des geplanten European Data Space for Energy vorantreiben sollen. Diese deutschen und europäischen Pilotprojekte werden in Abschnitt 3.2 präsentiert.

³ Häufig auch in der Schreibweise dataspace.

⁴ Ursprünglich: Industrial Data Spaces.

Building-Blocks für Datenräume nach OPEN DEI



Abbildung 6: Die Building-Blocks für Datenräume nach OPEN DEI (in Anlehnung an Ahle et al. 2021)

3.1 Konsortialstandards für Datenräume

Die deutsche und die europäische Diskussion um Datenräume für die Industrie und die Energiewirtschaft sind stark von den Konsortialstandards IDS und Gaia-X geprägt. Beide Standards werden nachfolgend im Detail vorgestellt – bei Gaia-X einschließlich der Cross Federation Service Components, XFSC). Die wichtigsten Alternativansätze FIWARE, Pontus-X und SIMPL werden in kürzerer Form ebenfalls betrachtet: Als Open-Source-Software für Smart-City-Anwendungen hat FIWARE Berührungspunkte mit der Energiewirtschaft und kommt daher in einigen europäischen FuE-Projekten zu entsprechenden Datenräumen zum Einsatz. Das Gaia-X-konforme System Pontus-X wird zumindest in einem europäischen Projekt für das Data-Sharing in der Energiewirtschaft eingesetzt. Die Open-Source-Middleware SIMPL, die sich noch in Entwicklung befindet, wird von der Europäischen Kommission als technische Basis für verschiedene Datenräume propagiert.

Es gibt mittlerweile eine Reihe von Referenzarchitekturen und technischen Umsetzungen für Datenräume. Im EU-Projekt OPEN DEI sind daher u. a. von IDSA und FIWARE übergreifende Entwurfsprinzipien und notwendige Komponenten (Building-Blocks) für die Umsetzung eines Datenraums durch Software und Governance-Regeln definiert worden (Ahle et al. 2021). Die Building-Blocks trennen sich in zwei Klassen auf. Die technischen

Bausteine für Interoperabilität, Vertrauen und Datenwert beschreiben Software-Komponenten mit bestimmten, für den Betrieb eines Datenraums notwendigen Eigenschaften oder Funktionen. Die Governance-Bausteine spezifizieren dagegen die Rollen sowie die organisatorischen und vertraglichen Regelungen in einem Datenraum (siehe Abbildung 6). Sowohl IDS als auch Gaia-X lassen sich mithilfe dieser Struktur der Building-Blocks abbilden.

3.1.1 International Data Spaces

Das Ziel des Konsortialstandards International Data Spaces (IDS) ist die Unterstützung der Wirtschaft beim Aufbau von dezentralen Datenräumen. Träger der Initiative ist der deutsche International Data Spaces e. V. (= International Data Spaces Association, IDSA), der von einem breiten Konsortium aus Wirtschaft und Wissenschaft getragen wird. Das Konzept für IDS⁵ wurde ursprünglich vom Fraunhofer-Institut für Software- und Systemtechnik initiiert und anfänglich in mehreren Forschungsprojekten von BMBF und BMWK entwickelt. Die International Data Spaces folgen dem Ansatz der Data-Spaces von Franklin et al. (2005) und beschreiben Datenräume ohne zentrale Datenhaltung und ohne zentrales Datenschema.

Der eigentliche Konsortialstandard besteht derzeit aus einem Referenzarchitekturmodell, das in abstrakter Form Teilnehmer-

⁵ Früher: Industrial Data Spaces.

rollen, Software-Komponenten und ein Zertifizierungssystem sowohl für Teilnehmer als auch zentrale Software-Komponenten in den Datenräumen beschreibt. Daneben gibt es das Open-Source-basierte Software-Framework Eclipse Dataspace Components (EDC), das für Teile des Architekturmodells konkrete Implementierungen bereithält, aber nicht normativ ist. Stattdessen wird derzeit mit dem Dataspace Protocol an einer Spezifikation der Kommunikation zwischen beliebigen Implementierungen von Datenraum-Komponenten gearbeitet. Für die technische und organisatorische Ausgestaltung eines IDS-konformen Datenraums gibt das IDSA Rulebook Richtlinien und Empfehlungen vor. Eine internationale Normung durch ISO und IEC ist eingeleitet.

Die IDSA deckt damit alle technischen Building-Blocks des Modells von OPEN DEI ab, macht bei den Governance-Bausteinen bis auf das Zertifizierungssystem und das Rulebook aber noch wenige Vorgaben.

Die IDS-Standarddokumente werden frei unter einer Creative-Commons-Lizenz zur Verfügung gestellt, für die Eclipse Dataspace Components gilt die Open-Source-Lizenz Apache, die bei der Verwendung große Freiheiten lässt, u. a. auch die kommerzielle Verwendung.

Die Standards, Spezifikationen und Referenzimplementierungen von IDS befinden sich noch in der Entwicklung, sodass nachfolgend nur ein vorläufiger Stand beschrieben werden kann. Eine Studie des finnischen Innovationsfonds Sitra aus dem Herbst 2023 bewertet den Reifegrad und die Akzeptanz der IDSA-Standards auf einer fünfstufigen Skala jeweils mit 3. Der Reifegrad der EDC wird allerdings nur mit der geringeren Stufe 2 eingeschätzt, während die Bewertung der Verbreitung auch hier bei 3 liegt⁶ (Poikola et al. 2023).

Das Referenzarchitekturmodell

Das IDS-Referenzarchitekturmodell (RAM) definiert ähnlich wie OPEN DEI Rollen und Software-Komponenten (IDSA 2023b). Ein hervorstechender Punkt im Architekturmodell sind die Datenkonnektoren (Data-Connector). In dieser Software-Komponente wird die gesamte Kommunikation von externen IT-Systemen der Datengeber und Datennehmer mit dem Data-Space abgewickelt. Da es kein zentrales Datenmodell gibt, wird zusätzlich mit dem Vocabulary-Hub eine Komponente definiert, in der neue Ontologien eingestellt werden können. Beide Besonderheiten spiegeln sich unmittelbar im Rollenmodell wider, das gegenüber dem von OPEN DEI deutlich ausdifferenzierter ist. Es umfasst 29 Basisrollen in vier Kategorien:

- *Core Participant*: Dazu gehören Data-Supplier (Datengeber) und Data-Customer (Datennehmer).
- *Intermediary*: Umfasst neben den Dienstleistern, die im Auftrag von Data-Supplier und Data-Customer tätig sind, zahlreiche Rollen für den Betrieb der internen Dienste.
- *Software Developers*: Dazu gehören Entwickler für die Konnektoren und weitere interne Applikationen (Apps).
- *Governance Body*: In diese Kategorie fallen alle Rollen, in denen Konnektoren, Apps und Dienste zertifiziert werden, und alle Rollen, in denen Vocabularies definiert und betrieben werden. Die IDSA selbst nimmt zwar in den einzelnen Datenräumen, die nach IDS aufgebaut sind, keine Rolle ein, sie ist aber verantwortlich für die Standardisierung des Referenzarchitekturmodells und den Betrieb eines mehrstufigen Zertifizierungssystems, mit dem sowohl Teilnehmer als auch Kernkomponenten in den Datenräumen zertifiziert werden.

Ähnlich wie das Modell von OPEN DEI beschreibt das IDS-Referenzarchitekturmodell keine konkrete technische Architektur, sondern ein abstraktes Referenzmodell, für das es unterschiedliche konkrete Ausprägungen geben kann. Es beinhaltet folgende Komponenten (siehe auch Abbildung 7):

- *Identity Provider*: eine Komponente für Identifikation, Authentifizierung und Autorisierung.
- *IDS Connector*: die Daten- und Diensteschnittstelle zwischen externen Datenquellen der Datengeber bzw. Datensinken der Datennehmer und dem Data-Space, inklusive automatisierten Nutzungsvereinbarungen (Contracts).
- *App Store und Data Apps*: Der App-Store ist eine Komponente für die Verwaltung allgemein nutzbarer Software, die auf den Komponenten des Data-Space ausgeführt werden („IDS Apps“).
- *Metadata Broker*: ein Katalog, der die IDS Connectors eines Data-Space beschreibt. Die Einträge geben Dateneigner, Schnittstellen und Metadaten an. Sie basieren auf Selbstangaben der Dateneigner.

⁶ Auf der Skala ist 1 der geringste Wert und 5 der höchste. Beim Reifegrad (maturity) entspricht 2 "early release" und 3 "stable release, or releases". Bei der Verbreitung (adoption) entspricht 3 "used by multiple actors and has continuous support from a commercial actor and an active community".

Komponenten eines IDS-Datenraums und ihre Interaktion

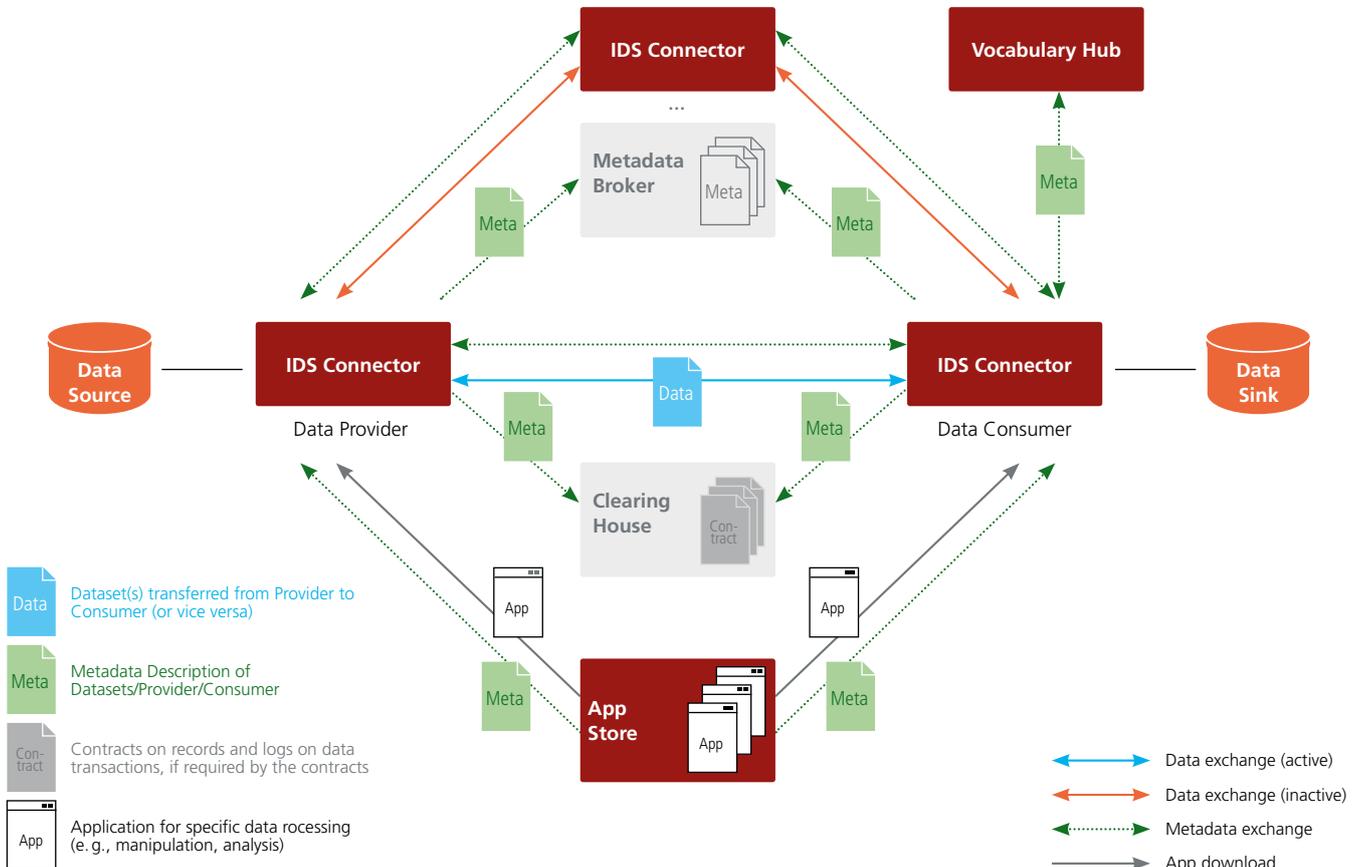


Abbildung 7: Die Komponenten eines IDS-Datenraums und ihre Interaktion (Quelle: IDSA 2023b, CC BY 4.0)

- **Clearing House:** eine Komponente für das Verwalten von Nutzungsvereinbarungen, das Protokollieren von Aktionen im Data-Space, die Abrechnung zwischen Akteuren im Data-Space und die Abrechnung des Betreibers mit den Akteuren.
- **Vocabulary Hub:** eine Komponente für die Verwaltung einer formalen, RDF⁷-basierten Ontologie, um Daten, Dienste, Nutzungsvereinbarungen etc. zu beschreiben.

Das Software-Framework Eclipse Dataspace Components

Mit den Eclipse Dataspace Components (EDC) gibt es ein Open-Source-Framework für die Umsetzung des IDS-Referenzarchitekturmodells. EDC ist ein Projekt, das bei der Eclipse Foundation angesiedelt ist, einer der großen Organisationen für das Ma-

nagement von Open-Source-Software-Projekten. Die Software unterliegt der Open-Source-Lizenz Apache 2.0., die große Freiräume bei der Verwendung lässt, einschließlich einer kommerziellen Nutzung. Getragen wird die Entwicklung u. a. von BMW, Amadeus, Microsoft, Huawei und der Fraunhofer-Gesellschaft. Vorhanden ist Quellcode für einen Teil des Referenzarchitekturmodells:

- ein Konnektor inklusive eines Daten-Dashboards,
- ein föderierter Katalog und
- das Identitätsmanagement und die Registrierung.

Außerdem werden Beispielimplementierungen für einen Minimum Viable Dataspace (MVD) und ein Adapter für das Trust-Framework von Gaia-X (siehe Abschnitt 3.1.2) bereitgestellt (Eclipse Foundation 2024; Siska et al. 2023).

7 RDF: Resource Description Format, Konsortialstandard des W3C für die semantische Modellierung von Internet-Ressourcen.

EDC ist damit ein Framework von Software-Komponenten, das für den Aufbau eigener Datenräume genutzt und erweitert werden kann. Verwendet wird es u. a. im Projekt Catena-X (das weiter unten im Abschnitt 3.2.1 näher vorgestellt wird).

Das Dataspace Protocol für die Kommunikation in Datenräumen

- IDS gibt weder konkrete Systemarchitekturen noch verbindliche Implementierungen für einen Datenraum vor. Stattdessen arbeitet die IDSA derzeit am Dataspace Protocol, mit dem eine technische Spezifikation für die Kommunikation zwischen den Komponenten eines Datenraums vorgegeben wird. Das Protokoll umfasst
- das Einstellen von Einträgen in Kataloge und die Suche nach ihnen,
- die Verhandlung von Nutzungsverträgen und
- die Initiierung des Datenaustauschs.

Das Dataspace Protocol stützt sich dabei auf die Internet-Standards DCAT (Data Catalog Vocabulary) und ODRL (Open Digital Rights Language) des Standardisierungskonsortiums W3C⁸.

Eine erste arbeitsfähige Version ist im März 2024 veröffentlicht worden (IDSA 2024b). Das Protokoll soll dann wie das Referenzarchitekturmodell Teil des IDS-Standards sein, als frei verfügbare Eclipse Specification der Eclipse Foundation publiziert und in die internationale Normung eingebracht werden (siehe unten: Normungsaktivitäten).

IDSA Rulebook

Mit dem IDSA Rulebook werden für Datenräume verpflichtende und optionale funktionale Anforderungen sowie zu erfüllende technische und organisatorische Vorgaben erläutert. Daneben werden die Aufgaben eines regulatorischen Rahmens für einen IDS-Datenraum grob skizziert, ohne aber tatsächlich Vorgaben zu machen. Stattdessen wird auf das „Rulebook for a Fair Data Economy“ der finnischen Innovationsagentur Sitra verwiesen (IDSA 2023a, Pitkänen und Luoma-Kyyny 2022).

Normungsaktivitäten

Der IDS-Ansatz wird mittlerweile auch in der internationalen Normung aufgegriffen, konkret in den Normungsarbeiten von ISO und IEC sowie von CEN und CENELEC für die Informationstechnik. Das schon länger bestehende gemeinsame Technische Subkomitee ISO/IEC JTC 1/SC 38 (Cloud computing and distributed platforms) setzt gerade die Arbeiten an der Norm ISO/IEC AWI 20151 (Dataspace concepts and characteristics) auf (ISO 2023).

Die europäischen Normungsorganisationen CEN und CENELEC haben einen Workshop angekündigt, bei dem in einem CEN Workshop Agreement (CWA) Terminologien, Konzepte und Mechanismen für den sicheren Datenaustausch zwischen verschiedenen Organisationen erarbeitet werden sollen, um weitere Normungsarbeiten vorzubereiten (CEN; CENELEC 16.01.2024).

Zudem soll auch das Dataspace Protocol in die internationale Normung eingebracht werden, sei es bei ISO/IEC oder bei CEN/CENELEC (IDSA 2024a, 30.01.2024).

3.1.2 Gaia-X

Die Initiative Gaia-X zielt darauf ab, einen standardisierten Rahmen (Framework) für den Aufbau europäischer cloudbasierter IT-Systeme zu schaffen, um so die heute bestehenden technischen Abhängigkeiten von den großen Cloud-Anbietern aus den USA – Amazon, Google, Microsoft und IBM – zu verringern. Gaia-X wurde 2018 von den Wirtschaftsministerien in Deutschland und Frankreich ins Leben gerufen, wird seit 2021 aber von dem in Brüssel angesiedelten Verein Gaia-X European Association for Data and Cloud getragen, der sich in mehrere Fachkomitees und Arbeitsgruppen aufgliedert. Zu den 327 Vereinsmitgliedern gehören Unternehmen, Wirtschaftsverbände und Wissenschaftseinrichtungen, überwiegend aus der EU, aber auch aus den USA und Asien. Zur Initiative zählen ebenfalls zahlreiche nationale Gaia-X-Hubs, davon 16 in Europa und jeweils einer in Südkorea, Japan, Texas, Kalifornien und Washington DC. Diese Hubs sind verantwortlich für die Koordination der nationalen Aktivitäten und bringen über Branchen-Fachgruppen („Domänen“) Use-Cases in die Arbeiten ein. Der Gaia-X-Hub Germany wird von der Deutschen Akademie der Technikwissenschaften (Acatech) betrieben und vom BMWK finanziert. Zu den Domänen im deutschen Hub gehört auch die Energiewirtschaft (Person und Schürumpf 2023).

Bei der Modellierung geht Gaia-X über OPEN DEI und IDS hinaus. Definiert werden Rollen, Software und Daten, aber auch physikalische und virtualisierte Rechen- und Speichereinheiten (Knoten [Nodes]), und Netzwerkverbindungen (Interconnections). Das Gaia-X-Framework umfasst vier wesentliche Bestandteile:

- normative Regeln (Policy-Rules) für den Betrieb von cloudbasierten Daten-Ökosystemen (Gaia-X-Federations),
- eine konzeptionelle, servicebasierte Architektur für solche Föderationen,
- das Trust-Framework: eine technische Spezifikation zur Verifikation der Selbstbeschreibungen der angebotenen Services in einer Föderation und

⁸ Das World Wide Web Consortium (W3C) ist das Standardisierungskonsortium für die Definition von Internet-Standards auf Anwendungsebene.

- Anforderungsspezifikationen für zentrale Dienste einer Föderation.

Die Dokumente zu den Standards von Gaia-X sind frei zugänglich und dürfen für private und Unternehmenszwecke verwendet werden.

Eng verbunden mit Gaia-X, aber nicht Teil davon, sind die Cross Federation Service Components (XFSC), eine vom BMWK finanzierte Open-Source-Implementierung von Gaia-X-konformen Diensten, mit denen sich eine Föderation technisch umsetzen lässt. Die XFSC-Software unterliegt wie EDC der liberalen Open-Source-Lizenz Apache 2, die Dokumentation dazu einer Common-Criteria-Lizenz.

Ähnlich wie IDS deckt auch Gaia-X alle technischen Bausteine des Modells von OPEN DEI ab, macht aber mit den Policy-Rules deutlich mehr inhaltliche Vorgaben bei der Governance als IDS.

Da sich sowohl das Gaia-X-Framework als auch die XFSC noch in der Entwicklung befinden, kann auch hier nur ein vorläufiger Stand dargestellt werden. Sitra bewertet den Reifegrad und die Adoption von XFSC schlechter als diejenigen bei EDC. Der Reifegrad wird mit 1 bewertet, die Verbreitung mit 2.⁹ (Poikola et al. 2023)

Die Policy-Rules

Die Policy-Rules von Gaia-X definieren normative Regeln für die Anbieter von Cloud-Diensten in einer sogenannten Gaia-X-Föderation, d.h. in einer Cloud-Infrastruktur für eine bestimmte Anwendung wie etwa einen Datenraum für die Energiewirtschaft. Die Regeln definieren Anforderungen zur Transparenz der Datenverarbeitung, zum Datenschutz, zur Informationssicherheit, zur Portabilität (insbesondere zur Datenportabilität) und zur Datenverarbeitung und -speicherung in der EU bzw. der European Economic Area (EEA).¹⁰ Für die Regeln ist ein vierstufiges Label definiert, das von der Einhaltung von Basisvorgaben im Level BC (Basic Conformity) über das Label L1 (Gaia-X-Label Level 1) bis hin zum Label L3 reicht. L3 beinhaltet die Erfüllung der „höchsten Standards“ in allen Bereichen und die ausschließliche Erbringung des jeweiligen Dienstes in Europa. Es ist auch definiert, wie die Einhaltung der Policy-Rules geprüft wird. Je nach Kriterium erfolgt die Prüfung über durch Gaia-X, durch eine föderationsspezifische Prüfstelle (Conformance Assessment Body) oder über eine Selbsteinschätzung (Gaia-X 2023).

Die Gaia-X-Architektur

Ähnlich wie die Building-Blocks von OPEN DEI und das IDS-Referenzarchitekturmodell beschreibt die Gaia-X-Architektur eine abstrakte konzeptionelle Referenzarchitektur. Sie beschreibt dabei aber auch, wie bereits erwähnt, Hardware-Ressourcen und fokussiert zudem stark auf die Definition von Diensten und Datenprodukten. Das Architekturmodell umfasst:

- Rollen,
- Ressourcen, d. h. Hardware-Knoten und Dienste,
- miteinander kombinierbare Services,
- Richtlinien (Policies) für das Verhalten der Akteure,
- zertifizierte und geprüfte Selbstbeschreibungen der Elemente in einer Föderation (Gaia-X Credentials),
- ein Identitäts- und Zugriffsmanagement,
- Datenprodukte – inklusive der Modellierung von weiteren Rollen wie Data-Producer und Data-Consumer sowie von Nutzungsverträgen – und
- Spezifikationen für Anforderungen an einzelne Dienste für das Identitäts- und Zugangsmanagement, für den Austausch von Daten und für einen föderierten Katalog von Selbsteinträgen.

Die Rollen in Gaia-X

Gaia-X sieht vier grundsätzliche Rollen vor:

- *Trust Anchor*: Gemeint ist damit die vertrauenswürdige Einrichtung, die die kryptografischen Zertifikate für eine Gaia-X-Föderation ausstellt.

Daneben gibt es die Teilnehmer (Participants), die in verschiedenen Rollen in der jeweiligen Föderation aktiv sind:

- *Provider*: Diese Akteure betreiben Hardware- oder Software-Ressourcen und bieten dafür entsprechende Dienste an.
- *Operator*: Diese Akteure betreiben die internen Dienste einer Föderation.
- *Consumer*: Diese Akteure nutzen die Dienste der anderen Akteure und stellen sie den eigentlichen Nutzern zur Verfügung.

Das Gaia-X Trust Framework

Mit dem Gaia-X Trust Framework gibt es eine technische Spezifikation auf Basis eines Standards des Standardisierungskonsortiums W3C dafür, wie die Selbstbeschreibungen der Elemente einer Föderation maschinenlesbar erstellt, geprüft und digital als

⁹ Beim Reifegrad entspricht 1 "emerging or beta-phase technology"; bei der Verbreitung entspricht 2 "used by multiple actors and has an active open-source community".

¹⁰ Zur EEA zählen neben den EU-Mitgliedstaaten noch Island, Norwegen und Liechtenstein.

Gaia-X Credentials verifiziert werden können (Gaia-X 2022). Diese Credentials werden unter Aufsicht des Trägervereins Gaia-X von Gaia-X-Digital-Clearing-Houses (GXDCH) herausgegeben. Die Clearing-Houses übernehmen mindestens die Validierung und Registrierung der Selbstbeschreibungen, können aber auch weitergehende Katalogfunktionen anbieten (Gaia-X o. J.). T-Systems und der italienische Webhoster Aruba bieten derzeit GXDCH-Dienste an (Gaia-X 20.03.2023).

Die Cross Federation Service Components XFSC

Um die Umsetzung von Gaia-X zu unterstützen, hatte das BMWK im Jahr 2021 ein Förderprojekt aufgesetzt, in dem Open-Source-Software entwickelt werden sollte, mit der Gaia-X-konforme Föderationen umgesetzt werden können: die Gaia-X Federation Services (GXFS). Koordinator des Projekts ist der eco – Verband der Internetwirtschaft. Nachdem in mehreren Arbeitsgruppen die technischen Spezifikationen abgeschlossen worden waren, wurde die Software-Entwicklung an mehrere Unternehmen und das Fraunhofer-Institut für Angewandte und Integrierte Sicherheit (AISEC) vergeben (eco 18.02.2022). Die Ergebnisse wurden im Sommer 2023 auf der Eclipse-Plattform als Cross Federation Service Components (XFSC)¹¹ bereitgestellt (eco 15.08.2023).

Die XFSC enthalten

- Dienste für das Identitäts-, Zugangs- und Vertrauensmanagement,
- Dienste für den Datenaustausch mit einem föderierten Katalog für Dienstbeschreibungen, einem Werkzeug für die Erstellung von Selbstbeschreibungen, Diensten für den Abschluss von Datenaustauschverträgen und Protokollierungsdiensten,
- Dienste für die Orchestrierung und Überwachung einer Föderation sowie
- ein Integrationsportal.

In einer zweiten Spezifikationsphase wurden vor allem die technischen Spezifikationen zum Vertrauens- und Identitätsmanagement erweitert und angepasst. Mit der Umsetzung innerhalb der XFSC wurden T-Systems und zwei weitere Unternehmen beauftragt. Die Ergebnisse wurden im Frühjahr 2024 erwartet (eco 02.11.2023).

3.1.3 Andere Ansätze

Neben IDS und Gaia-X/XFSC gibt es auch andere technische Ansätze für die Umsetzung von Datenräumen. Von Bedeutung sind dabei FIWARE, Pontus-X und SIMPL. Während FIWARE und SIMPL eigenständige technische Ansätze darstellen, ist Pontus-X

wie XFSC eine von der Gaia-X-Architektur abgeleitete Open-Source-Software. Pontus-X und SIMPL spielen in der aktuellen Diskussion zu Datenräumen in der Energiewirtschaft keine größere Rolle, auch wenn es zumindest ein Pontus-X-Projekt in diesem Anwendungsfeld gibt. Mit seinem Fokus auf Smart Cities kommt FIWARE dagegen eine gewisse Bedeutung für das Data-Sharing in der Energiewirtschaft zu.

FIWARE

Die aus einer europäischen Public-Private-Partnership heraus entstandene FIWARE Foundation bietet mit ihrer gleichnamigen Open-Source-Software verschiedene Software-Komponenten und Standard-Schnittstellen für die Umsetzung von verteilten, dienstbasierten Informationssystemen an, die auf einem graphenbasierten Informationsmodell beruhen.

Mit FIWARE lassen sich auch Datenräume implementieren (FIWARE et al. 2023, Hierro 2021b, SmartCityWorlds und FIWARE 2023). Die FIWARE Foundation kooperiert entsprechend eng mit Gaia-X und IDS und hat, wie erläutert, im EU-Projekt OPEN DEI gemeinsam mit Vertretern von IDS und Gaia-X-Projekten mit den Building-Blocks ein übergreifendes Modell für die Realisierung von Datenräumen erstellt (Ahle et al. 2021).

Auch wenn grundsätzlich zahlreiche Anwendungsfelder, darunter auch Energie- und Industriesysteme, adressiert werden, hat FIWARE seine größte Bedeutung bei der Umsetzung von Smart-City-Systemen. In dieser Rolle ist FIWARE auch in mehrere Projekte zu Energiedatenräumen auf europäischer Ebene eingebunden, u. a. als Projektpartner bei Enershare und als integrierender Standard bei ODEON (siehe Tabelle 5).

Reifegrad und Verbreitung werden von Sitra jeweils mit der mittleren Stufe 3 bewertet (Poikola et al. 2023).

Pontus-X

Das System Pontus-X des Hamburger Start-ups deltaDAO ist eine eigenständige, blockchainbasierte Infrastruktur für den Austausch von Daten. Dafür setzt deltaDAO auf Software des Open-Source-Projekts Ocean Protocol und auf der Blockchain-Plattform Polygon auf. Mit dem Ocean-Protocol-Ansatz lassen sich insbesondere Compute-to-Data-Verfahren umsetzen, bei denen Dritte bestimmte Berechnungen auf Daten durchführen können, ohne dass diese die Server des Datenanbieters verlassen. Mit Pontus-X können Gaia-X-konforme Föderationen, inklusive Authentifizierung, Selbstbeschreibungen, Katalogen und Nutzungsvereinbarungen, umgesetzt werden (Siska et al. 2023).

¹¹ Der Namenswechsel war notwendig, um Konflikte hinsichtlich der Markenrechte zu vermeiden.

Das System wird bereits in mehreren Pilotprojekten eingesetzt, darunter in mehreren Industrieprojekten und im niederländischen Projekt EnergySHR, in dem ein Marktplatz für das Teilen von Daten und KI-Algorithmen in der Energiewirtschaft aufgebaut wird (TU Delft und Univ. Rotterdam 2024, deltaDAO 2024).

Sitra bewertet den Reifegrad und die Verbreitung in ihrer aufsteigenden fünfwertigen Skala jeweils mit 2 (Poikola et al. 2023).

SIMPL

Die Europäische Kommission hat im Oktober 2023 im Rahmen ihres DIGITAL Europe Work Programme nach einer Vorstudie die Entwicklung einer Open-Source-Middleware für Datenräume ausgeschrieben und den dreijährigen Entwicklungsauftrag an ein breites europäisches Konsortium unter der Führung der belgischen Tochtergesellschaft Eviden des französischen IT-Dienstleisters Atos vergeben. Eine erste funktionsfähige Version (Minimal Viable Product) ist für Ende 2024 angekündigt. Im Projekt sollen auch Prototypen für mehrere Datenräume entstehen: für öffentliche Ausschreibungen, für Gesundheit (European Health Data Space, EHDS), für Sprachressourcen, für wissenschaftliche Daten, für ein digitales Weltmodell und für Smart Cities (Europ. Kommission 2023).

Die vorliegende, schon etwas ältere Architekturkonzeption zeigt, dass SIMPL sehr große technische Ähnlichkeiten mit IDS und Gaia-X aufweist (Europ. Kommission 2022). Inwieweit es hier zu einer Kooperation oder zu parallelen Entwicklungen kommt, bleibt abzuwarten. Verbindliche Publikationen in die eine oder andere Richtung gibt es derzeit nicht.

3.2 Pilotprojekte für Datenräume in der Energiewirtschaft

Obwohl sich die Konzepte für Datenräume noch in Entwicklung befinden, gibt es bereits mehrere laufende Pilotprojekte für Datenräume in der Energiewirtschaft. Während das in Deutschland vor allem energy dataX ist, gibt es bei der Europäischen Kommission eine ganze Reihe von Vorhaben. Für die Diskussion in Deutschland sind außerdem die zwei großen Projekte für Datenräume im produzierenden Gewerbe, Catena-X und Manufacturing-X, von Bedeutung, weil sie als Vorbilder für ähnliche Systeme in der Energiewirtschaft gelten.

Daneben existieren in verschiedenen Mitgliedstaaten der EU – Österreich, Niederlande, Dänemark und Estland – schon Plattformen bzw. Pilotprojekte für den Datenaustausch in der Energiewirtschaft, mit denen etwa Kundendaten für den An-

bieterwechsel oder Verbrauchsdaten in 15-Minuten-Intervallen für das Flexibilitätsmanagement bereitgestellt werden. Während die älteren Plattformen noch auf landesspezifischen Architekturen aufsetzen, gehen die Überlegungen für neue Systeme in Richtung Gaia-X, IDS und FIWARE (Digital4Grids 2023). In Belgien und Frankreich gibt es ähnliche Ansätze des Data-Sharing im Energienetz mit der Open-Data-Plattform des belgischen Netzbetreibers Elia bzw. der App EcoWatt des französischen Netzbetreibers RTE.

3.2.1 Deutschland

Vorbildprojekte aus dem produzierenden Gewerbe

Für das produzierende Gewerbe sind derzeit zwei große, öffentlich geförderte Pilotprojekte von Interesse. Insbesondere Catena-X gilt dabei als Blaupause für weitere Projekte, auch aus der Energiewirtschaft (siehe Tabelle 4):

Catena-X: Das Projekt Catena-X wird vom BMWK mit 109 Mio. EUR gefördert und hat unter der Konsortialführung von BMW zum Ziel, Datenräume für das Data-Sharing im Automobilbau aufzubauen (<https://Catena-X.net>). Das Projekt steht mit seiner Laufzeit vom 01.08.2021 bis 31.07.2024 kurz vor dem Abschluss.¹²

Im Projekt wurde mit dem Catena-X Automotive Network ein Verein gegründet, der die Arbeiten nach Projektende weiterführen wird. Der Verein hat derzeit 172 Mitglieder, darunter Automobilhersteller wie BMW, Mercedes-Benz und VW, Zulieferer wie Bosch und Schaeffler sowie Beratungs- und Software-Unternehmen, Verbände und Forschungseinrichtungen (Catena-X Automotive Network 2024).

Catena-X bietet einen technischen und organisatorischen Rahmen für den Datenaustausch in der Automobilindustrie über einen dezentralen Datenraum. Ähnlich wie IDS und Gaia-X ist dafür ein Satz von Rollen definiert. Das umfasst Anbieter und Nutzer von Daten, Anbieter von verschiedenen Services im Datenraum, Anbieter für die Zertifizierung von Teilnehmern und ihren Diensten sowie den Catena-X-Verein als zuständige Instanz für die Governance des Ökosystems.

Die technische Architektur für Catena-X (Catena-X Operating System, cxOS) ist aus den Ansätzen in EDC und Gaia-X abgeleitet und definiert verschiedene Klassen von Diensten. Das sind zunächst Basisdienste für den Betrieb des Datenraums und Onboarding-Services für die Registrierung sowohl neuer Teilnehmer als auch der angebotenen Dienste in einem externen Gaia-X-Digital-Clearing-House (GXDCH). Dazu kommen die Enablement-Services, die sowohl das Dataspace Protocol von IDS als auch

¹² Alle Angaben zu Laufzeiten, Projektpartnern und Fördersummen von deutschen und EU-Projekten stammen aus dem deutschen Förderkatalog (<https://foerderportal.bund.de/foekat/>) bzw. dem europäischen CORDIS-System.

Große laufende Datenraum-Projekte in Deutschland für die Bereiche Industrie und Energie

Projekt	Projektpartner	Förderer	Förderung	Laufzeit	Branche	Status
Catena-X Catena-X.net	BMW (Konsortialleitung) und 26 weitere Projektpartner, u. a.: Bosch, BASF, FhG ISST, German Edge Cloud, Henkel, Mercedes-Benz, SAP, Schaeffler, Siemens, Trumpf, T-Systems, VW, ZF	BMWK	109 Mio. EUR	01/2022– 07/2024	Automobilbau	Aufbau eines operativ nutzbaren Datenraums Betaphase abgeschlossen, operativer Betrieb begonnen
Manufacturing-X	Mehrere Verbundprojekte, darunter Factory-X	BMWK	152 Mio. EUR		Produzier. Gewerbe	Erste Projekte haben begonnen, u. a. Factory-X und Aerospace-X
Factory-X www.factory-x.org	SAP, Siemens , Catena-X, DMG MORI, Fraunhofer IOSB, Schunk, Trumpf	BMWK	46 Mio. EUR	01/2024– 06/2026	Produzier. Gewerbe	Aufbau eines operativ nutzbaren Datenraums Kick-off im Februar 2024
energy data-X www. energydata-x.eu	Tennet , Amprion Fraunhofer IEE, Spherity, PPC, VDE/DKE	BMWK	5,2 Mio. EUR	10/2023– 09.2026	Energie- wirtschaft	Aufbau eines operativ nutzbaren Datenraums Kick-off im Oktober 2023

Tabelle 4: Große laufende Datenraum-Projekte in Deutschland für die Bereiche Industrie und Energie

Konzepte zum digitalen Zwilling wie die Asset Administration Shell oder die Digital Twin Registry (siehe Abschnitt 4.1) umsetzen. Für derzeit 18 Anwendungsfälle wie Rückverfolgbarkeit oder Qualitätsmanagement werden außerdem spezialisierte Datenmodelle, Tutorials, Software-Komponenten und Dienste bereitgestellt.

Ähnlich wie bei Gaia-X und IDS gibt es Open-Source-Referenzimplementierungen für einzelne Komponenten des cxOS. Sie setzen auf EDC auf, sind aber in dem eigenen Eclipse-Projekt Tractus-X gebündelt (Eclipse Foundation 2023).

Der Catena-X-Verein ist für die Governance des Catena-X-Ökosystems zuständig. Er definiert in seinen Arbeitsgremien die Standards, gibt einen Prozess für die Zertifizierung von Teilnehmern und ihren Diensten, benennt die Betreiber zentraler Systemdienste in den Datenräumen und plant, ein Qualifikationssystem für neue Teilnehmer inklusive einer Prüfung aufzusetzen (Catena-X Automotive Network 2023).

Catena-X deckt damit insgesamt sowohl die technischen als auch die organisatorischen Building-Blocks des Datenraum-Modells von OPEN DEI ab.

Mit der Confinity-X GmbH, einem Joint-Venture verschiedener Mitglieder von Catena-X, gibt es seit Anfang 2023 einen Betreiber von zentralen Catena-X-Diensten (Catena-X Automotive Network 22.02.2023). Im Oktober 2023 wurde die Betaphase des Catena-X-Datenraums beendet und das System für die operative Nutzung freigegeben (Catena-X Automotive Network 16.10.2023).

Manufacturing-X: Im Rahmen der Plattform Industrie 4.0 haben sich mehrere Verbände und Unternehmen, darunter VDMA und ZVEI, zur Initiative Manufacturing-X zusammengeschlossen, um einen Datenraum für das produzierende Gewerbe aufzubauen. 2023 hat das BMWK eine Förderrichtlinie veröffentlicht, um entsprechende Projekte zu unterstützen. Die Projekte sollen von 2024 bis 2026 laufen und mit ca. 150 Mio. EUR gefördert werden.

In den Projekten soll eine gemeinsame technische Architektur für den geplanten Datenraum entwickelt werden, die auf Gaia-X, EDC und insbesondere den Ergebnissen von Catena-X aufsetzt (BMWK 2023). In einer Vorstudie wurde bereits die Einbettung dieser Architektur in ein technisches und organisatorisches Gesamtsystem skizziert, das sich sehr eng an Catena-X orientiert.

Danach soll es auch für Manufacturing-X eine neutrale Governance-Organisation, eine standardisierte technische Architektur, ein Zertifizierungssystem und Open-Source-Implementierungen von Basisdiensten geben (Otto et al. 2023). Auch Manufacturing-X wird damit aller Voraussicht nach sowohl die technischen als auch die organisatorischen Building-Blocks des Datenraum-Modells von OPEN DEI bedienen.

Von den beantragten Projekten hat das Leuchtturmprojekt Factory-X, das sich auf das produzierende Gewerbe fokussiert, Anfang 2024 seine Arbeit aufgenommen (www.factory-x.org). Das Fördervolumen liegt bei 46 Mio. EUR. Unter der Konsortialführung von Siemens und SAP sind bis Mitte 2026 sieben Partner am Projekt beteiligt, darunter auch das Catena-X Automotive Network. Weitere Projekte aus Manufacturing-X sind im April bzw. Mai 2024 gestartet worden, u. a. Aerospace-X für die Luft- und Raumfahrtindustrie (BMW 2024a).

Energie

energy data-X: Das Projekt *energy data-X* ist bereits im Oktober 2023 gestartet worden und läuft bis September 2026 (www.energydata-x.eu). Ziel ist die Einrichtung eines verteilten Datenraums für das Data-Sharing in der Energiewirtschaft. Gefördert werden sechs Partner und acht assoziierte Partner unter der Konsortialführung des Übertragungsnetzbetreibers Tennet mit insgesamt 5,2 Mio. EUR.

In den beiden Anwendungsfällen

- Einbindung von Smart-Meter-Gateways über IDS-Datenkonnektoren für eine Bilanzkreisbewirtschaftung und
- Bereitstellung von Flexibilitäten im Energiesystem mit automatisierten Prozessen (Wärmepumpen, Heimspeicher)

wird ausdrücklich auch die Sektorenkopplung adressiert. Ähnlich wie bei Manufacturing-X streben die Projektpartner eine Anlehnung an die technisch-organisatorischen Strukturen von Catena-X und die Interoperabilität mit Catena-X an (Hofer 2023).

3.2.2 Europäische Union

Die Europäische Kommission hat in ihrer Generaldirektion Energie während der letzten Jahre fünf Projekte zu Datenräumen für die Energiewirtschaft aufgesetzt: Data Cellar, Eddie, Enershare, Omega-X und Synergies. Alle Projekte setzen in Use-Cases prototypisch Datenräume auf. Enershare und Omega-X entwickeln dabei auch ausdrücklich allgemeingültige Referenzarchitekturen, die sich jeweils an Gaia-X und IDS anlehnen. Dazu kommt als weiteres Projekt *int:net*, das zwischen den genannten fünf Projekten Synergieeffekte herstellen soll.

Im Jahr 2024 wurden die neuen, deutlich größeren Projekte HEDGE-IoT, ODEON und TwinEU gestartet, die ebenfalls die Digitalisierung des europäischen Energienetzes in einem gemeinsamen Datenraum zum Ziel haben. Ihre Schwerpunkte liegen auf erweiterten technologischen Ansätzen. Während das bei ODEON KI-basierte Dienste sind, fokussiert sich TwinEU auf das Konzept der digitalen Zwillinge und HEDGE-IoT auf das Paradigma des Edge-Computing (siehe Tabelle 5).

3.3 Zwischenfazit

Trotz der dynamischen Entwicklungen bei den Datenraum-Konzepten lassen sich bereits jetzt erste Schlussfolgerungen ziehen:

Datenräume werden schrittweise über Konsortialstandards und Pilotprojekte standardisiert

Die heute wichtigen Standards für Datenräume Gaia-X, IDS und FIWARE werden in Standardisierungskonsortien bearbeitet, die ihre Ergebnisse frei zur Verfügung stellen. Die Standards werden dabei als Living Documents verstanden: Es werden auch noch unvollständige Vorversionen veröffentlicht, Ergänzungen und Anpassungen werden bewusst in Kauf genommen (siehe Tabelle 6). Damit repräsentieren die Standards nicht den Stand der Technik; vielmehr tragen die Standardisierungsarbeiten dazu bei, einen zuverlässigen Stand der Technik zu definieren.

Die öffentliche Hand leistet dabei in hohem Umfang Unterstützung durch die Förderung von Pilotprojekten, in denen die inhaltlichen Arbeiten an den Standards vorangetrieben werden.

Eine Voraussetzung für den Erfolg der Initiativen ist die weite Verbreitung und Akzeptanz ihrer Arbeiten. Der Fokus auf Konsortialstandards und öffentlich geförderte Pilotprojekte kann von Nachteil sein, wenn nationale, europäische und internationale Normungsorganisationen nicht frühzeitig einbezogen werden und aktiv mitarbeiten: Normungsorganisationen sind im Gegensatz zu den Standardisierungskonsortien grundsätzlich offener für die Beteiligung aller Akteursgruppen und Fachverbände. Die Mitarbeit in Pilotprojekten ist nur für eine begrenzte Anzahl von Akteuren möglich, beispielsweise, weil die Zahl der Partner in den Projekten naturgemäß beschränkt ist oder weil Unternehmen sich gar nicht oder nur bedingt an öffentlich geförderten FuE-Projekten beteiligen.

Die aktive Mitarbeit von Fachleuten aus der Normung in den Standardisierungskonsortien und FuE-Projekten gelingt bisher aber nur bedingt. Normungsnahen Fachverbände wie der VDE sollten sich stärker inhaltlich in die Standardisierungskonsortien und Pilotprojekte einbringen, um so Standardisierung und Normung von Anfang an zu verzahnen und um eine Transmissionsrolle in die Wirtschaft – über den Kreis der Partner in den Konsortien und Projekten hinaus – zu übernehmen.

Große laufende Datenraum-Projekte der EU für den Bereich Energie

Projekt	Projektpartner	Förderer	Förderung	Laufzeit	Branche	Status
int:net – Interoperability Network for the Energy Transition intnet.eu	FhG FIT , AIT, B.A.U.M. Consult, DKE, EDSO, ENTSO-E, EPRI EUI, OFFIS, RWTH Aachen, Tecnalia, Trialog	EU	4,9 Mio. EUR	04/2022–04/2025	Energiewirtschaft	Herstellen von Synergien zwischen den Projekten Data Cellar, Eddie, Enershare, Omega-X, und Synergies Veröffentlichung eines Referenzmodells (Blue Print) laufend
Data Cellar datacellarproject.eu	RINA und 30 weitere Partner aus 15 Ländern, u. a. EDF, EDP West, EUNICE, IREN, UBITECH, Univ. Groningen, Univ. Zypern	EU	8,5 Mio. EUR	06/2022–11/2025	Energiewirtschaft	Aufbau eines prototypischen Datenraums laufend
EDDIE – European Distributed Data Infrastructure for Energy www.eddie.energy	AIT , Aelec, Copenhagen Business School, Datadis, Digital Grids, EASEE-gas, EDA, Enanon, Entarc, ETA+, Lisbon Council, Ötzi, Ponton, SEV, Univ. Wien	EU	8,8 Mio. EUR	01/2023–31.12.2025	Energiewirtschaft	Aufbau eines prototypischen Datenraums laufend
Enershare –European common Energy dataspace framework https://enershare.eu	Engineering und 29 weitere Partner aus 15 Ländern, u. a.: EDF, Elektro Celje, Elektro Ljubljana, FIWARE, FhG-Zentrum Digitale Energie, IDSA, Nokia, RWTH Aachen, TNO, Trialog	EU	9,5 Mio. EUR	05/2022–06/2025	Energiewirtschaft	Aufbau eines prototypischen Datenraums Definition einer mit SGAM, ¹³ Gaia-X und IDS kompatiblen Referenzarchitektur, inklusive eines blockchainbasierten Marktplatzes laufend
Omega-X – Orchestrating an interoperable sovereign federated multi-vector energy data space built on open standards and ready for Gaia-X www.omega-x.eu	Atos und 28 weitere Partner aus 11 Ländern, u. a.: CITCEA, EDF, EDP, Estabanell, EVIDEN, Gireve, IDSA, Lichtblick, Magtel, Meteo, Norce, Stadtverwaltung Maia, Univ. Aarhus	EU	10,2 Mio. EUR	04/2022–04/2025	Energiewirtschaft	Aufbau eines prototypischen Datenraums Definition einer mit Gaia-X und IDS kompatiblen Referenzarchitektur unter Berücksichtigung von FIWARE laufend

13 SGAM: Smart Grid Architecture Model, ein genormtes Referenzmodell für den Energiesektor. SGAM wird im Abschnitt 5.1.1 zu den Referenzmodellen in der Energiewirtschaft näher erläutert.

Projekt	Projektpartner	Förderer	Förderung	Laufzeit	Branche	Status
Synergies – shaping consumer-inclusive data pathways towards the energy transition, through a reference energy data space implementation www.synergies-project.eu	TXT , Arthur Legal, CIRCE, Collective Energy, Cuervar, Entersoft, ETRA, HEDNO, ICCS, IES, IPTO, Maggioli, Prospex, Suite5, Trefor, TU Denmark, Turning Tables, UBITECH, Univ. of Peloponnese, VTT	EU	10,8 Mio. EUR	09/2022–02/2026	Energiewirtschaft	Aufbau eines prototypischen Datenraums Verbreitung als Referenzimplementierung laufend
HEDGE-IoT – Holistic approach towards empowerment of the digitalization of the energy ecosystem through adoption of IoT solutions https://hedgeiot.eu	EDL und 43 weitere Partner aus 11 Ländern, u. a. ABB, ACEA, ELIA, IDSA, Järvi-Suomen Energia, RWTH Aachen, Trialog, VolkerWessels iCity	EU	17,9 Mio. EUR	01/2024–06/2027	Energiewirtschaft	Framework für die Digitalisierung des europäischen Energienetzes über IoT-Ansätze gerade gestartet
ODEON – Federated data and intelligence orchestration & sharing for the digital energy transition https://odeonproject.eu/	ETRA und 32 weitere Partner aus 15 Ländern, u. a.: Atos, Cuerva, FhG FOKUS, IDSA, Intracom, Odit-e, UBITECH	EU	22,5 Mio. EUR	01/2024–12/2027	Energiewirtschaft	Aufbau eines europäischen, sektorenübergreifenden Energienetzes mit KI-basierten Diensten und Datenräumen gerade gestartet
TwinEU – Digital Twin for Europe https://twineu.net	FhG FIT und 71 weitere Partner aus 15 Ländern, u. a. 50 Hertz, Amprion, E.ON, ELES, Enel, ENTSO-E, Envelio, RWTH Aachen, TU Dortmund, TenneT, Westnetz	EU	19,9 Mio. EUR	1/2024–12/2026	Energiewirtschaft	Konzeption eines digitalen Zwillings für das europäische Energiesystem gerade gestartet

Tabelle 5: Große laufende Datenraum-Projekte der EU für den Bereich Energie

Absehbare Konvergenz der Datenraum-Konzepte

Gaia-X und IDS, aber auch FIWARE, unterscheiden sich in ihren Begrifflichkeiten und ihren Systemmodellierungen zum Teil erheblich. Beispielsweise steht das zentrale Identitätsmanagement in IDS dem dezentralen Ansatz in Gaia-X entgegen. Gleiches gilt für den Fokus auf die Konnektoren in IDS, während Gaia-X die Federation Services in den Mittelpunkt stellt (Otto et al. 2021).

Trotzdem sind die inhaltlichen Ähnlichkeiten und Überschneidungen offensichtlich. Gaia-X, IDSA, FIWARE und die Big Data Value Association (BDVA) – eine Industrieplattform, die für und mit der Europäischen Kommission FuE-Roadmaps für die Entwicklung von Big-Data-Technologien erarbeitet – haben sich daher in der Data Spaces Business Alliance (DSBA) zusammengeschlossen, um top-down einen gemeinsamen technischen Referenzrahmen (Common Reference Technology Framework) zu erarbeiten und so verschiedene Elemente der jeweiligen Ansätze miteinander zu kombinieren (Gronlier et al. 2023). Auf der anderen Seite gibt es auch das Vorgehen, die Architekturen bzw. Implementierungen passend zu ergänzen. Beispiele sind etwa die EDC-Adaption an das Trust-Framework von Gaia-X oder der TRUE Connector, der einen IDS-konformen Datenkonnektor für FIWARE umsetzt (Giussani und Steinbuss 2023). Beide Entwicklungen lassen erwarten, dass sich die Datenraum-Konzepte Gaia-X, IDS und FIWARE noch mehr aufeinander zu entwickeln werden. Insbesondere bei Gaia-X und IDS kann dies jedoch dazu führen, dass die Standards mittelfristig Living Documents bleiben.

Notwendige Konvergenz mit den Normen der Energiewirtschaft

Mit dem Zusammenwachsen der Datenraum-Konzepte wird immer deutlicher, dass nun die Konvergenz mit den etablierten Standards und Normen der Energiewirtschaft ansteht. Die Energy Interoperability Task Force – gebildet von den europäischen Projekten int:net, Data Cellar, Eddie, Enershare, Omega-X und Synergies – weist darauf hin, dass neben der technischen Interoperabilität als notwendiger Basis der semantischen Interoperabilität im Energienetz eine zentrale Rolle zukommt. Notwendig sei deshalb eine Harmonisierung von Datenformaten und Ontologien auf Basis von CIM¹⁴, SGAM und anderen Standards sowie branchenübergreifende Terminologien und Datenmodelle. Erst so könnten die Daten der unterschiedlichen Akteure tatsächlich zueinander in Bezug gesetzt und genutzt werden (Monti et al. 2023).

Auf der anderen Seite strebt die Data Management Working Group der BRIDGE Initiative – ein Zusammenschluss europäischer Projekte zur Digitalisierung der Energienetze – für ihre Referenzarchitektur für den Datenaustausch in der Energiewirtschaft (DERA, Data Exchange Reference Architecture) einen detaillierten Abgleich mit den Referenzarchitekturen von Gaia-X und IDS an (Couto et al. 2023b).¹⁵

Reifegrad und Verbreitung von Datenraum-Standards und -Technologien

Technologie	Reifegrad (Maturity)	Verbreitung (Adoption)
IDSA	3 (stable release, or releases)	3 (used by multiple actors and has continuous support from a commercial actor and an active community)
XFSC	1 (emerging or beta-phase technology)	2 (used by multiple actors and has an active open-source community)
EDC	2 (early release)	3
FIWARE	3	3
Pontus-X	2	2

Tabelle 6: Reifegrad und Verbreitung von Datenraum-Standards und -Technologien (nach Poikola et al. 2023, beide Skalen sind fünfstufig, mit 5 als höchstem Wert)

¹⁴ CIM: Common Information Model (IEC 61970, IEC 61968, IEC 62325), modelliert Objekte und Datenformate in der Elektrizitätswirtschaft.

¹⁵ Die DERA wird im Abschnitt 5.1.1 zu den Referenzmodellen in der Energiewirtschaft näher erläutert.

4 Konzepte für den digitalen Zwilling

Funktionierende Datenräume benötigen möglichst einen einheitlichen Datenzugang zu den Objekten, deren Informationen sie verwalten. Für Energie- und Industrieanwendungen sind solche Objekte z. B. Anlagen, Maschinen, Komponenten und Endgeräte. Mit dem Ansatz des digitalen Zwilling (Digital Twin) gibt es dafür schon seit Längerem auch ein technisches Konzept, bei dem ein physikalisches Objekt direkt mit seiner virtuellen Repräsentation verbunden ist (Zhang 2024).

In Deutschland wird für die Umsetzung des digitalen Zwillings oft der von VDMA und ZVEI im Rahmen von Industrie 4.0 vorangetriebene Konsortialstandard Asset Administration Shell (AAS, deutsch: Verwaltungsschale) präferiert, für den parallel Normungsarbeiten bei IEC stattfinden. Insbesondere in Catena-X und Manufacturing-X ist die Asset Administration Shell integraler Bestandteil der technischen Konzeption. Mit dem VDE und dem ZVEI setzen zudem auch Verbände, die der Energiewirtschaft nahestehen, auf die AAS.¹⁶ Abschnitt 4.1 führt in den Stand der Entwicklung der AAS ein. Es gibt aber auch eine Reihe anderer relevanter Ansätze zur Standardisierung des digitalen Zwillings, u. a. von FIWARE und Microsoft. Sie werden in Abschnitt 4.2 beschrieben.

4.1 Asset Administration Shell

Mit der Asset Administration Shell (AAS)¹⁷ soll für industrielle Assets – Anlagen, Maschinen, Maschinenkomponenten, Software oder Produkte¹⁸ – ein digitaler Zwilling realisiert werden. Der Ansatz geht auf Arbeiten in der Plattform Industrie 4.0 zurück und wird mittlerweile von der deutschen IDTA (Industrial Digital Twin Association e.V.) getragen. Die von ZVEI und VDMA ins Leben gerufene IDTA hat derzeit 108 Mitglieder aus Wirtschaft, Wissenschaft und Verbänden, die überwiegend – aber nicht nur – aus Deutschland stammen (IDTA 2024b). Die Dokumente des Konsortialstandards werden frei auf der Website der IDTA veröffentlicht, die dazugehörigen technischen Spezifikationen werden unter einer Creative-Commons-Lizenz veröffentlicht. Über das Standardisation Council Industrie 4.0 eingebracht, greift die IEC grundlegende Arbeiten zur AAS auch in ihrer Normung auf (IEC 63278). Bestehende normative Grundlagen, beispielsweise zur Identifikation (IEC 61406), Cybersecurity, Rollenkonzepte oder Semantik (IEC 61360-X, CDD, siehe auch ECLASS), werden von der AAS genutzt.

Grundzüge

Eine AAS ist ein standardisiertes, digitales Abbild eines Assets über den gesamten Lebenszyklus hinweg. Der Standard definiert, wie eine AAS aufgebaut ist und wie ihre Informationen abgerufen werden können. Es bleibt aber bewusst dem Anbieter einer AAS überlassen, wie das System mit den Inhalten zum Asset gefüllt wird. Grundansatz der Arbeiten ist es, dass mit einer AAS möglichst keine neuen Datenbestände aufgebaut werden. Stattdessen sollen vor allem bereits vorhandene digitale Informationen und Dokumente über das Internet verknüpft und über ein einheitliches Datenformat bereitgestellt werden.

Jedes Asset und jede AAS hat eine weltweit eindeutige Identität, die bevorzugt nach dem Internet-Standard URI (Unified Resource Identifier) des W3C vergeben wird.¹⁹ Eine AAS kann sowohl für einen Asset-Typen (z. B. einen Maschinentypen) als auch für Instanzen (d. h. die produzierten Maschinen) definiert werden. Die Eigenschaften einer konkreten AAS werden über eindeutig festgelegte Merkmale (Properties) definiert.²⁰ Merkmale können etwa Texte, Zahlen oder Dateien sein. Möglich sind aber auch Verweise auf externe Dateien oder auf die Schnittstellen von externen Drittsystemen (beides ebenfalls nach dem Internet-Standard URI). Für Merkmale können außerdem externe Klassifikationen oder Ontologien, denen sie genügen müssen, angegeben werden.

Eine AAS wird strukturiert, indem inhaltlich oder funktional zusammengehörende Merkmale in Teilmodellen (Submodels) zusammengefasst werden. Dabei ist es erklärtes Ziel der IDTA, Teilmodelle für bestimmte Assets und Anwendungszwecke zu standardisieren. Diese standardisierten Teilmodelle sind von zentraler Bedeutung für die Akzeptanz der AAS. Sie müssen die gängigen Standards, Normen, Klassifikationen und Ontologien referenzieren, um so nicht nur einen technisch einheitlichen, sondern auch semantisch homogenen digitalen Zwilling umzusetzen. Derzeit gibt es 85 Teilmodelle, die sich zum Teil noch in der Definitionsphase befinden. Die jetzigen Modelle decken inhaltlich ausschließlich das produzierende Gewerbe ab.

¹⁶ Da sich das Projekt energy data-X technisch an Catena-X und Manufacturing-X anlehnen möchte, ist zu vermuten, dass auch hier die AAS zum Einsatz kommt. Öffentliche Stellungnahmen oder Dokumente dazu gibt es derzeit aber nicht.

¹⁷ Deutsch: Verwaltungsschale (VWS).

¹⁸ Tatsächlich ist die Definition im Standard offener und lässt physikalische, digitale und immaterielle Gegenstände als Asset zu.

¹⁹ Erlaubt sind aber auch andere unternehmensinterne Identifikationssysteme.

²⁰ Im Grundsatz besteht ein Merkmal jeweils aus einem Datentypen und einem Datenwert.

Zugriff auf die AAS

Die Inhalte einer AAS können auf drei Arten bereitgestellt werden:

1. *passiv*: als Datei mit allen Merkmalen der AAS,
2. *reaktiv*: über eine Server-Schnittstelle, sodass gezielt auf einzelne Merkmale zugegriffen werden kann, oder
3. *proaktiv*: über eine Schnittstelle für die automatisierte Kommunikation zwischen mehreren AAS (IDTA 2023b).

Bei der Definition einer AAS bestehen damit theoretisch sehr große Freiheitsgrade: Neben der Abbildung statischer Informationen zum Asset (etwa den Abmaßen eines Maschinentyps) sind auch dynamische Informationen (wie etwa der tatsächliche Energieverbrauch einer konkreten Maschine) modellierbar. Es ist aber auch die direkte Datenkommunikation mit dem Asset (z. B. das Auslesen eines Sensorwerts), die Kommunikation einer AAS mit anderen AAS (die z. B. eine Teilkomponente des Haupt-Assets darstellt) und das Auslösen von Ereignissen in Drittsystemen (z. B. das Auslösen eines Wartungsauftrags) möglich (BMWK 2020).

Ob sich dieser weitgreifende Ansatz durchsetzen wird, ist aber fraglich: Tatsächlich ist die Kommunikation zwischen Assets über eine Industry-4.0-Language noch nicht spezifiziert. Zudem sieht ein aktuelles Diskussionspapier der IDTA mit der OPC Foundation und AutomationML eine klare Abgrenzung zwischen der AAS und OPC UA²¹ vor. Danach soll für den operativen Datenzugriff auf Maschinen inklusive der Datenmodellierung ausschließlich OPC UA verwendet werden. Eine AAS soll vor allem für statische, lebenszyklusübergreifende Informationen eingesetzt werden. Wenn dynamische Daten des Assets, wie etwa Energieverbräuche, in der AAS geführt werden, sollen sie dort über OPC UA eingebracht werden (Drath et al. 2023).

Der Zugang zu den Inhalten einer AAS soll über das standardisierte und weitverbreitete Authentifizierungssystem OpenID und über eine attributbasierte Zugriffskontrolle (Attribute-based Access Control, ABAC) gesteuert werden. Die Detailspezifikation zu den Verfahren für Authentifizierung und Autorisierung befindet sich gerade in Arbeit.

Software

Unter dem Dach der IDTA wird das Open-Source-Projekt AASX Server betrieben, in dem auf Basis eines Editors für AAS-Modelle ein Server für das Ausliefern von AAS-Merkmalen implementiert wird. Daneben gibt es aus dem akademischen Umfeld drei vergleichbare Projekte für AAS-Server: BaSyx, FA³ST und

NOOVAS. Alle vier Software-Systeme sind einsetzbar, kein System setzt aber schon vollständig die vorhandenen technischen Spezifikationen um (Jacoby et al. 2023).

Demonstratoren und Pilotprojekte

Die im Vergleich zu den Datenraum-Architekturen einfachere Struktur einer AAS hat dazu geführt, dass von Unternehmen und Forschungseinrichtungen bereits eine Reihe von Demonstratoren entwickelt worden sind bzw. gerade konzipiert werden (IDTA 2024a), darunter der Messe-Showcase PCF@Control Cabinet, in dem für einen Schaltschrank und seine Komponenten die vorhandenen Teilmodelle Digitales Typenschild und CO₂-Fußabdruck umgesetzt wurden (IDTA 2023a). Auch in den oben schon beschriebenen, großen Pilotprojekten für Datenräume Catena-X, Manufacturing-X und energy data-X wird die AAS bereits verwendet bzw. soll sie verwendet werden. Bislang decken die Umsetzungen aber nur den Bereich des produzierenden Gewerbes ab. Prototypen oder Demonstratoren für energiewirtschaftliche Systeme sind aktuell nicht entschieden.

Normungsaktivitäten

Anders als bei den Datenräumen fließen die Arbeiten am AAS-Standard bereits kontinuierlich in die internationale Norm IEC 63278 (Asset Administration Shell for industrial applications, DIN EN IEC 63278-1) des technischen Komitees TC 65 (industrial-process measurement, control and automation) der IEC ein und ergänzen die vorhandenen normativen Grundlagen (IDTA 2023b, DKE 2022).

4.2 Andere Ansätze

Die AAS wird derzeit vor allem von deutschen Unternehmen und Verbänden als der zentrale Ansatz für den digitalen Zwilling vorangetrieben. International gibt es aber durchaus konkurrierende Ansätze (Jacoby und Usländer 2020):

- Microsoft stellt mit der Digital Twin Definition Language (DTDL) einen proprietären, aber offenen Standard bereit, um digitale Zwillinge zu modellieren und Programmierschnittstellen zu den digitalen Repräsentationen von Assets zu spezifizieren. Ihre Bedeutung gewinnt die DTDL durch ihre Integration in die Cloud-Plattform Microsoft Azure, die häufig auch in Industrieprojekten eingesetzt wird. Die Sprachdefinition selbst unterliegt der liberalen MIT-Open-Source-Lizenz.

²¹ OPC UA (OPC Unified Architecture) ist eine weitverbreitete Standardfamilie des Industriekonsortiums OPC Foundation für die IT-Kommunikation und die Modellierung von Daten in der Automatisierungstechnik, die auch in der Normreihe IEC 62541 (DIN EN IEC 62541-x) veröffentlicht ist. AutomationML ist ein Konsortium, das im gleichnamigen Standard ein offenes Datenformat für die Planung industrieller Anlagen definiert; dieser ist als IEC 62714 (DIN EN IEC 62714-x) veröffentlicht.

- Mit dem graphenbasierten Informationsmodell und dem diensteorientierten Ansatz von FIWARE lassen sich ebenfalls Modelle von digitalen Zwillingen und Schnittstellen zu den realen Entitäten beschreiben. Der Zugriff auf dynamische Merkmale ist möglich, ein Auslösen von Ereignissen aber nicht (Hierro 2021a). Im Smart-City-Bereich sind bereits entsprechende Systeme umgesetzt worden (Bauer et al. 2021).
- Mit dem Web of Things (WoT) hat das W3C eine Reihe von Standards definiert, mit denen domänenübergreifend für über das Internet ansprechbare Assets Zustände und Merkmale, Funktionen und Ereignisse beschrieben werden können. Erste Unternehmen wie das Siemens-Spinoff Evosoft bieten auf Basis von WoT bereits Integrations-Software an (W3C 2024), allgemein wird WoT aber noch vor allem in akademischen und Pilotprojekten eingesetzt (Sciullo et al. 2022). Siemens, Microsoft und W3C haben jedoch angekündigt, WoT mit der Digital Twin Definition Language von Microsoft zusammenzuführen (Siemens 15.04.2024). Das kann den Praxisbezug von WoT erheblich stärken.

Auch wenn es viele Gemeinsamkeiten zwischen den verschiedenen Ansätzen gibt, zeigen sich im Detail doch Unterschiede: FIWARE etwa bietet im Gegensatz zu den anderen Standards keinen Zugriff auf die Funktionen eines Assets an, während die DTDL beispielsweise in der Modellierung beschränkt ist. Eine Abbildung der verschiedenen Ansätze aufeinander ist aber trotzdem möglich (Schmidt et al. 2023).

4.3 Zwischenfazit

Ähnlich wie bei den Datenräumen zeichnen sich auch für die AAS Trends und zurzeit offene Fragen ab:

AAS ist auf dem Weg vom Konsortialstandard zur Norm

Im Vergleich zu Gaia-X und IDS ist die AAS in ihrer Spezifikation zumindest in der passiven und reaktiven Umsetzung deutlicher stabiler. Die noch ausstehende Standardisierung der Informationssicherheit stellt keine wesentliche Hürde mehr dar. Die Entwicklung des Konsortialstandards geschieht in enger Abstimmung mit dem technischen Komitee TC 65 der IEC. Welcher Partner – IDTA oder IEC – hier in Zukunft die inhaltliche Führung übernimmt, bleibt abzuwarten.

Abgrenzung zur Steuerungstechnik ist noch offen

Ein Verständnis der AAS als proaktive Schnittstelle zum Asset greift in einer weiten Interpretation in die Steuerungstechnik ein und würde dann denselben Anwendungsbereich wie OPC UA abdecken. Das Diskussionspapier von IDTA, OPC Foundation und

AutomationML nimmt hier eine klare Trennung vor. Es ist zu erwarten, dass sich diese Abgrenzung sowohl in den großen Pilotprojekten als auch später in der Praxis durchsetzen wird. Sicher ist dies jedoch nicht.

Teilmodelle für die Energiewirtschaft fehlen noch

Entscheidend für die Akzeptanz der AAS ist die Bereitstellung fundierter Teilmodelle, die derzeit die Energiewirtschaft noch gar nicht berücksichtigen. Es bleibt abzuwarten, ob die beiden Use-Cases in energy data-X ausreichen, um hier eine kritische Masse an Teilmodellen aufzubauen (wenn die AAS tatsächlich im Projekt zum Einsatz kommt).

Wahrnehmung als deutscher Standard

Die AAS gilt zum Teil noch als ein von deutschen Unternehmen geprägter Standard ohne internationale Bedeutung (Ruediger et al. 2024). Die parallele Normung durch die IEC dürfte diesen Einwand zumindest teilweise entkräften, notwendig ist für eine internationale Akzeptanz aber eine breite Einbeziehung ausländischer Partner in die Arbeiten am Konsortialstandard bzw. der Norm.

Wettbewerb durch konkurrierende Ansätze

Obwohl es mehrere konkurrierende Konsortialstandards gibt, wird ein ernsthafter Wettbewerb wahrscheinlich vor allem durch die Digital Twin Definition Language von Microsoft entstehen, für die die enge Verzahnung mit Microsoft Azure und das starke Engagement von Microsoft in der Industrieautomatisierung spricht.

5 Bestehende Normung

Unabhängig von den in den Kapiteln 3 und 4 vorgestellten Aspekten zu Datenräumen besteht für alle hier betrachteten Energiesektoren eine über Jahrzehnte gewachsene Normenlandschaft für die Nutzung der Informationstechnik. Damit die digitalen Werkzeuge wie Energiemanagement- und Steuerungssysteme, digitalisierte und automatisierte Prozesse oder intelligente Messsysteme in die Anwendung kommen, wurden in der Vergangenheit bereits vielfältige Normen oder Standards für Referenzmodelle, Datenformate, Protokolle und digitale Zwillinge geschaffen. Im Folgenden werden die für die Digitalisierung relevanten Normen und deren Gremien in den Sektoren Strom, Gas, Wärme und Mobilität vorgestellt. Zunächst werden die verschiedenen Referenzmodelle und Referenzarchitekturmodelle der Elektrizitätswirtschaft vorgestellt. Anschließend werden das Smart-Meter-Gateway, seine Alternativen und die dafür existierenden Normen und Standards beschrieben. Die Potentiale von Nah- und Fernwärmenetzen und die zur Hebung der Potentiale notwendigen informationstechnischen Normen werden im Abschnitt zur zentralen Wärmeversorgung diskutiert. Die für die Sektorenkopplung relevanten Standards der dezentralen Wärmeversorgung werden zusammen mit dem Sektor Mobilität in einem Abschnitt behandelt. Der Grund hierfür ist, wie im Anwendungsszenario „Lokale Optimierung“ erläutert,²² die Nutzung von Flexibilitätspotentialen durch das bidirektionale Laden. In diesem Anwendungsszenario spielen Wärmepumpen aufgrund ihrer externen Steuerbarkeit und ihres Beitrags zur Netzstabilität sowie Solarbatterien und Elektrofahrzeuge als zeitlich flexible Energielieferanten eine wichtige Rolle. In den Szenarien der Sektorenkopplung interagieren verschiedene Geräte und Komponenten. Ihrer semantisch einheitlichen Beschreibung kommt eine zentrale Rolle zu. Abschließend werden daher Ansätze für die Schaffung einheitlicher Klassifikationen für die Energiewirtschaft betrachtet.

5.1 Elektrizitätswirtschaft

Die Wahrnehmung des Normungsbedarfs in der Elektrizitätswirtschaft erfolgt durch die Vertreter der interessierten Kreise in den formellen nationalen, europäischen und internationalen Normungsorganisationen. Für die elektrotechnische Normung sind auf nationaler Ebene die DKE (Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik), auf europäischer Ebene CENELEC (Comité Européen de Normalisation Électrotechnique) und auf internationaler Ebene IEC (International Electrotechnical Commission) zuständig. Für die Normung weltweiter Standards und Normen im Bereich der Telekommunikation ist ITU (International Telecommunication Union) zuständig. Auf

europäischer Ebene wird diese Aufgabe von ETSI (European Telecommunications Standards Institute) wahrgenommen. Die DKE als nationale Normungsorganisation ist u. a. für die Umsetzung der europäischen Normen in nationale Normen und die Koordinierung der nationalen Positionen zuständig. Für alle anderen Bereiche außerhalb der Telekommunikation und Elektrotechnik sind DIN (Deutsches Institut für Normung), CEN (Comité Européen de Normalisation) und ISO (International Organization for Standardization) verantwortlich.

Zu den zentralen technischen Bausteinen für die Sektorenkopplung gehören Normen, die die digitale Interoperabilität zwischen den Systemkomponenten beschreiben. Im Abschnitt 5.1.1 werden daher Referenzmodelle und Referenzarchitekturmodelle, die in der Energiewirtschaft häufig verwendet werden, vorgestellt. Zudem wird das Smart-Meter-Gateway aufgrund seiner Schlüsselrolle als digitaler Zugang zum Energiekunden im Abschnitt 5.1.2 näher beleuchtet.

5.1.1 Referenzmodelle und Referenzarchitekturmodelle Das Smart Grid Architecture Model (SGAM)

Das Referenzmodell für den Energiesektor Smart Grid Architecture Model (SGAM) wurde gemeinsam von den europäischen Normungsorganisationen CEN, CENELEC und ETSI in der Smart Grid Coordination Group entwickelt. Hintergrund war das Normungsmandat M/490 der Europäischen Kommission mit dem Ziel, die Einführung eines effizient geregelten Stromnetzes (Smart Grid) in Europa zu unterstützen. Die Smart Grid Coordination Group orientierte sich bei der Entwicklung des SGAM am Smart Grid Conceptual Reference Model des US-amerikanischen NIST (National Institute of Standards and Technology) (Draxler 2017). Die aktuelle Version des SGAM wird in der Norm DIN IEC/TS 63200 VDE V 0160-632-1:2022-12 (Definition der erweiterten SGAM smart energy grid reference architecture model) festgehalten. Die Norm definiert die SGAM-Elemente, -Ontologie und -Modellierungsmethodik. Zudem ist in der derzeitigen Version der Norm eine Erweiterung der Interaktion zwischen dem Stromnetz auf der einen Seite und dem Wärme- und Gasnetz auf der anderen Seite berücksichtigt. Für diese Interaktion sind auch Beispiele hinterlegt.

SGAM ist ein dreidimensionaler Architekturrahmen, auf dem Smart-Grid-Anwendungsfälle abgebildet werden können. Mithilfe des SGAM kann beispielsweise festgestellt werden, ob es abweichende Interoperabilitätsstandards oder proprietäre Lösungen gibt, die auf einen Bedarf an zusätzlichen Standards hindeuten (Faller et al. 2020). SGAM ist wie die meisten anderen

²² Siehe Abschnitt 2.1.

Referenzmodelle als Schichtenmodell aufgebaut. Neben der Identifizierung von Normungslücken dient das SGAM-Referenzmodell der Abbildung von Anwendungsfällen. Die fünf Schichten des SGAM sind:

- *Business Layer*: beschreibt den betriebswirtschaftlichen Prozess des Anwendungsfalls.
- *Function Layer*: beschreibt die notwendigen Funktionen und Dienste.
- *Component Layer*: beschreibt die Verteilung der physischen und logischen Komponenten im Smart Grid.
- *Information Layer*: beschreibt die Informationen, die zwischen Funktionen, Diensten und Komponenten verwendet werden. Die Darstellung der Datenelemente und Beziehungen ermöglicht den syntaktisch und semantisch interoperablen Informationsaustausch.
- *Communication Layer*: beschreibt die Mechanismen für den systemübergreifenden Informationsaustausch. In dieser Schicht werden die Kommunikationsprotokolle (z. B. OPC UA) angegeben, mit denen die Daten des Information Layer übertragen werden.

SGAM wird in der Praxis als ein Modellierungswerkzeug in der Energiewirtschaft eingesetzt. Als Vorteil wird die Möglichkeit angesehen, Anwendungsfälle so abzubilden, dass die verschiedenen Akteure des Smart Grids ein system- und herstellerübergreifendes Verständnis über das System entwickeln und bei der Identifizierung von Normungslücken, z. B. für Sicherheitsanforderungen, unterstützen. Im Vergleich zu anderen Referenzarchitekturmodellen wird SGAM für die anschauliche Darstellung der Anwendungsfälle und die Visualisierung gelobt. Deshalb ist SGAM für die systematische Entwicklung von Smart-Grid-Architekturen sehr gut geeignet (Panda und Das Saptarshi 2021). Nachteile von SGAM sind die eher komplexe Anwendung und die lange Einarbeitungszeit. Eine sektorenübergreifende Betrachtung war im ursprünglichen SGAM-Modell zunächst nicht vorgesehen (Faller et al. 2020). Seit seiner ursprünglichen Veröffentlichung wurde das SGAM immer mehr erweitert und unterstützt nun auch andere Energieträger wie Wärme und Gas (Ilo et al. 2021).

Das SyC Smart Energy, ein Systemkomitee der IEC, das sich auf die Normung im Bereich der intelligenten Energie konzentriert, arbeitet an zusätzlichen Erweiterungen des SGAM-Modells. Thema ist derzeit die Erstellung einer Anwendungshilfe (Systems Reference Deliverable, SRD) für die Entwicklung von Smart-Energy-Ontologien. Mit der Anwendungshilfe IEC SRD 63460 ED1 werden Anwendungsfälle für Elektrofahrzeuge im Smart Grid

betrachtet. Mit der IEC SRD 63443 ED1 ist eine Anwendungshilfe für das ERAB-System (Distributed Energy Resource Aggregation Business) geplant. Die Veröffentlichung der Anwendungshilfen ist für 2025 vorgesehen (IEC 2024b).

Auch eine Erweiterung von SGAM um Data-Governance-Aspekte ist bereits im Gespräch. Im europäischen Projekt OneNet wurden erste Vorschläge gemacht, wie einzelne Governance-Elemente den SGAM-Schichten zugeordnet werden können (siehe Tabelle 7).

European (energy) Data Exchange Reference Architecture 3.0 (DERA 3.0)

Das European (energy) Data Exchange Reference Architecture (DERA) ist aus der BRIDGE Initiative der Europäischen Union entstanden. Die BRIDGE Initiative vereint Projekte aus den FuE-Programmen Horizon 2020 und Horizon Europe der Europäischen Kommission, die zu den Themen Smart Grid, Energiespeicherung und Digitalisierung arbeiten. Aus der BRIDGE-Arbeitsgruppe zum Data-Management ist die DERA entstanden. Das Ziel des Referenzmodells ist, den Datenaustausch innerhalb des Energiesektors und über verschiedene Bereiche hinweg zu erleichtern. Wie andere Referenzmodelle besteht auch DERA 3.0 aus verschiedenen Schichten. Die fünf Schichten von DERA 3.0 sind:

- Kommunikation,
- Komponenten,
- Information,
- Funktionen und
- Geschäftsschicht.

Der Fokus von DERA liegt auf Datenräumen sowie der Bedeutung von Datenverwaltung, Datenkooperation und sektorenübergreifendem Datenmanagement. Auch das Konzept für Cloud-Systeme, die eine ausreichende Datensouveränität bieten, wie Gaia-X, wird in DERA 3.0 berücksichtigt. In der aktuellen Version 3.0 wird deshalb ein auf einem Datenaustauschansatz beruhendes Mapping auf der einen Seite und den Referenzarchitekturen von Gaia-X und IDSA auf der anderen Seite vorgenommen (Couto et al. 2023a).

Industrial Internet Reference Architecture (IIRA)

Ein weiteres Referenzmodell zur Anwendung im Energiesektor ist die Industrial Internet Reference Architecture (IIRA) des Industrial Internet Consortium (IIC). Das IIC wurde als Standardisierungskonsortium von den großen IT-Unternehmen aus den USA – AT&T, Cisco, GE, IBM und Intel – im Jahr 2014 mit dem Ziel gegründet, Architekturen und offene Interoperabilitätsstandards für industrielle Anwendungen zu erarbeiten. Heute sind auch deutsche Unternehmen an dem Konsortium beteiligt. Das IIC kooperiert mit vielen anderen Standardisierungskonsortien, wie der OPC Foundation, und technischen Normungskomitees,

Einordnung von Data-Governance-Elementen in die SGAM-Schichten

SGAM-Schicht	Data-Governance-Elemente
Business Layer	Business Cases, Data Orchestration, Rules and Norms
Function Layer	Data Ownership, Data Access, Data Security
Information and Communication Layer	Data Vocabulary
Component Layer	Data Platforms, Interfaces, Repositories

Tabelle 7: Einordnung von Data-Governance-Elementen in die SGAM-Schichten (nach: Kukk et al. 2023)

wie der ISO/IEC JTC 1/WG 9 (Big Data) oder dem ISO/IEC JTC 1/SC 41 (Internet of Things and related Technologies) (Industrial Internet Consortium 2024).

Die Industrial Internet Reference Architecture (IIRA) leitet Anforderungen an Technologien und Designprinzipien des industriellen Internets ab. Die Architekturbeschreibungen sind auf einem hohen Abstraktionsniveau gestaltet, was eine breite industrielle Anwendbarkeit, inklusive der Elektrizitätswirtschaft, ermöglicht. Basis für das Referenzmodell ist die Norm ISO/IEC/IEEE 42010:2022. Das Modell ist in Schichten und Ebenen unterteilt. Wesentliche Elemente des Modells sind verschiedene Sichten (Viewpoints) auf ein System:

- die Sicht der betriebswirtschaftlichen und regulatorischen Bedingungen,
- die Anwendersicht,
- die funktionale Sicht und
- die Implementierungssicht.

Bei der Implementierung liegt der Fokus auf der Vernetzung der Modellelemente durch eine gemeinsame Kommunikation (Schulz 2019). Das IIRA wird im Rahmen des Industrial Internets für verschiedene Testbeds verwendet, u. a. in den Bereichen Smart Grid, Transport und industrielle Wartung. Im Bereich Smart Grid arbeiten das IIC und das amerikanische Smart Grid Interoperability Panel (SGIP) der US-Normungsorganisation NIST zusammen.

Smart Appliances REference Ontology

Ein weiteres Referenzmodell wurde vom europäischen Normungsinstitut ETSI für intelligente Geräte wie Heizungs-, Lüftungs- und Klimaanlage oder Speichersysteme entwickelt. Dies basiert auf der Überlegung, dass sich durch Verwaltung und Steuerung intelligenter Geräte der Energieverbrauch senken lässt. Voraussetzung dafür sind vernetzte Geräte, die untereinander

und mit einer Dienstplattform kommunizieren können. Deshalb wurde mit der Smart Appliances REference Ontology (SAREF) eine gemeinsame Architektur mit standardisierten Schnittstellen und einem gemeinsamen Datenmodell entwickelt. Die erste Version von SAREF galt für die Bereiche Energie, Umwelt und Gebäude. In den Folgeversionen V2 und V3 sind weitere Anwendungen hinzugekommen: Smart City, Smart Industry and Manufacturing, Smart Agri-Food, Automotive, eHealth and Ageing-Well, Wearables, Smart Water, Smart Lift und weitere. Das SAREF-Modell umfasst ein Kernmodell (Core Ontology) und Erweiterungen. Die Norm ETSI TS 103 410-12 V1.1.1 ist die Erweiterung des SAREF-Kernmodells auf das Smart Grid (ETSI 2024). Mit der SAREF-Erweiterung SAREF4ENER wurde der Bedarf an Interoperabilität auf die Nachfrageseitenflexibilität (Demand Side Flexibility, DSF) adressiert. Daran waren auch die beiden Standardisierungskonsortien für das Smart Home, die EEBus Initiative und Energy@home, beteiligt. Die Norm adressiert die Kommunikation zwischen dem Smart Grid und dem Energiemanagement eines Gebäudes über den effizienten Einsatz von Energie (Härter 2017).

5.1.2 Smart-Meter-Gateway

Der Einbau intelligenter Messsysteme (Smart Meter) und die damit verbundene Nachfragesteuerung über die Preissignale dynamischer Stromtarife sind notwendige Voraussetzungen für den Erfolg der Sektorenkopplung. Intelligente Messsysteme in Verbindung mit dynamischen Stromtarifen schaffen Anreize für Endverbraucher, Energie flexibel nachzufragen.

Die Anforderungen an ein entsprechendes Smart-Meter-Gateway (SMGW), den sicheren IT-Betrieb sowie eine zugehörige Public-Key-Infrastruktur wurden vom Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI) entwickelt. Ein intelligentes Messsystem besteht aus zwei Komponenten: einer den Verbrauch digital erfassenden Messeinrichtung sowie einer Kom-

ponente für die Übertragung der Verbrauchsdaten, das Smart-Meter-Gateway. Die Einhaltung der IT-Sicherheitsanforderungen wird durch das BSI im Rahmen eines Zertifizierungsverfahrens überprüft. Die Ansprüche an die IT-Sicherheit sind hoch, vor allem, wenn im SMGW auch Steuerungsmöglichkeiten vorgesehen sind, etwa um den Betrieb einer Wärmepumpe für eine begrenzte Zeit zu verschieben oder zu drosseln.

Die sehr hohen Anforderungen an Sicherheit und Zertifizierung des Smart-Meter-Gateways haben jedoch den Roll-out von intelligenten Messsystemen in Deutschland erheblich verzögert, was auch die Sektorenkopplung bremst. Für Elektrizitätsversorgungsunternehmen gibt es allerdings ab 2025 die Pflicht, dynamische Stromtarife anzubieten (Eicke et al. 2024, Dena 2024). Deshalb sind alternative Lösungen für das Smart-Metering auf dem Markt entstanden (Acatech et al. 2021). Die Energieversorger sehen diese Alternative als ein Übergangsmodell an, das den Roll-out des SMGW nicht ersetzt, aber die Verbrauchsflexibilisierung mit dynamischen Strompreismodellen ohne SMGW ermöglicht (Dena 2024).

Angeboten werden Lösungen für bestehende analoge Stromzähler und moderne Messeinrichtungen:

- Bei analogen Stromzählern erfolgt das Auslesen von Zählerständen per App und Foto mithilfe eines entsprechenden Geräts (Smartphone, Tablet) oder über einen angeschlossenen Kommunikationsadapter (Affinis 2024, Anyline 2024). Das Foto des Zählerstands wird über das mobile Datennetz oder das Home-WLAN an ein Cloud-Portal gesendet. Über KI-gestützte Bilderkennungsverfahren erfolgt die Übertragung der Zählerdaten an ein Portal.
- Moderne Messeinrichtungen können über eine Infrarot-Schnittstelle Zählerdaten auslesen und via WLAN oder Internet an den Versorger übermitteln. IEC hat dafür die Norm DIN EN 62056-21-2003-01 entwickelt, die Vorgaben für die Übertragung von Daten aus den Zählern für Strom, Gas und Wasser macht sowie Vorgaben für die Hardware der Infrarot-Schnittstelle beschreibt. Die Norm findet in vielen europäischen Zählern Anwendung (Mester 2002).

Die Nutzung der alternativen Lösungen zum SMGW hat sich in den letzten Jahren deutlich erhöht. Stark dazu beigetragen hat die Funktechnologie LoRaWAN mit dem ITU-Standard ITU-T Y.4480 (Bergsträßer et al. 2024). Der technische Hinweis „Kommunikationsadapter zur Anbindung von Messeinrichtungen an die LMN-Schnittstelle des Smart Meter Gateway“ von DVGW und VDE FNN (Forum Netztechnik/Netzbetrieb im VDE) beschreibt, wie Kommunikationsadapter einheitlich genutzt werden können, und stellt sicher, dass sie interoperabel und austauschbar sind (DVGW 2022).

Das Gesetz zum Neustart der Digitalisierung der Energiewende (GNDEW) vom Mai 2023 zielt darauf ab, den Roll-out der Smart-Meter zu beschleunigen. Vorgesehen sind beispielsweise ein verpflichtender Rollout ab 2025 für Verbraucher ab 6.000 bis 100.000 kWh/Jahr und Erzeuger von 7 bis 100 kWh/Jahr installierter Leistung mit zeitlichen Zielvorgaben zur Umsetzung. Bis 2030 sollen 95 % der Verbraucher und Erzeuger in dieser Klasse über ein Smart-Meter verfügen. Spätestens ab 2025 sollen die Energieversorger Verbrauchern mit Smart-Metern dynamische Tarife anbieten (Bundesregierung 2023, BMWK 2024b).

Das GNDEW fordert zudem, die Standardisierung des SMGW zu vereinfachen. Das BSI ist dafür im Auftrag des BMWK weiterhin verantwortlich, soll jedoch frühzeitig weitere Stakeholder wie Fachverbände und Pilotprojekte aus der Energiewirtschaft einbinden (Bergsträßer et al. 2024). Die geforderte Einbindung der Stakeholder ist von hoher Bedeutung, um den Praxisbezug der Standardisierung sicherzustellen.

5.2 Gaswirtschaft

Der DIN-Normenausschuss Gastechnik (NAGas) nimmt die nationale Normungsarbeit auf den Gebieten Gasversorgung und -verwendung wahr und wirkt bei der europäischen und internationalen Normung mit. Das Arbeitsgebiet des NAGas umfasst Normungsaufgaben zu Flüssiggas, Wasserstofftechnologie, Biogas, Gasmessung, Untertagespeicher und weitere. Der NAGas arbeitet auch mit anderen Normungsgremien zusammen, zum Beispiel mit der DKE zu Brennstoffzellen-Gasheizgeräten (DIN 2024).

Referenzen auf die Informations- und Kommunikationstechnik wie bei der Elektrizitätswirtschaft finden sich auf der Normungsebene in der Gaswirtschaft vergleichsweise selten. Das wird deutlich bei der Durchsicht der Normungsroadmaps, bei denen der NAGas mitgewirkt hat:

- In der „Normungsroadmap Wasserstofftechnologien“, bei der unter anderem DIN, DKE und DVGW (Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches) mitwirken, soll eine Übersicht zu Normen und Standards für Terminologien, Schnittstellen, Qualitäts-, Sicherheits- und Systemanforderungen der Wasserstofftechnologien für den Zweck eines gemeinsamen Verständnisses über Sektorengrenzen hinweg erstellt werden. Die Übersicht enthält bisher nahezu 900 Normen, Industriestandards, Prüfgrundlagen und andere technische Dokumente, die von den Arbeitskreisen Infrastruktur, Speicherung, Transport, Schienenverkehr, Qualitätsinfrastruktur, Leitungstransport und Anwendung gelistet wurden. Hinsichtlich der Digitalisierung der Wasserstofftechnologien und der Sektorenkopplung listet die Arbeitsgruppe „Cybersicherheit und Datenschnittstellen“ der Normungsroadmap insgesamt 30 Normen und andere

Dokumente auf, die IT-Sicherheit und Datenkommunikation adressieren, zum Beispiel die DIN EN IEC 62443-3-2 VDE 0802-3-2:2021-12 (IT-Sicherheit für industrielle Automatisierungssysteme, Teil 3-2: Sicherheitsrisikobeurteilung und Systemgestaltung), die DIN EN IEC 62351-6 VDE 0112-351-6:2022-08 (Energiemanagementsysteme und zugehöriger Datenaustausch – IT-Sicherheit für Daten und Kommunikation) oder die Normenreihe DIN IEC IEC 62443 (Industrielle Kommunikationsnetze – IT-Sicherheit für Netze und Systeme). Ein weiteres Update der Normungsroadmap soll im Sommer 2024 erfolgen (DIN et al. 2024).

- Die Gaswirtschaft ist ebenfalls an der „Normungsroadmap Energiespeicher“ beteiligt, die zusammen mit den Normenorganisationen DIN und DKE sowie den Fachvereinen DVGW und VDI (Verein Deutscher Ingenieure) erstellt wurde. Die Normungsroadmap befasst sich vor allem mit Themen der Energiewandlung und der Netzanschlüsse. Fragen der Informations- und Kommunikationstechnik werden nicht adressiert (DIN et al. 2021).

Eine tiefere Analyse liefern Moser et al. (2014) in ihrer Studie zum intelligenten gekoppelten Betrieb von Stromverteil- und Gasnetzen: Voraussetzung für die Verbindung beider Sektoren, etwa über Power-to-Gas- und Gas-to-Power-Anlagen, ist eine ausreichende Datenqualität. Spezifisch verlangt die Studie das Vorhandensein von

- Netzdaten in digitaler Form des Geoinformationssystems,
- Lastdaten der Gasleitungen in Stundenwerten, um das Potential von Power-to-Gas-Technologie zu bewerten,
- Lastdaten der elektrischen Energie in Stundenwerten und
- Lastdaten des Wärmenetzes.

Die digitale Normung im Gasmarkt betrifft zudem, analog zum Strommarkt, auch die Nachfrageseite. Um ein Smart Gas-Grid zu schaffen, sind intelligente Gaszähler (Smart Gas-Meter) notwendig. Die intelligenten Gaszähler können Versorgungsunternehmen dabei helfen, Nachfragespitzen zu optimieren, und Verbraucher können ein besseres Verbrauchsbewusstsein entwickeln. Der Arbeitsausschuss NA 032-02-05 AA Gasmessung des DIN-Normenausschusses Gastechnik (NAGas) hat bereits im Jahr 2010 mit der Standardisierung der intelligenten Gaszähler begonnen und mit der DIN SPEC 91193:2011-01 (Gaszähler – Intelligente Gaszähler) eine nationale Spezifikation entwickelt, die anschließend als technischer Bericht DIN CEN/TR 16061:2011-01 auf der europäischen Ebene erschienen ist.

Sinnvollerweise werden dabei die Smart-Meter für die Strom- und die Gasnetze integriert. Neue Messeinrichtungen für Gas dürfen nach dem Messstellenbetriebsgesetz nur verbaut werden, wenn sie über eine Schnittstelle oder einen Adapter zum Smart-

Meter-Gateway verbunden werden können (§ 20 MsbG). Übergangsregelungen gelten bis zum Jahr 2032.

Mit der technischen Richtlinie DVGW G 485:2018-02 (Digitale Schnittstelle für Gasmessgeräte) wurden vom DVGW bereits Festlegungen für die Kommunikation der intelligenten Gaszähler mit dem Smart-Meter-Gateway entwickelt.

5.3 Zentrale Wärmeversorgung

Die zentrale Wärmeversorgung und vor allem Fernwärmesysteme werden immer komplexer. Zum einen werden neue Technologien wie Großwärmepumpen und neue Wärmequellen verwendet (pv magazine 2024). Zum anderen integrieren einige Fernwärmeanbieter neue Daten wie Zählerdaten aus intelligenten Messsystemen, externe Marktpreise oder Wetterprognosen, um den Wärmeverbrauch zu optimieren. Die weite Verbreitung dieser neuen Technologien ist jedoch gehemmt, weil standardisierte Protokolle und Schnittstellen fehlen.

Die Monopolsituation in den Wärmenetzen führt allerdings dazu, dass die Netzbetreiber nur wenige Anreize zur Umsetzung inter-operabler Lösungen haben. Viele Fernwärmeanbieter nutzen zur Steuerung und Überwachung zwar bereits SCADA-Software-Systeme (Supervisory Control and Data Acquisition). Diese Systeme erlauben die Überwachung der Anlagen hinsichtlich Funktion und Sicherheit und teilweise auch die Fernauslesung von Zählerdaten sowie die Fernwartung. Die SCADA-Systemanbieter bedienen allerdings unterschiedliche Datenkommunikationsprotokolle. OPC UA wird zwar häufiger genutzt und hat sich als De-facto-Standard durchgesetzt, wird jedoch besonders von älteren SCADA-Systemen nicht unterstützt. Wünschenswert wäre ein Ökosystem mit Anbietern, die auf offene Lösungen setzen und Software-Pakete anderer Anbieter nicht ausschließen. Ein offenes Ökosystem würde die Verfügbarkeit von Innovationen im Fernwärmemarkt fördern, indem auch kleinere Software-Anbieter in den Markt einsteigen und neue Funktionen anbieten können, z. B. für die Vorhersage des Wärmebedarfs oder die kommunale Wärmeplanung (Schmidt 2022).

Die tatsächliche Situation der Standardisierung zur Digitalisierung der Wärmenetze ist jedoch von Einzelaktivitäten geprägt:

- Eine Arbeitsgruppe der International Building Performance Simulation Association (IBPSA), an der u. a. die Universitäten Berkeley, KU Leuven, RWTH Aachen und die UdK Berlin beteiligt waren, hat eine Open-Source-Software für die Planung und den Betrieb von Gebäuden und kommunalen Energiesystemen entwickelt. Die Software erlaubt die energetische Simulation von Gebäuden bis hin zu Stadtquartieren und kann z. B. die Komponenten der Heizungs-,

Klima- und Solartechnik abbilden (International Building Performance Simulation Association 2024).

- Ebenfalls öffentlich verfügbar ist eine Erweiterung der bereits erwähnten und mit der Asset Administration Shell konkurrierenden Digital Twins Definition Language (DTDL) von Microsoft²³: die DTDL ontology for Energy Grid (Microsoft 2021). Die Ontologie ist ein Versuch, das in der Elektrizitätswirtschaft etablierte und genormte Common Information Model (CIM) auf den Fernwärme- und -kältemarkt zu erweitern und wird derzeit von großen Playern des Markts unterstützt (Schmidt 2022). Die DTDL-Ontologie baut auf den CIM-Normenreihen IEC 61970, IEC 61968 und IEC 62325 auf. (IEC 61970 beschreibt eine Programmierschnittstelle für Energie-Management-Systeme. IEC 61968 beschreibt Systemschnittstellen für die Netzführung. Die Normenreihe IEC 62325 erweitert das CIM auf den Energiemarkt.)
- Eine proprietäre Lösung bietet der US-amerikanische Software-Hersteller von Geoinformationssystemen Esri an. Das District Energy Data Model ermöglicht die Darstellung der thermischen Energie im Fernwärmenetz sowie die Übertragung von Daten des Systems, z. B. von Ventilen, Pumpen und Rohrsegmenten. Obwohl es von einem Unternehmen unterstützt wird, basiert das Modell auf der Gemeinschaftsarbeit von Nutzern der Geoinformationssysteme. Unter anderem haben die Nutzer ein Wörterbuchverzeichnis für die Komponenten des Fernwärmesystems erstellt (Esri).

Trotz dieser vereinzelt Versuche, die informationstechnische Normung und Standardisierung voranzubringen, gibt es eine Reihe von grundlegenden Normungs- und Standardisierungsbedarfen. Diese betreffen vor allem:

- die Kennzeichnung von Datenströmen,
- die Benennung von Komponenten des Fernwärmesystems und
- die Beschreibung des Fernwärme-Netzwerklayouts (Schmidt 2022).

5.4 Dezentrale Wärmeversorgung und Mobilität

Eine notwendige Bedingung für die Nutzung des kombinierten Flexibilitätspotentials von Wärmepumpen, Elektroautos, Heimspeichern und Solarbatterien im Anwendungsszenario „Lokale Optimierung“ sind Smart Meter und dynamische Stromtarife. Eine Alternative zum Smart Meter können auch geräteinterne

Zähler (Verbrauchstracker) oder eigene Stromzähler für diese Geräte sein. Die Anforderungen an solche geräteinternen Messgeräte für die Zulassung werden von der Physikalischen Bundesanstalt gestellt (PTB). Eine integrierte Messeinrichtung ermöglicht es, den Stromverbrauch der Wärmepumpe separat zu erfassen und gegebenenfalls für einen speziellen Wärmepumpen-Stromtarif zu nutzen.

Die Nationale Leitstelle Ladeinfrastruktur (2024) untersucht in einem Bericht zusammen mit Fachleuten von EnBW und dem VDA den Beitrag des bidirektionalen Ladens für die Sektorenkopplung. Die Autoren beschreiben, dass die technische Machbarkeit von bidirektionalen Gleichstrom- und Wechsellösungen in Pilotprojekten mehrfach demonstriert wurde. Diese Pilotprojekte haben jedoch nicht zu einem einheitlichen System geführt. Einerseits bestehen noch regulatorische Hürden, andererseits fehlen auch Normen und Standards für die Anwendungsfälle Vehicle to Home (Rückspeisung von elektrischer Energie aus Elektrofahrzeugen in das Hausnetz) und Vehicle to Grid (Rückspeisung von elektrischer Energie aus Elektrofahrzeugen in das Stromnetz).

Zwar gibt es immer mehr Fahrzeuge und Ladeeinrichtungen, die bidirektionales Laden unterstützen, die verfügbaren Systeme arbeiten jedoch noch auf proprietärer Basis. Das kann jedoch zu Lock-in-Effekten führen und dazu beitragen, dass Verbraucher die Flexibilitätspotentiale des bidirektionalen Ladens nur unzureichend nutzen. Damit Fahrzeuge unterschiedlicher Hersteller an allen Ladestationen geladen werden können, sind interoperable und barrierefreie Systeme vom Fahrzeug über die Ladestation bis zum Smart-Meter-Gateway notwendig, die auf Normen und Standards basieren. Konkret sieht die Nationale Leitstelle Ladeinfrastruktur neben der elektrischen Sicherheit und Interoperabilität von Ladeeinrichtungen und Fahrzeugen und der Anpassung des Netzanschlusses für das bidirektionale Laden auch Normungsbedarf bei der digitalen Kommunikation und bei Mess- und Steuerungsanwendungen:

Digitale Kommunikation:

- Die Norm ISO 15118-20 regelt die Kommunikation zwischen Elektrofahrzeug und Ladepunkt und definiert darüber hinaus weitere Funktionen rund um das Laden, wie Authentifizierungsmethoden für Ladesäulen und Fahrzeug (Plug & Charge) oder das Energiemanagement. Die zukünftigen Anwendungen zum Vehicle to Grid werden für 2025 erwartet.
- Das OCPP (Open Charge Point Protocol) überträgt Informationen zwischen dem Elektrofahrzeug und der Ladestation.

²³ Siehe Abschnitt 4.2.

So wird beispielsweise die Auslastung der Ladestationen überwacht. Der Standard ist auf dem Markt weitverbreitet und ermöglicht die Interoperabilität verschiedener Systeme. Parallel dazu existiert die Norm IEC 63110 der Joint Working Group JWG 11 des Technischen Komitees der IEC. Die IEC 63110 deckt auch das Management von Ladesäulen ab. Die Nationale Koordinierungsstelle Ladeinfrastruktur geht davon aus, dass die IEC 63110 zukünftig das OCPP ablösen wird. Unklar ist hierbei noch, ob dies in einer Vollnorm, einer Public Available Specification oder einem Industriestandard umgesetzt wird. Erste Anwendungen der IEC 63110 werden für 2026 erwartet.

Mess- und Steuerungsanwendungen:

- Die Funktionalitäts-, Interoperabilitäts- und Sicherheitsanforderungen an Smart-Meter-Gateways und die zugehörige Infrastruktur in Deutschland werden durch die Normenreihe BSI TR 3109 definiert. Bisher wurden sechs Teile veröffentlicht. Für das bidirektionale Laden müssen die Messsysteme auch bidirektionale Energieströme erfassen können. Ebenso muss die CLS-Steuerbox²⁴ mit dem Ladepunkt und dem Elektromobilitätsanbieter kommunizieren können. Die Nationale Leitstelle Ladeinfrastruktur schätzt, dass diese Normungsarbeiten nicht vor 2026 abgeschlossen sein werden. Das BSI hat noch keine Informationen dazu veröffentlicht, wann die technische Richtlinie BSI TR 3109 überarbeitet wird.
- Die Anforderungen an Messsysteme von Ladeeinrichtungen werden durch die VDE-AR-E 2418-3-100 abgedeckt. Parallel dazu wird auf europäischer Ebene die Norm EN 50732 (Anforderungen an Messsysteme von Ladeeinrichtungen) erarbeitet. Die Nationale Koordinierungsstelle Ladeinfrastruktur geht davon aus, dass eine Nachfolgenorm zur VDE-AR-E 2418-3-100 nur mit Verzögerungen auf europäischer Ebene entstehen wird. Die europäische Harmonisierungsinitiative soll bis 2027 abgeschlossen sein.
- Die Anforderung zum Datenaustausch zwischen intelligenten Geräten wie Heizungs- und Gebäudesteuerungen und Energieversorgern sind in der Anwendungsregel VDE-AR-E 2829 kürzlich abgeschlossen worden.

5.5 Klassifikationen und Begriffe für Geräte und Komponenten

Eine Herausforderung bei der Interaktion verschiedener Geräte und Komponenten ist die Verwendung einheitlicher Begriffe, Klassifikationen und Merkmalsbeschreibungen. IEC und ISO ha-

ben deshalb das auf internationalen Normen basierende Referenzlexikon IEC Common Data Dictionary (IEC CDD) entwickelt, das Klassifizierungen und Metadaten-Definitionen für Produkte bereitstellt. Das IEC CDD dient der Harmonisierung von Terminologien im Bereich Industrie 4.0. Die IEC CDD ist eine internationale Norm in Form einer Online-Datenbank (<https://cdd.iec.ch/>). Damit haben die in dem Referenzlexikon veröffentlichten Inhalte den Status einer ISO- oder IEC-Norm. Die IEC CDD enthält:

- eine eindeutige Identifizierung von Klassen und Eigenschaften sowie deren Beziehungen,
- anerkannte Terminologie und Definitionen, die auf anerkannten Quellen wie internationalen IEC-Normen oder anderen internationalen Normen beruhen,
- Hierarchien von Konzepten,
- Bedingungen und Beschränkungen für mögliche Werte von Merkmalen und
- die technische Darstellung der Konzepte einschließlich der Einheiten und Datentypen und deren Identifizierung.

Das Referenzlexikon wird vom IEC Subcommittee IEC SC 3D (Classes, Properties and Identification of Products – Common Data Dictionary CDD) gepflegt. IEC SC 3D ist damit verantwortlich für die Qualitätskontrolle, die Definition, Strukturierung und Identifizierung von Klassen und Merkmalen, die Entwürfe von Produktdaten, Wörterbüchern und Ontologien sowie die Veröffentlichung von Informationen zum IEC Common Data Dictionary (IEC 2024a).

Von großer Bedeutung ist der Abgleich des CDD mit dem weitverbreiteten Konsortialstandard ECLASS, der für Produkte und Dienstleistungen eindeutige Klassifikationen und Beschreibungen vorgibt und vor allem für den Austausch von Stammdaten zwischen Unternehmen dient (ECLASS 2023). Notwendig ist vor allem eine Harmonisierung der Klassifikationsstrukturen und der Merkmale in CDD und ECLASS (DIN und DKE 2023a). Das gilt umso mehr, da es bereits Überlegungen zur Integration von ECLASS in die Asset Administration Shell gibt (Belyaev et al. 2021).

5.6 Zwischenfazit

Aus der Betrachtung der aktuellen Normungssituation zur Digitalisierung der Sektorenkopplung ergeben sich folgende Schlüsse:

Referenzarchitekturmodelle liefern den Vorteil einer gemeinsamen Begriffswelt und Ordnungsstruktur für verschiedene Akteure

Referenzarchitekturmodelle geben ein Rahmenwerk für die Interoperabilität von technischen Systemen und Prozessen und können

²⁴ CLS: Controllable Local System.

anzeigen, wie Normung und Standardisierung im Anwendungsbereich strukturiert sind und welche zusätzlichen Normungsbedarfe bestehen. Bei der Planung und Vorausschau des Normungsbedarfs zur Digitalisierung der Sektorenkopplung ist es sinnvoll, sich auf die vorhandenen Referenzarchitekturmodelle für das Stromnetz zu stützen, und dort, wie bereits in BRIDGE und im europäischen Projekt OneNet begonnen, die Datenraum-Konzepte von Gaia-X und IDS zu ergänzen. Da es derzeit noch keine Harmonisierung der Modelle gibt, kann keine Empfehlung für oder gegen ein bestimmtes Referenzarchitekturmodell gegeben werden. Entscheidend ist, dass alle informationstechnischen Normen und Standards in dem Modell abgebildet werden können und dass die Klassifikationen und Terminologien einheitlich sind.

Das Smart-Meter-Gateway ist von zentraler Bedeutung und muss nahtlos in die Normung der Sektorenkopplung integriert werden

Das Gesetz zum Neustart der Digitalisierung der Energiewende (GNDEW) fordert, dass die Verantwortung für die sicherheitstechnischen Aspekte weiterhin beim BSI bleibt. Die Normung des Smart-Meter-Gateways soll jedoch von weiteren Stakeholdern aus der Energiewirtschaft unterstützt werden. Die DKE sollte sich als zentrale Normungsorganisation im Bereich der Sektorenkopplung bei den Normungsarbeiten des SMGW dafür einsetzen, dass der Smart-Meter-Roll-out zügig umgesetzt wird und die technischen Regeln des BSI kein Hindernis für den Roll-out darstellen.

Der verzögerte Roll-out des SMGW hat zu alternativen Lösungen geführt, die häufig von Start-ups angeboten werden. Diese Verbrauchstracker ermöglichen die Verbrauchsflexibilisierung mit dynamischen Strompreismodellen ohne SMGW-Infrastruktur. Der VDE gibt mit dem FNN-Hinweis „Kommunikationsadapter zur Anbindung von Messeinrichtungen an das Smart-Meter-Gateway“ eine Hilfestellung zur einheitlichen Verwendung. Hier gilt es zu prüfen, ob der FNN-Hinweis auch für weitere alternative Lösungen zum SMGW, die von Start-ups im Energiesektor entwickelt werden, hilfreich ist.

Die Gaswirtschaft benötigt Vorgaben zur Datenqualität

Um die Elektrizitäts- und die Gaswirtschaft über Power-to-Gas- und Gas-to-Power-Anlagen intelligent zu verbinden, sind Daten in ausreichender Qualität notwendig. Bisher fehlen u. a. Netzdaten in digitaler Form des Geoinformationssystems, Lastdaten der Gasleitungen in Stundenwerten, Lastdaten des Stroms in Stundenwerten sowie Lastdaten des Wärmenetzes. Die Anforderungen an die notwendigen Daten für das Gasnetz und die dazugehörige Datenqualität werden bisher noch nicht in Normen definiert. Diese Bedarfe sollten in die Normungsroadmaps der Gaswirtschaft für Energiespeicher und Wasserstofftechnologien aufgenommen werden. Zudem sollten die Normungsroadmaps generell die Sektorenkopplung mitbedenken, indem zum Beispiel

Abschnitte zu sektorenübergreifenden Normungsbedarfen integriert werden. Eine weitere Plattform zur Diskussion von Normungs- und Standardisierungsbedarfen der Gaswirtschaft stellen die Standardization Community Maps (SCM) der DKE dar. Die SCM der All Electric Society könnten beispielsweise das Thema Datenverfügbarkeit und Datenqualität für die intelligente Vernetzung der Strom- und Gaswirtschaft in einem Workshop diskutieren, um die Normungsarbeiten vorzubereiten.

Bei der zentralen Wärmeversorgung fehlen noch Standards und Normen für die Digitalisierung

Im Bereich der zentralen Wärmeversorgung (Fernwärme) fehlen Standards und Normen für Datenformate, Komponenten des Fernwärmesystems und die Beschreibung des Fernwärme-Netzwerklayouts. Neue Normungsvorhaben sollten für diese Bereiche interoperable Normen und Standards entwickeln, um ein offenes Ökosystem mit vielen Anbietern zu fördern, in dem auch kleinere Akteure neue Funktionen anbieten können. Es sollte auch geprüft werden, ob die vorhandenen Normen aus der Elektrizitätswirtschaft sinnvoll für den Bereich der zentralen Wärmeversorgung eingesetzt oder entsprechend adaptiert werden können, damit die Sektorenkopplung der Energiesysteme Strom, Gas und Wärme durchgängig unterstützt wird.

Auch bei der dezentralen Wärmeversorgung und der Mobilität müssen Normungslücken geschlossen werden

Im Bereich der dezentralen Wärmeversorgung fehlen Normen und Standards für die Steuerung von Einzelanlagen. Die Steuerung von Einzelanlagen ist für das Funktionieren der Sektorenkopplung notwendig, z. B. um Verbrauch und Erzeugung netzdienlich zu steuern. Derzeit existieren parallele Regelwerke.

Damit neben Hausspeichersystemen und Solarbatterien auch batterieelektrische Fahrzeuge als Stromspeicher die Kraftwerke bei einer hohen Stromnachfrage entlasten können, müssen die Flexibilitätspotentiale des bidirektionalen Ladens auf Basis einheitlicher, interoperabler und barrierefreier Systeme genutzt werden. Proprietäre Systeme können dazu führen, dass Verbraucher die Flexibilitätspotentiale des bidirektionalen Ladens nicht ausreichend nutzen. Es müssen Normen und Standards für die elektrische Sicherheit und Interoperabilität von Ladeeinrichtungen und Fahrzeugen, den Netzanschluss, die digitale Kommunikation sowie für Mess- und Steuerungsanwendungen geschaffen werden. Die in der Roadmap des Beirats der Nationalen Leitstelle Ladeinfrastruktur vorgestellten Standardisierungsvorschläge müssen umgesetzt werden, damit ein Hochlauf des bidirektionalen Ladens beginnen kann.

6 Handlungsempfehlungen

Derzeit ist die Sektorenkopplung nur vereinzelt lokal und in Pilotprojekten umgesetzt. Wenn sie im großen Maßstab zur technischen Realität werden soll, ist sie unmittelbar auf anerkannte Standards und Normen angewiesen, damit sowohl Akteure als auch Anlagen, Maschinen und Geräte effizient und unter Wahrung der Datensouveränität miteinander kommunizieren und Daten austauschen können. Die vorhandenen Standards der digitalen Sektorenkopplung haben aber noch nicht den notwendigen Ausbaustand und Reifegrad erreicht. Handlungsbedarfe zeichnen sich in drei Feldern ab: für die Datenräume, die Asset Administration Shell und die bereits vorhandene Normung. Daneben gibt es einige prinzipielle Anforderungen an die Standardisierung und Normung, um die digitale Sektorenkopplung umzusetzen (siehe Abbildung 8).

6.1 Grundprinzipien

Bei allen Standardisierungs- und Normungsarbeiten für die Digitalisierung der Sektorenkopplung müssen folgende Prinzipien beachtet werden, um die in dieser Studie vorgestellten Anwendungsszenarien umsetzen zu können:

Interoperabilität

Innerhalb der Energie- und der Anwendungssektoren, vor allem aber zwischen den Sektoren, muss Interoperabilität hergestellt werden.

Plug-and-play für Endgeräte

Auf Ebene der Endgeräte muss ein Plug-and-play hergestellt werden, damit Endkunden, Techniker und Handwerker in der Lage sind, die sie berührenden Komponenten der Sektorenkopplung ohne viel Aufwand zu installieren und zu betreiben.

Integration des Smart-Meter-Gateways

Das gesetzlich vorgeschriebene Smart-Meter-Gateway wird absehbar in den breiteren Roll-out kommen und muss nahtlos in die Standardisierung und Normung integriert werden.

Datensouveränität

Auf allen Ebenen der Sektorenkopplung, von der lokalen über die regionale bis hin zur überregionalen Anwendung, muss die Datensouveränität der Akteure gesichert sein. Das umfasst die Authentifizierung der Akteure, die Autorisierung ihrer Handlungen und die Informationssicherheit gegenüber unberechtigten Dritten. Für private und gewerbliche Anwender und Anwenderinnen muss der Schutz der persönlichen Daten gegeben sein, für Unternehmen der Schutz ihrer Betriebsgeheimnisse.

Berücksichtigung von Marktkommunikation und Rollendesign

Die bestehenden Regularien für Marktrollen und die Marktkommunikation müssen in den standardisierten und genormten Systemen der Sektorenkopplung abbildbar sein.

Kommunikation zwischen Netzbetrieb und Marktseite

Vor allem für das Szenario „Überregionale Optimierung“ muss es möglich sein, zwischen Netzbetrieb und Marktseite in begrenztem Maße und unter Einhaltung der regulatorischen Vorgaben Informationen auszutauschen, etwa Verbrauchsprognosen. Auch das muss in Standards und Normen abgebildet werden.

Internationalisierung

Das technische Management von nationalen Strom- und Gasnetzen geschieht in Abstimmung mit den europäischen Nachbarn. Alle Standards und Normen müssen daher mindestens auf europäischer Ebene abgestimmt werden.

6.2 Handlungsfeld Datenräume: Standardisierung und Normung enger verbinden

Datenräume gelten aktuell als ein Kernelement für die digitale Umsetzung der Sektorenkopplung. Das Geschehen wird stark durch zwei Konsortialstandards getrieben: IDS (International Data Spaces) für die Datenräume selbst und Gaia-X für Cloud-Systeme auf Basis europäischer Vorstellungen zur Datensouveränität. Das erfordert eine angepasste Vorgehensweise bei der etablierten Normung der Energienetze und den entsprechenden Fachverbänden:

Standardisierung und Normung enger verzahnen

Die laufenden Entwicklungen der Konsortialstandards Gaia-X und IDS sollten durch eine stärker begleitende Normung auf europäischer und internationaler Ebene begleitet werden. So lässt sich sicherstellen, dass beide Entwicklungen über den Kreis der Mitglieder in den Standardisierungskonsortien und der Partner in den laufenden Pilotprojekten hinaus an Beachtung und Verankerung in der Breite gewinnen. Eine proaktive Mitwirkung von auch in der Normung engagierten Fachverbänden wie dem VDE an den Standardisierungskonsortien und Pilotprojekten ist sinnvoll, um diese Verzahnung sicherzustellen.

Gaia-X und IDS mit DERA und SGAM abgleichen

Die Ansätze von Gaia-X und IDS sollten mit den Arbeiten der Data Management Working Group der BRIDGE zu einer Referenzarchitektur für den Datenaustausch in der Energiewirtschaft (DERA) abgeglichen werden, so wie in BRIDGE bereits begonnen. Nach Möglichkeit sollten dabei die Building-Blocks von OPEN DEI als Strukturierung verwendet werden. Damit wird sichergestellt,

dass die bestehenden bisher unabhängig voneinander entwickelten Referenzmodelle in IDS und Gaia-X auf der einen Seite und DERA auf der anderen Seite zusammengeführt werden. Über die vom Projekt OneNet bereits vorgenommene Abbildung von DERA auf das Smart Grid Architecture Model finden sich die Datenraum-Konzepte dann auch in diesem wichtigen Referenzmodell wieder.

6.3 Handlungsfeld Asset Administration Shell: In die Praxis bringen

Als ein weiterer Basisbaustein der digitalen Sektorenkopplung gilt der Konsortialstandard Asset Administration Shell (AAS), der aus der Initiative Industrie 4.0 heraus entstanden ist und im Gegensatz zu IDS und Gaia-X über eine abgestimmte Parallelarbeit mit der IEC schon wesentlich stärker mit der Normung verzahnt ist. Trotzdem gibt es auch hier noch Handlungsbedarfe:

AAS und OPC UA aufeinander abstimmen

Die Konsortialstandards bzw. Normen zur AAS und OPC UA sollten in den weiteren Standardisierungs- und Normungsarbeiten aufeinander abgestimmt werden, um Überlappungen zu vermeiden. Das Diskussionspapier von IDTA, OPC Foundation und AutomationML sollte dabei als Ausgangspunkt der gegenseitigen Abgrenzung genutzt werden. Damit wird vermieden, dass wahlweise AAS oder OPC UA bei der Erstellung von Informationsmodellen und dem Zugriff auf die operative Maschinensteuerung verwendet werden.

Teilmodelle für die Energiewirtschaft erstellen

Um die AAS im Betrieb von Energiesystemen zu verankern, müssen entsprechende Teilmodelle erstellt und erprobt werden. Auch wenn dies keine originäre Aufgabe der Normung ist, sollten sich Fachverbände der Energiewirtschaft wie der VDE in diesem Bereich engagieren, um die Verbreitung der AAS zu fördern.

Grundprinzipien und Handlungsempfehlungen für die Standardisierung und Normung der digitalen Sektorenkopplung

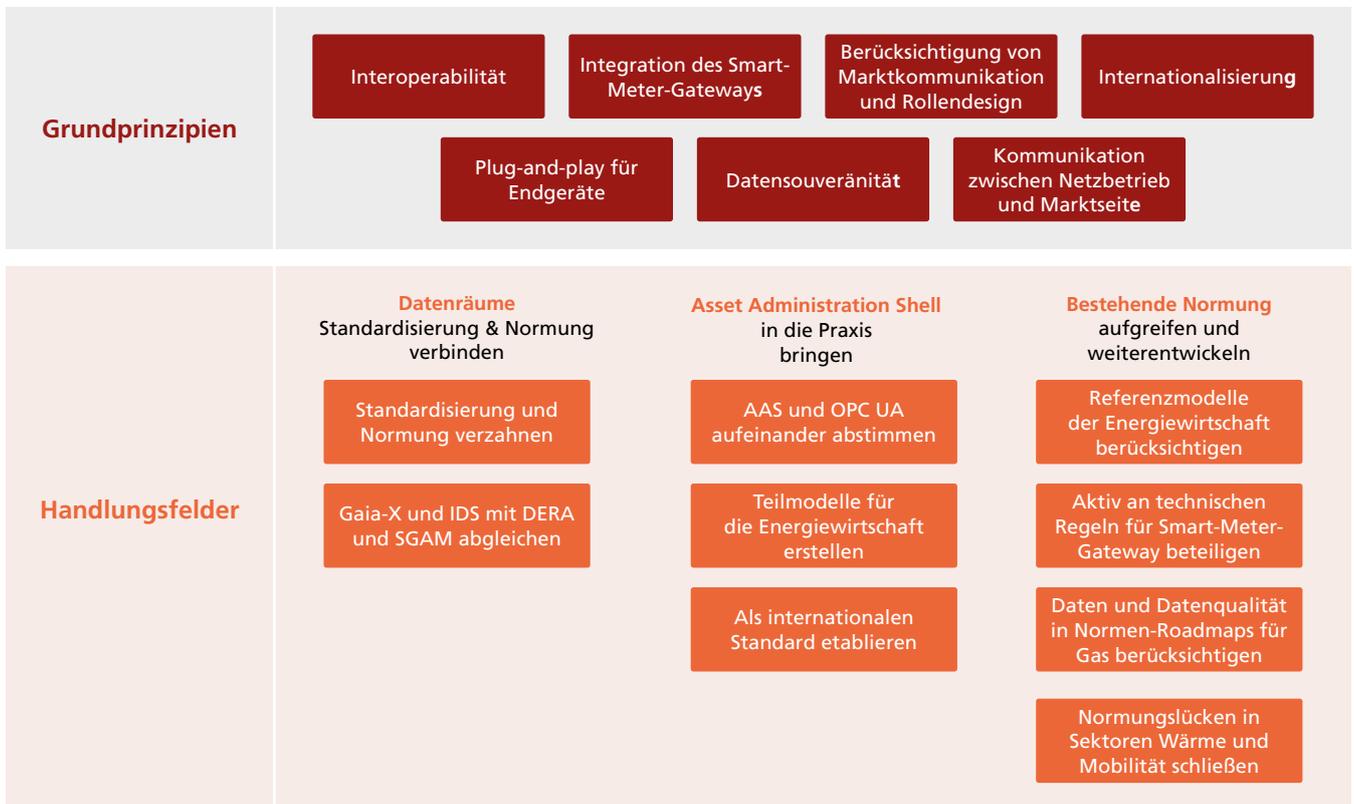


Abbildung 8: Die digitale Sektorenkopplung: Grundprinzipien und Handlungsempfehlungen für die Standardisierung und Normung der digitalen Sektorenkopplung

Als internationalen Standard etablieren

Die AAS gilt vielfach noch als ein von deutschen Akteuren geprägter Konsortialstandard. Dem lässt sich durch eine stärkere Beteiligung von europäischen und internationalen Partnern am Standardisierungskonsortium bzw. der Normung in der IEC entgegenwirken.

**6.4 Handlungsfeld bestehende Normung:
Berücksichtigen und weiterentwickeln**

Die aktuellen Standardisierungsaktivitäten zu Datenräumen und der Asset Administration Shell setzen auf einem breiten und etablierten Fundament der Normung zur Digitalisierung der Energienetze für Strom, Gas und Wärme auf. Trotzdem gibt es auch hier noch Handlungsbedarfe:

Etablierte Referenzmodelle berücksichtigen

Mit dem Smart Grid Architecture Model (SGAM) der Normungsorganisationen CEN/CENELEC und ETSI, der European (energy) Data Exchange Reference Architecture (DERA) der BRIDGE Initiative von europäischen FuE-Projekten, der Industrial Internet Reference Architecture (IIRA) des US-Konsortiums IIC (Industrial Internet Consortium) und der Smart Appliances REference Ontology des ETSI gibt es mehrere etablierte Referenzmodelle bzw. Referenzarchitekturmodelle. Die Planung der Normung für die digitale Sektorenkopplung muss sich an diesen Modellen orientieren.

Normungsorganisationen der Energiewirtschaft an der Standardisierung des Smart-Meter-Gateways beteiligen

Das Smart-Meter-Gateway ist für die Sektorenkopplung eine zentrale Komponente. Für seine tatsächliche Verankerung in der Energiewirtschaft ist es aber unerlässlich, dass sich etablierte Normungsorganisationen der Energiewirtschaft wie die DKE in die vom BSI (Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik) verantwortete Standardisierung aktiv einbringen und dafür sorgen, dass der Smart-Meter-Roll-out nicht durch die technischen Regeln des BSI verzögert wird.

Daten und Datenqualität in Normungsroadmaps der Gaswirtschaft berücksichtigen

In den Normungsroadmaps der Gaswirtschaft für Energiespeicher und Wasserstofftechnologien müssen die Anforderungen an die notwendigen Daten für das Gasnetz und die dazugehörige Datenqualität definiert werden.

Grundlegende Normungslücken in der zentralen Wärmeversorgung schließen

Für die Fernwärme müssen noch grundlegende Standards und Normen für Datenformate, Bezeichnungen von Komponenten und Layout-Beschreibungen erarbeitet werden. Nur so kann ein offenes Ökosystem mit interoperablen Lösungen entstehen.

Normungslücken in der dezentralen Wärmeversorgung und bei der Mobilität schließen

Für Wärmepumpen, Ladeeinrichtungen und elektrische Fahrzeuge sollten einheitliche Standards für die digitale Kommunikation sowie für die Mess- und Steuerungseinrichtungen erarbeitet werden. Nur so kann dieses große Flexibilitätspotential beim Zusammenspiel von Wärmepumpe und bidirektionalem Laden gehoben werden.

7 Literaturverzeichnis

- Acatech; Leopoldina; Akademienunion (2021): Resilienz digitalisierter Energiesysteme. Wie können Blackout-Risiken begrenzt werden? München, Halle (Saale), Mainz (Schriftenreihe zur wissenschaftsbasierten Politikberatung). Online verfügbar unter <https://www.acatech.de/publikation/rde/>, zuletzt geprüft am 08.07.2024.
- Affinis (2024): Mobile Zählerdatenerfassung mit Metrify. Online verfügbar unter <https://www.affinis.de/metrify/>, zuletzt geprüft am 08.07.2024.
- Ahle, Ulrich; Bastiaansen, Harrie; Bengtsson, Kjell; Caballero, Mallku; Castellvi, Silvia; Dognini, Alberto et al. (2021): Design Principles for Data Spaces. Position Paper. Hg. v. Lars Nagel und Douwe Lycklama. OPEN DEI. Dortmund (Version 1.0).
- Anyline (2024): Anyline Mobile Scanning Technology. Online verfügbar unter <https://anyline.com/technology>, zuletzt geprüft am 08.07.2024.
- Bauer, Martin; Cirillo, Flavio; Fürst, Jonathan; Solmaz, Gürkan; Kovacs, Ernö (2021): Urban Digital Twins – A FIWARE-based model. In: *Automatisierungstechnik* 69 (12), S. 1106–1115. DOI: 10.1515/auto-2021-0083.
- Belyaev, Alexander; Block, Christian; Boss, Birgit; Diedrich, Christian; Juhel, Philippe; Hartmann, Wilfried et al. (2021): Modelling the Semantics of Data of an Asset Administration Shell with Elements of ECLASS. Whitepaper. Plattform Industrie 4.0; EC-LASS. Online verfügbar unter https://www.plattform-i40.de/IP/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/Whitepaper_Plattform-Eclass.html, zuletzt geprüft am 08.07.2024.
- Bergsträßer, Jonathan; Berkhout, Volker; Klaiber, Stefan; Klobasa, Marian; Kohrs, Robert; Linnartz, Philipp et al. (2024): Fortschrittsbericht zur Digitalisierung des Energiesystems. Fraunhofer CINES. Berlin. Online verfügbar unter https://www.cines.fraunhofer.de/content/dam/zv/cines/dokumente/2024_CINES%20Digitalisierungs-Monitoringbericht.pdf, zuletzt geprüft am 08.07.2024.
- Bergsträßer, Jonathan; Gkoktsis, George; Hirsch, Tilo; Klaiber, Stefan; Klobasa, Marian; Kohrs, Robert et al. (2022): Digitalisierung des Energiesystems – 14 Thesen zum Erfolg. Fraunhofer CINES. Berlin. Online verfügbar unter https://www.cines.fraunhofer.de/content/dam/zv/cines/dokumente/publikationen/digitalisierung/CINES%20Thesenstudie%20Digitalisierung_DE.pdf, zuletzt geprüft am 08.07.2024.
- BMWK (Hg.) (2020): Verwaltungsschale in der Praxis. Wie definiere ich Teilmodelle, beispielhafte Teilmodelle und Interaktion zwischen Verwaltungsschalen. Version 1.0. Plattform Industrie 4.0. Berlin. Online verfügbar unter https://industrialdigitalwin.org/wp-content/uploads/2021/09/08_verwaltungsschale_in_der_praxis_de_2020.pdf, zuletzt geprüft am 18.03.2024.
- BMWK (2023): Förderkonzept zur Unterstützung der Industrieinitiative „Manufacturing-X“. Online verfügbar unter <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/F/foerderkonzept-zur-unterstuetzung-der-industrieinitiative-manufacturing-x.html>, zuletzt geprüft am 08.07.2024.
- BMWK (2024a): Förderprogramm „Manufacturing-X“. Die Unterstützung des Datenökosystems für eine intelligent vernetzte Industrie. Online verfügbar unter <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Dossier/manufacturing-x>, zuletzt geprüft am 08.07.2024.
- BMWK (2024b): Smart Meter: Intelligente Messsysteme für die Energiewende. Online verfügbar unter <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Textsammlungen/Energie/smart-meter.html>, zuletzt geprüft am 08.07.2024.
- Bundesnetzagentur (2017): Flexibilität im Stromversorgungssystem. Bestandsaufnahme, Hemmnisse und Ansätze zur verbesserten Erschließung von Flexibilität. Bonn. Online verfügbar unter https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Energie/Unternehmen_Institutionen/NetzentwicklungUndSmartGrid/BNetzA_Flexibilitaetspapier.pdf?__blob=publicationFile&v=1, zuletzt geprüft am 08.07.2024.
- Bundesregierung (2023): Intelligente Strommessgeräte. Neustart für die digitale Energiewende. Online verfügbar unter <https://www.bundesregierung.de/breg-de/schwerpunkte/klimaschutz/digitale-energiewende-2157184>, zuletzt geprüft am 08.07.2024.
- Catena-X Automotive Network (2023): Catena-X Operating Model. Released Version 2.1. Berlin. Online verfügbar unter https://Catena-X.net/fileadmin/_online_media_/CX_Operating_Modelv2.1_final.pdf, zuletzt geprüft am 08.07.2024.
- Catena-X Automotive Network (22.02.2023): Gewinner des RFT ist Cofinity-X. Online verfügbar unter <https://Catena-X.net/de/aktuelles-termine/news-display/gewinner-des-rft-ist-cofinity-x>, zuletzt geprüft am 08.07.2024.

- Catena-X Automotive Network (16.10.2023): Radikale Zusammenarbeit funktioniert! Online verfügbar unter <https://Catena-X.net/de/aktuelles-terminer/news-display/go-live>, zuletzt geprüft am 08.07.2024.
- Catena-X Automotive Network (2024): List of Members. Online verfügbar unter https://Catena-X.net/fileadmin/_online_media_/231012_1_CAT_007_Mitgliederliste_DE.pdf, zuletzt geprüft am 08.07.2024.
- CEN; CENELEC (16.01.2024): CEN Workshop on Trusted Data Transaction. Online verfügbar unter <https://www.cenelec.eu/news-and-events/news/2024/workshop/2024-01-16-data-transactions/>, zuletzt geprüft am 08.07.2024.
- Couto, J. Mário; Kotsalos, Konstantinos; Kukk, Kalle; Monti, Antonello; Valiño, Javier (2023a): European (energy) data exchange reference architecture 3.0. Europ. Kommission. Brüssel. Online verfügbar unter <https://data.europa.eu/doi/10.2833/815043>, zuletzt geprüft am 08.07.2024.
- Couto, J. Mário; Kotsalos, Konstantinos; Kukk, Kalle; Monti, Antonello; Valiño, Javier (2023b): European (energy) data exchange reference architecture 3.0. Hg. v. Europ. Kommission. Bridge, Data Management Working Group. Brüssel. Online verfügbar unter <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/dc073847-4d35-11ee-9220-01aa75ed71a1/language-en>, zuletzt geprüft am 08.02.2024.
- Cußmann, Ilka; Schachler, Birgit (2023): Einführung in das Forschungsprojekt eGon und die zentralen Ergebnisse. Abschlussworkshop im Rahmen des Verbundvorhabens eGon, 02.06.2023. Online verfügbar unter https://ego-n.org/presentations/2023_eGon_Abschluss-WS_Projekteinfuehrung.pdf, zuletzt geprüft am 08.07.2024.
- deltaDAO (2024): Pontus-X. Streamlined interoperability across digital service ecosystems. Online verfügbar unter <https://portal.minimal-Gaia-X.eu/>, zuletzt geprüft am 08.07.2024.
- Dena (2024): Was sind dynamische Stromtarife? Preismodelle, Zielwirkungen und Umsetzungsfragen zeitvariabler bzw. dynamischer Energiepreise und Netzentgelte in der aktuellen Debatte. Gutachten der Consentec GmbH inkl. Einordnung der dena. Berlin. Online verfügbar unter https://www.dena.de/fileadmin/dena/Publikationen/PDFs/2024/Was_sind_dynamische_Stromtarife.pdf, zuletzt geprüft am 08.07.2024.
- Dickopf, Thomas; Forte, Sven; Weber, Sebastian; Stürmer, Christian; Muggeo, Christian (2023): Application of the Asset Administration Shell in the context of Engineering Data Management Systems. In: IEEE (Hg.): 28th International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA), 12.-15.10.2023. Sinaia, Rumänien.
- Digital4Grids (2023): Landscape report on energy and flexibility data models and interoperability across the sectors of energy, mobility and buildings. Online verfügbar unter <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/landscape-report-energy-and-flexibility-data-models-and-interoperability-across-sectors-energy>, zuletzt geprüft am 08.07.2024.
- DIN (2024): DIN-Normenausschuss Gastechnik (NAGas). Jahresbericht 2023. Online verfügbar unter <https://www.din.de/resource/blob/252600/d820a92385348fc2a4c8098e743b2556/nagas-jahresbericht-2023-data.pdf>, zuletzt geprüft am 08.07.2024.
- DIN; DKE (2023a): Deutsche Normungsroadmap Industrie 4.0. Version 5. Berlin, Frankfurt am Main. Online verfügbar unter <https://www.din.de/de/forschung-und-innovation/themen/industrie4-0/roadmap-industrie40-62178>, zuletzt geprüft am 08.07.2024.
- DIN; DKE; DVGW; NWB; VDA; VDE et al. (2024): Normungsroadmap Wasserstofftechnologien. Online verfügbar unter <https://www.din.de/de/forschung-und-innovation/themen/wasserstoff/normungsroadmap-wasserstoff>, zuletzt aktualisiert am 2024, zuletzt geprüft am 08.07.2024.
- DIN; DKE; DVGW; VDI (2021): Deutsche Normungsroadmap Energiespeicher. Version 2. Berlin, Frankfurt am Main, Düsseldorf. Online verfügbar unter <https://www.dke.de/de/arbeitsfelder/energy/normungsroadmap-energiespeicher>, zuletzt geprüft am 08.07.2024.
- DIN/DKE (2023b): Normungsroadmap Industrie 4.0. <https://www.din.de/resource/blob/907746/be4b76ec37bc6b18b-46dd15082865e92/nrm-industrie-4-0-version-5-2023-final-web-data.pdf>.
- DKE (2022): Verwaltungsschale als Rückgrat der Industrie 4.0 und des Digitalen Zwillings. Online verfügbar unter <https://www.dke.de/de/arbeitsfelder/industry/verwaltungsschale>, zuletzt geprüft am 08.07.2024.

- Drath, Rainer; Mosch, Christian; Hoppe, Stefan; Faath, Andreas; Barnstedt, Erich; Fiebiger, Bernd; Schlögl, Wolfgang (2023): Diskussionspapier – Interoperabilität mit der Verwaltungsschale, OPC UA und AutomationML. Zielbild und Handlungsempfehlungen für industrielle Interoperabilität. Online verfügbar unter <https://industrialdigitaltwin.org/wp-content/uploads/2023/04/Diskussionspapier-Zielbild-und-Handlungsempfehlungen-fuer-industrielle-Interoperabilitaet-5.3.pdf>, zuletzt geprüft am 08.07.2024.
- Draxler, Dieter (2017): Architekturentwicklung im Smart Grid. Josef Ressel Center for User-Centric Privacy, Security and Control. Salzburg (Technical Report, 017-02). Online verfügbar unter <https://www.en-trust.at/papers/Draxler17a.pdf>, zuletzt geprüft am 08.07.2024.
- DVGW (2022): Kommunikationsadapter zur Anbindung von Messeinrichtungen an die LMN-Schnittstellen des Smart Meter Gateways. Bonn (DVGW G 694:2022-06).
- ECLASS (2023): Leitsätze und Grundlagen des ECLASS e.V. zur grundlegenden Ausrichtung und für die Weiterentwicklung des ECLASS Standards. Version 5.0. Köln. Online verfügbar unter https://eclass.eu/fileadmin/Redaktion/pdf-Dateien/Wiki/Guidelines_and_basic_principles/Leitsaetze_und_Grundprinzipien_EC-LASS.pdf, zuletzt geprüft am 08.07.2024.
- Eclipse Foundation (2023): Eclipse Tractus-X. Online verfügbar unter <https://projects.eclipse.org/projects/automotive/tractusx>, zuletzt geprüft am 08.07.2024.
- Eclipse Foundation (2024): Eclipse Dataspace Components. Online verfügbar unter <https://projects.eclipse.org/projects/technology.edc>, zuletzt geprüft am 08.07.2024.
- eco (18.02.2022): Gaia-X Federation Services (GXFS): Startschuss für Implementierungspartner ist gefallen. Köln. Online verfügbar unter <https://www.eco.de/presse/Gaia-X-federation-services-gxfs-startschuss-fuer-implementierungspartner-ist-gefallen/>, zuletzt geprüft am 08.07.2024.
- eco (15.08.2023): Gaia-X Federation Services Werkzeugkiste wechselt unter die Verwaltung der Eclipse Foundation. Online verfügbar unter <https://www.gxfs.eu/de/wechsel-zu-eclipse-foundation/>, zuletzt geprüft am 08.07.2024.
- eco (02.11.2023): Gewerke der zweiten GXFS Ausschreibungsrunde vergeben. Köln. Online verfügbar unter <https://www.gxfs.eu/de/gewerke-zweiten-ausschreibung-vergeben/>, zuletzt geprüft am 08.07.2024.
- Eicke, Anselm; Hirth, Lion; Mühlenpfordt, Jonathan (2024): Mehrwert dezentraler Flexibilität. Oder: Was kostet die verschleppte Flexibilisierung von Wärmepumpen, Elektroautos und Heimspeichern? Im Auftrag des Verbands der Elektro- und Digitalindustrie (ZVEI e.V.). Neon. Berlin. Online verfügbar unter <https://neon.energy/mehrwert-flex/>, zuletzt geprüft am 08.07.2024.
- Esri: Introduction to District Energy Data Management. Online verfügbar unter <https://doc.arcgis.com/en/arcgis-solutions/11.2/reference/introduction-to-district-energy-data-management.htm>, zuletzt geprüft am 08.07.2024.
- ETSI (2024): The Smart Applications REference Ontology (SAREF). Online verfügbar unter <https://saref.etsi.org/>, zuletzt aktualisiert am 2024, zuletzt geprüft am 08.07.2024.
- Europ. Kommission (2020): A European strategy for data. COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT, THE COUNCIL, THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE AND THE COMMITTEE OF THE REGIONS. Brüssel (COM(2020) 66 final). Online verfügbar unter <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52020DC0066>, zuletzt geprüft am 08.07.2024.
- Europ. Kommission (2022): Preparatory work in view of the procurement of an open source cloud-to-edge middleware platform. Architecture Vision Document. V4.00. Online verfügbar unter <https://ec.europa.eu/newsroom/dae/redirection/document/86241>, zuletzt geprüft am 08.07.2024.
- Europ. Kommission (2023): SIMPL: Streamlining cloud-to-edge federations for major EU data spaces. Online verfügbar unter <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/simpl>, zuletzt aktualisiert am 14.12.2023, zuletzt geprüft am 08.07.2024.
- Faller, Sebastian; Schütz, Johann; Bogensperger, Alexander; Us-lar, Mathias (2020): Anwendungshilfe SGAM: Smart Grid Use Cases modellieren. In: *Energiewirtschaftliche Tagesfragen* 70 (5), S. 34–37.
- FIWARE; iSHARE; FundingBox (2023): B2B Data Sharing Playbook – the i4Trust approach to Data Sharing. Online verfügbar unter https://i4trust.org/wp-content/uploads/i4Trust_DataSharingPlaybook.pdf, zuletzt geprüft am 08.07.2024.
- Franklin, Michael; Halevy, Alon; Maier, David (2005): From Databases to Dataspaces: A New Abstraction for Information Management. In: *ACM Sigmod Record* 34 (4), S. 27–33.

- Gaia-X (o. J.): GXDCH. GXDCH (Gaia-X Digital Clearing House) – the one-stop place to go and get verified against the Gaia-X rules to obtain compliance in an automated way. Online verfügbar unter <https://Gaia-X.eu/gxdch/>, zuletzt geprüft am 08.07.2024.
- Gaia-X (2022): Gaia-X Trust Framework. Release 22.10. Online verfügbar unter <https://docs.Gaia-X.eu/policy-rules-committee/trust-framework/22.10>, zuletzt geprüft am 08.07.2024.
- Gaia-X (2023): Gaia-X Policy Rules Conformity Document. Release 23.10. Online verfügbar unter <https://docs.Gaia-X.eu/policy-rules-committee/policy-rules-conformity-document/23.10/>, zuletzt geprüft am 08.07.2024.
- Gaia-X (20.03.2023): Market-X Conference & Expo: Gaia-X Digital Clearing House (GXDC) a success for the industry. Online verfügbar unter <https://Gaia-X.eu/news-press/market-x-conference-expo-Gaia-X-digital-clearing-house-gxdch-a-success-for-the-industry/>, zuletzt geprüft am 08.07.2024.
- Giussani, Giulia; Steinbuss, Sebastian (2023): Data Connector Report. IDSA. Dortmund. Online verfügbar unter https://internationaldataspaces.org/wp-content/uploads/dlm_uploads/IDSA-Data-Connector-Report-7_May-2023-3.pdf, zuletzt geprüft am 08.07.2024.
- Gronlier, Pierre; Hierro, Juanjo; Steinbuss, Sebastian; Böge, Gernot; Cornelisse, Erik; Dalmollen, Simon et al. (2023): Technical Convergence. Discussion Document. Version 2.0. Data Spaces Business Alliance. Online verfügbar unter https://data-spaces-business-alliance.eu/wp-content/uploads/dlm_uploads/Data-Spaces-Business-Alliance-Technical-Convergence-V2.pdf, zuletzt geprüft am 08.07.2024.
- Härter, Hendrik (2017): Standard-Lücke zwischen Smart Grid und Smart Home geschlossen. Elektronikpraxis. Online verfügbar unter <https://www.elektronikpraxis.de/standard-luecke-zwischen-smart-grid-und-smart-home-geschlossen-a-7d5cf46d6264de7ab1e330a5aa9adf76/?cft=rdt>, zuletzt aktualisiert am 17.10.2017, zuletzt geprüft am 08.07.2024.
- Heeß, Paula; Körner, Marc-Fabian; Strüker, Jens; Valett, Lynne; Wolf, Linda; Pulvermüller, Benedikt; Richard, Philipp (2024): Grundlagen und Bedeutung von Datenräumen für die Energiewirtschaft. dena-ENDA: Pilotierung eines Datenraumes am Beispiel einer Monitoring Umgebung für Redispatch 3.0. Hg. v. Dena. Berlin. Online verfügbar unter https://www.dena.de/fileadmin/dena/Publikationen/PDFs/2024/Grundlagen_und_Bedeutung_von_Datenraeumen_fuer_die_Energiewirtschaft.pdf, zuletzt geprüft am 08.07.2024.
- Hierro, Juan Jose (2021a): FIWARE for Digital Twins. Version 1.0. FIWARE. Berlin. Online verfügbar unter https://www.fiware.org/wp-content/uploads/FF_PositionPaper_FIWARE4DigitalTwins.pdf, zuletzt geprüft am 08.07.2024.
- Hierro, Juanjo (2021b): FIWARE for Data Spaces. Position Paper. Version 1.0. FIWARE. Online verfügbar unter <https://www.fiware.org/marketing-material/fiware-for-data-spaces/>, zuletzt geprüft am 08.07.2024.
- Hofer, Steffen (2023): energy data-X. Energy data space for data exchange in Gaia-X. TenneT. Online verfügbar unter https://www.energydata-x.eu/wp-content/uploads/2023/10/07_Hofer_TenneT_2023-10-18_energy_data-X-Kick-off-final.pdf, zuletzt geprüft am 08.07.2024.
- IDSA (2023a): IDSA Rulebook. Online verfügbar unter <https://docs.internationaldataspaces.org/ids-knowledgebase/v/idsa-rulebook/front-matter/readme>, zuletzt geprüft am 08.07.2024.
- IDSA (2023b): IDS RAM 4. Online verfügbar unter https://github.com/International-Data-Spaces-Association/IDS-RAM_4_0/tree/main, zuletzt aktualisiert am 03.05.2023, zuletzt geprüft am 08.07.2024.
- IDSA (2024a): Advancing interoperability: the Dataspace Protocol. Online verfügbar unter <https://internationaldataspaces.org/offers/dataspace-protocol-overview/>, zuletzt geprüft am 08.07.2024.
- IDSA (30.01.2024): IDSA drives Dataspace Protocol to release 1.0 in Eclipse governance framework. Online verfügbar unter https://internationaldataspaces.org/wp-content/uploads/dlm_uploads/IDSA-press-release-IDSA-drives-Dataspace-Protocol-to-release-1.0-in-Eclipse-governance-framework.pdf, zuletzt geprüft am 08.07.2024.
- IDSA (2024b): Dataspace Protocol 2024-1. Online verfügbar unter <https://docs.internationaldataspaces.org/ids-knowledgebase/v/dataspace-protocol/overview/readme>, zuletzt aktualisiert am 05.03.2024, zuletzt geprüft am 08.07.2024.
- IDTA (2023a): DPP4.0 – The Digital Product Passport for Industry 4.0. Online verfügbar unter <https://dpp40.eu/>, zuletzt aktualisiert am 2023, zuletzt geprüft am 08.07.2024.
- IDTA (2023b): Specification of the Asset Administration Shell. Part 1: Metamodel. Frankfurt am Main (IDTA Number: 01001-3-0). Online verfügbar unter https://industrialdigitaltwin.org/wp-content/uploads/2023/06/IDTA-01001-3-0_SpecificationAssetAdministrationShell_Part1_Metamodel.pdf, zuletzt geprüft am 08.07.2024.

- IDTA (2024a): Use Cases – der Digitale Zwilling in der Praxis. Online verfügbar unter <https://industrialdigitaltwin.org/use-cases>, zuletzt aktualisiert am 2024, zuletzt geprüft am 08.07.2024.
- IDTA (2024b): Who is who – Mitglieder der IDTA. Online verfügbar unter <https://industrialdigitaltwin.org/ueber-idta/mitglieder-idta>, zuletzt aktualisiert am 08.07.2024.
- IEC (2024a): IEC 61360-4 – IEC/SC 3D – Common Data Dictionary (CDD – V2.0018.0002). Online verfügbar unter <https://cdd.iec.ch/>, zuletzt aktualisiert am 2024, zuletzt geprüft am 08.07.2024.
- IEC (2024b): IEC System Committee Smart Energy. <https://syc-se.iec.ch>.
- Ilo, Albana; Oudalov, Alexander; Iliceto, Antonio; Mataczynska, Ewa; Del Grosso, Filippo; Ziegler, Jan Okko et al. (2021): Smart Sector Integration, towards an EU System of Systems. Building blocks, enablers, architectures, regulatory barriers, economic assessment. Position Paper. Hg. v. ETIP SNET. Online verfügbar unter <https://smart-networks-energy-transition.ec.europa.eu/sites/default/files/publications/ETIP-SNET-PP-Sector-Coupling-towards-an-EU-System-of-Systems-.pdf>, zuletzt geprüft am 05.06.2024.
- Industrial Internet Consortium (2024): Liasons. Online verfügbar unter <https://www.iiconsortium.org/liasons/>, zuletzt aktualisiert am 2024, zuletzt geprüft am 03.05.2024.
- International Building Performance Simulation Association (2024): Modelica IBPSA library. Online verfügbar unter <https://github.com/ibpsa/modelica-ibpsa>, zuletzt aktualisiert am 16.04.2024, zuletzt geprüft am 08.07.2024.
- ISO (2023): ISO/IEC AWI 20151. Information technology – Cloud computing and distributed platforms – Dataspace concepts and characteristics. Under development. Online verfügbar unter <https://www.iso.org/standard/86589.html>, zuletzt geprüft am 08.07.2024.
- Jacoby, Michael; Baumann, Michael; Bischoff, Tino; Mees, Hans; Müller, Jens; Stojanovic, Ljiljana; Volz, Friedrich (2023): Open-Source Implementations of the Reactive Asset Administration Shell: A Survey. In: *Sensors* 23. DOI: 10.3390/s23115229.
- Jacoby, Michael; Usländer, Thomas (2020): Digital Twin and Internet of Things – Current Standards Landscape. In: *Applied Sciences* 10 (18), Artikel 6519. DOI: 10.3390/app10186519.
- Komarnicki, Przemyslaw; Kranhold, Michael; Styczynski, Zbigniew A. (2021): Sektorenkopplung – Energetisch-nachhaltige Wirtschaft der Zukunft. Grundlagen, Modell und Planungsbeispiel eines Gesamtenergiesystems (GES). Wiesbaden: Springer Fachmedien.
- Kukk, Kalle; Bosco, Ferdinando; Lacerda, Madalena; Sakas, Vasilis; Kapetanios, Apostolos; Kotsalos, Konstantinos (2023): Cross stakeholder Data Governance for Energy Data Exchange. D6.2. OneNet. Online verfügbar unter <https://www.onenet-project.eu/wp-content/uploads/2023/04/D6.2-OneNet-v1.0.pdf>, zuletzt geprüft am 08.07.2024.
- Mester, Christian (2002): IEC-I 107-Stromzähler-Interface. Zum Auslesen elektronischer Verbrauchszähler. In: *Elektor* 39 (1). Online verfügbar unter <https://www.elektormagazine.de/magazine/elektor-200201/1315>, zuletzt geprüft am 08.07.2024.
- Microsoft (2021): Digital Twins Definition Language (DTDL) ontology for Energy Grid. Online verfügbar unter <https://github.com/Azure/opensdigitaltwins-energygrid?tab=readme-ov-file#readme>, zuletzt aktualisiert am 2021, zuletzt geprüft am 08.07.2024.
- Monti, Antonello; Schmitt, Laurent; Dognini, Alberto; Bessa, Ricardo; Boskov-Kovacs, Elena; Hartner, Georg et al. (2023): Energy Data Space. Policy Paper. ETIP SNET. European Technology and Innovation Platform Smart Networks for Energy Transition. Hg. v. Europ. Kommission. Luxemburg.
- Moser, Albert; Zdrallek, Markus; Krause, Harmut; Graf, Frank (2014): Nutzen von Smart-Grid-Konzepten unter Berücksichtigung der Power-to-Gas-Technologie. DVGW. Bonn. Online verfügbar unter <https://www.dvgw.de/medien/dvgw/forschung/berichte/g201407.pdf>, zuletzt geprüft am 08.07.2024.
- Munzel, Benjamin; Reiser, Marco; Steinbacher, Karoline (2022): Flexibilitätsoptionen und Sektorkopplung. Synthesebericht 1. Ergebnissynthese des SINTEG-Förderprogramms. Guidehouse Germany. Online verfügbar unter https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Sinteg/synthesebericht-1-flexibilitatspotenziale-und-sektorkopplung.pdf?__blob=publicationFile&v=6, zuletzt geprüft am 08.07.2024.
- Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (2024): Positionspapier Bidirektionales Laden diskriminierungsfrei ermöglichen. Handlungsempfehlungen des Beirats der Nationalen Leitstelle Ladeinfrastruktur zur Umsetzung der Maßnahme 47 des Masterplans Ladeinfrastruktur II. Berlin. Online verfügbar unter <https://www.electrive.net/2024/03/12/nationale-leitstelle-praesentiert-roadmap-fuer-bidirektionales-laden/>, zuletzt geprüft am 08.07.2024.

- Otto, Boris; Rubina, Alina; Eitel, Andreas; Teuscher, Andreas; Schleimer, Anna Maria; Lange, Christoph et al. (2021): Gaia-X and IDS. Position Paper. Version 1.0. IDSA. Online verfügbar unter https://internationaldataspaces.org/wp-content/uploads/dlm_uploads/IDSA-Position-Paper-Gaia-X-and-IDS.pdf, zuletzt geprüft am 08.07.2024.
- Otto, Boris; Seidelmann, Joachim; Schmelting, Jürgen; Sauer, Olaf (2023): Vorstudie Datenraum Manufacturing-X. Architektur, Basisdienste und Organisation unter Berücksichtigung der Spezifika der ausrüstenden Industrie. Fraunhofer IOSB; Fraunhofer IPA, Fraunhofer ISST, VDMA; ZVEI. Karlsruhe, Stuttgart: Dortmund, Frankfurt am Main. Online verfügbar unter https://www.isst.fraunhofer.de/content/dam/isst/publikationen/industrial-manufacturing/159705_Brosch_Manufacturing-X_de.pdf, zuletzt geprüft am 08.07.2024.
- Panda, Deepak Kumar; Das Saptarshi (2021): Smart grid architecture model for control, optimization and data analytics of future power networks with more renewable energy. In: *Journal of Cleaner Production* 301 (2), Artikel 126877.
- Person, Christian; Schütrumpf, Moritz (2023): Das Projekt Gaia-X. Next Generation einer föderierten Dateninfrastruktur. Version 2.0. Zentrum verantwortungsbewusste Digitalisierung. Darmstadt. Online verfügbar unter https://zevedi.de/wp-content/uploads/2023/03/ZEVEDI_Handreichung-Gaia-X_V2.0.pdf, zuletzt geprüft am 08.07.2024.
- Pitkänen, Olli; Luoma-Kyyny, Juhani (2022): Rulebook for a Fair Data Economy. Sitra. Online verfügbar unter <https://www.sitra.fi/en/publications/rulebook-for-a-fair-data-economy/>, zuletzt geprüft am 08.07.2024.
- Poikola, Antti; Laszkowic, P. J.; Takanen, Ville; Toivonen, Teemu (2023): The Technology Landscape of Data Spaces. Working Paper. Sitra. Helsinki. Online verfügbar unter <https://media.sitra.fi/app/uploads/2023/10/sitra-technology-landscape-of-data-spaces.pdf>, zuletzt geprüft am 08.07.2024.
- PTB: Anforderungen an elektronische und softwaregesteuerte Messgeräte und Zusatzeinrichtungen für Elektrizität, Gas, Wasser und Wärme (PTB-A 50.7:2002-4). Online verfügbar unter https://www.ptb.de/cms/fileadmin/internet/fachabteilungen/abteilung_2/2.3_elektrische_energiemesstechnik/2.34/download_234/ptb-a50_7.pdf, zuletzt geprüft am 08.07.2024.
- pv magazine (2024): Großwärmepumpe in Stuttgart-Münster offiziell in Betrieb: Klimaneutrale Fernwärmeerzeugung für 10.000 Haushalte. pv magazine. Online verfügbar unter <https://www.pv-magazine.de/unternehmensmeldungen/grosswaermepumpe-in-stuttgart-muenster-offiziell-in-betrieb-klimaneutrale-fernwaermeerzeugung-fuer-10-000-haushalte/>, zuletzt aktualisiert am 08.04.2024, zuletzt geprüft am 08.07.2024.
- Ruediger, Fritz; Riestler, Michael; Dunke, Ricardo (2024): The Asset Administration Shell (AAS) and common misunderstandings. Hg. v. Lucas Wolf und Amika Hättig. Open Industry 4.0 Alliance. Reinach. Online verfügbar unter https://openindustry4.com/fileadmin/Dateien/Downloads/The_Asset_Administration_Shell__AAS__and_common_misunderstandings.pdf, zuletzt geprüft am 08.07.2024.
- Schmidt, Carlos; Volz, Friedrich; Stojanovic, Ljiljana; Sutschet, Gerhard (2023): Increasing Interoperability between Digital Twin Standards and Specifications: Transformation of DTDL to AAS. In: *Sensors* 23 (18), Artikel 7742. DOI: 10.3390/s23187742.
- Schmidt, Dietrich (Hg.) (2022): Guidebook for the Digitalisation of District Heating. Transforming Heat Networks for a Sustainable Future. Final Report of DHC Annex TS4. AGFW-Projektgesellschaft. Frankfurt am Main. Online verfügbar unter <https://publica-rest.fraunhofer.de/server/api/core/bitstreams/26cd9f62-53ac-4295-8a56-8092d1cff713/content>, zuletzt geprüft am 08.07.2024.
- Schulz, Thomas (2019): Referenzarchitektur und Industrie-4.0-Komponente. In: A. Mangelsdorf und P. Weiler (Hg.): Normen und Standards für die digitale Transformation: Werkzeuge, Praxisbeispiele und Entscheidungshilfen für innovative Unternehmen, Normungsorganisationen und politische Entscheidungsträger. Berlin: De Gruyter Oldenbourg, S. 37–51.
- Sciullo, Luca; Gigli, Lorenzo; Montori, Federico; Trotta, Angelo; Di Felice, Marco (2022): A Survey on the Web of Things. In: *IEEE Access* 10, S. 47570–47596. DOI: 10.1109/ACCESS.2022.3171575.
- Siemens (15.04.2024): Siemens and Microsoft to converge Digital Twin Definition Language with W3C Thing Description Standard. Online verfügbar unter <https://press.siemens.com/global/en/pressrelease/siemens-and-microsoft-converge-digital-twin-definition-language-w3c-thing-description>, zuletzt geprüft am 08.07.2024.
- Siska, Veronika; Karagiannis, Vasileios; Drobits, Mario (2023): Aufbau eines Datenraums: Technischer Überblick. Whitepaper. Gaia-X Hub Austria. Online verfügbar unter https://www.Gaia-X.at/wp-content/uploads/2023/04/WhitepaperGaiaX_german.pdf, zuletzt geprüft am 08.07.2024.

SmartCityWorlds; FIWARE (2023): City data spaces: A guide to building and operationalising data services. How data spaces are transforming data sharing, and establishing new frameworks to create data services to improve urban services and liveability. Online verfügbar unter https://www.fiware.org/wp-content/uploads/FF-SCW_Whitepaper_DataSpaces.pdf, zuletzt geprüft am 08.07.2024.

TU Delft; Univ. Rotterdam (2024): EnergySHR. Solving energy transition challenges. Online verfügbar unter <https://www.energyshr.nl/>, zuletzt geprüft am 08.07.2024.

W3C (2024): Web of Things. Developer Resources. Online verfügbar unter <https://www.w3.org/WoT/developers/>, zuletzt aktualisiert am 2024, zuletzt geprüft am 08.07.2024.

Wietschel, Martin; Plötz, Patrick; Pfluger, Benjamin; Klobasa, Marian; Eßer, Anke; Haendel, Michael et al. (2018): Sektorkopplung – Definition, Chancen und Herausforderungen. Fraunhofer ISI. Karlsruhe (Working Paper Sustainability and Innovation, S 01/2018).

Zhang, Yan (2024): Digital Twin. Architectures, Networks, and Applications. Cham: Springer Nature Switzerland (Simula SpringerBriefs on Computing, 16).

