



Digitale Systeme und Dienste für die Energiesystemtransformation

Für das

Land Nordrhein-Westfalen

Forschungszentrum Jülich GmbH

progres.NRW (Förderkennzeichen PRO 0081A)

Autoren

M. Sc. Roland Broll, Universität Duisburg-Essen

M. Sc. Christopher Jahns, Universität Duisburg-Essen

Dr.-Ing. Fabian Kurtz, Technische Universität Dortmund

Dipl.-Ing. Martin Lindner, Technische Universität Dortmund

Dr.-Ing. Annika Schurtz, Technische Universität Dortmund

Prof. Dr.-Ing. Christian Rehtanz, Technische Universität Dortmund

Prof. Dr. Christoph Weber, Universität Duisburg-Essen

Prof. Dr.-Ing. Christian Wietfeld, Technische Universität Dortmund

Impressum

Institut für Energiesysteme, Energieeffizienz
und Energiewirtschaft (ie³)

Emil-Figge-Straße 70

D-44227 Dortmund

Tel.: +49 231 755-2396

Mail: christian.rehtanz@tu-dortmund.de

Web: www.ie3.tu-dortmund.de



Communication Networks Institute (CNI)

Otto-Hahn-Str. 6

D-44227 Dortmund

Tel.: +49 231 755- 4515

Mail: christian.wietfeld@tu-dortmund.de

Web: www.kn.e-technik.tu-dortmund.de



Lehrstuhl für Energiewirtschaft (EWL)

Universitätsstraße 12

D-45141 Essen

Tel.: +49 201 18-32966

Mail: christoph.weber@uni-due.de

Web: www.ewl.wiwi.uni-due.de



Dortmund, 29.01.2021

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	2
Abbildungen	3
Abkürzungen	4
1 Einleitung	5
2 Durchgeführte Analysen	6
3 Digitalisierung des Energiesystems	8
3.1 Wertschöpfungsnetzwerk des Energiesystems	8
3.2 Netzwirtschaft	11
3.3 Informations- und Kommunikationswirtschaft	17
4 Digitalisierungstrends	19
4.1 5G Mobilfunk, neue IKT und Frequenzen	19
4.2 Cloud-Dienste und Plattformen	24
4.3 Automatisierte und autonome Systeme	24
4.4 Digital Twins	25
4.5 Big Data und Machine Learning	26
4.6 Distributed-Ledger-Technologien	26
5 Auswertung durchgeführter Analysen und Experteninterviews	27
5.1 Informations- und Kommunikationswirtschaft	28
5.2 Netzbetrieb	33
5.3 Marktdienstleistungen	37
5.4 Koordination von Markt und Netz	40
5.5 Zusammenfassung der Analyse	41
6 Roadmap	42
6.1 Handlungsempfehlungen	42
6.2 Übergeordnete Aktivitäten	49
6.3 Zusammenfassung	51
Literaturverzeichnis	53
Anhang	57
A1 Fragebogen	57
A2 Leitfaden "Energienmärkte"	63

Abbildungen

Abbildung 3-1 Wertschöpfungsnetzwerk der Energiewirtschaft.....	9
Abbildung 3-2: Wertschöpfungsnetzwerk der Energiewirtschaft inklusive IKT.....	10
Abbildung 3-3: Wesentliche Herausforderungen für den Netzbetrieb in der Energiesystemtransformation.....	12
Abbildung 3-4: Heutige Kommunikationspfade zwischen den Netzebenen	13
Abbildung 3-5: Heutige digitale Systeme und Dienste in den Netzebenen 1 und 2 (ÜNB).....	14
Abbildung 3-6: Künftige digitale Systeme und Dienste in den Netzebenen 1 und 2 (ÜNB).....	14
Abbildung 3-7: Heutige digitale Systeme und Dienste in den Netzebenen 3 und 4 (VNB).....	15
Abbildung 3-8: Künftige digitale Systeme und Dienste in den Netzebenen 3 und 4 (VNB).....	15
Abbildung 3-9: Heute digitale Systeme und Dienste in den Netzebenen 5 bis 7(VNB).....	16
Abbildung 3-10: Künftige digitale Systeme und Dienste in den Netzebenen 5 bis 7 (VNB).....	16
Abbildung 3-11: Wertschöpfungsebenen des IKT-Sektors	17
Abbildung 4-1: Frequenzbereiche relevanter lizenzierter bzw. lizenzfreier Funktechnologien.....	19
Abbildung 4-2: 450 MHz im Kontext der Reichweiten verschiedener Frequenzbereiche drahtloser Kommunikationslösungen.....	21
Abbildung 4-3: Realisierungsvarianten zum Betrieb von 5G Kommunikationsnetzen im Kontext exklusiver, lokaler Frequenzen bei 3,7-3,8 GHz bzw. 450 MHz... ..	22
Abbildung 4-4: Qualitative Gegenüberstellung von Kommunikationstechnologien zur Hervorhebung der jeweiligen Anwendungsgebiete für einen optimalen Technologiemix	23
Abbildung 6-1: Roadmap	52
Abbildung 6-2: Analyse der Häufigkeit neuer Technologien/Schlagworte in der Fachmedienkommunikation.....	64

Abkürzungen

D2D	Device to device (Maschine-zu-Maschine)
DLT	Distributed-Ledger-Technologien
HöS	Höchstspannung (380 und 220 kV)
HS	Hochspannung (110 kV)
IKT	Informations- und Kommunikationstechnik
IoT	Internet of Things
KI	Künstliche Intelligenz
Long-Range-WAN	LoRaWAN
Low Power Wide Area Networks	LPWAN
MS	Mittelspannung (10 und 20 kV)
NB-IoT	Narrow-Band IoT
NFV	Network Function Virtualization
NS	Niederspannung (400 V)
OEM	Original Equipment Manufacturer (Erstausrüster)
SDN	Software-Defined Networking
TRL	Technology-Readiness-Level (Technologiereifegrad)
ÜNB	Übertragungsnetzbetreiber
VNB	Verteilnetzbetreiber

1 Einleitung

Die Transformation des Energiesystems (Energiewende) benötigt eine flexible Steuerung großer Anzahlen volatiler Einspeiser und Lasten mit dem Ziel eine sichere, zuverlässige, wirtschaftliche und akzeptierte Versorgung mit erneuerbaren Energien zu erreichen. Die zunehmende der elektrischen Dezentralisierung der Energieerzeugung bei gleichzeitiger Veränderung der Lasten durch neue Technologien und Sektorenkopplung wie z. B. Wärmepumpen und Elektromobilität verändern die Struktur des Energieversorgungssystems als Ganzes. Die Evolution der digitalen Informations- und Kommunikationstechnik (IKT) befördert in diesem Zusammenhang die Umsetzung von Innovationen in vielen Bereichen der Energiesystemtransformation [1].

Digitale Systeme und Dienste im technischen System und den zugehörigen Märkten sind Schlüsselfunktionen, um die Transformation zu gestalten. Hierbei sind die Gewinnung, Verarbeitung und Aufbereitung von Daten aus verschiedenen Quellen von großer Wichtigkeit. Beispielsweise helfen örtlich und zeitlich aufgelöste Prognosen von Stromeinspeisung und Lastentwicklung beim sicheren Netzbetrieb, der Netzplanung und bei der Erarbeitung von neuen datenbasierten Geschäftsmodellen und Marktstrukturen.

Das vorliegende Projekt als Keimzelle bzw. Vorstudie für weitergehende Forschungen und Entwicklungen mit dem Fokus der Digitalisierung zur Energiewende hat die Aufgabe, die wesentlichen Möglichkeiten von digitalen Systemen und Diensten im Rahmen der Energiewende wissenschaftlich zu strukturieren. Es soll eine Evaluierung von Rahmenbedingungen, Akteuren, Themenfeldern und von bereits laufenden Aktivitäten im Rahmen dieser Vorstudie stattfinden und darauf aufbauend eine Forschungsagenda für NRW zum Themengebiet der Digitalisierung zur Energiesystemtransformation erarbeitet werden. Der Bezug zu NRW bezieht sich auf die vorhandene oder auszubauende Kompetenz in den Bereichen Wissenschaft und Industrie in NRW.

In dem Rahmen dieser Vorstudie sollen folgende Fragen adressiert werden:

- Welche Bereiche der Energiewirtschaft eignen sich besonders für digitale Dienste?
- Welche Akteure können digitale Dienste nutzen?
- Welche Daten stehen für digitale Dienste zur Verfügung?
- Welche Forschungsthemen müssen in NRW adressiert werden?
- Durch welche Ansätze kann eine hohe Sicherheit von Prozessen und Daten gewährleistet werden?
- Welche Maßnahmen sind geeignet, um digitale Dienste in die Praxis zu bringen?

Die Ergebnisse dieses Projektes führen zur Identifikation von Handlungsfeldern und konkreten Projektvorschlägen für weitergehende Forschungen und Entwicklungen in NRW.

2 Durchgeführte Analysen

Um der Ausarbeitung konkreter Handlungsfelder und Projektvorschlägen für weitergehende Forschung und Entwicklung im breiten und komplexen Kontext der Digitalisierung gerecht zu werden, sind anhand einschlägiger Literatur, Experteninterviews und mittels Fachkenntnissen der beteiligten Autoren detaillierte Analysen durchgeführt worden. Die Vorgehensweise der durchgeführten Analysen ist im Folgenden stichpunktartig dargestellt. Dabei werden drei übergeordnete Arbeitsschritte unterschieden:

Analyse der Wertschöpfungsketten der Energie- und Netzwirtschaft

- Erstellung der allgemeinen Wertschöpfungskette und Erweiterung zu einem Wertschöpfungsnetzwerk
- Identifikation relevanter Akteure im Wertschöpfungsnetzwerk und ihrer Zusammenhänge
- Definition von Anwendungsfeldern und Anwendungsfällen innerhalb des Wertschöpfungsnetzwerks

Analyse der Entwicklung der Märkte, der Netz-/ Systemführung und der Informations- und Kommunikationstechnik entlang des Wertschöpfungsnetzwerks

- Beschreibung der Akteure und Anwendungsfelder für digitale Systeme und Dienste
- Recherche aktueller Digitalisierungstrends der Energiemärkte und Energiesysteme in einschlägigen Fachzeitschriften und wissenschaftlichen Studien
- Identifikation von innovativen Technologien sowie daraus resultierenden Lösungen für die Systemtransformation

Ableitung von Forschungsfragen, Identifikation von Hemmnissen und Chancen. Validierung dieser Analyse mit Hilfe von Experteninterviews

- Entwicklung neuer Forschungsfragen aus vorgelagerten Analysen
- Einbeziehung der Sichtweisen von Akteuren aus den Bereichen Märkte, Netz- und Systemführung sowie Informations- und Kommunikationstechnik
- Herleitung von Handlungsempfehlungen für Forschungsaktivitäten und Praxistransfer

Als Grundlage zur Identifikation relevanter zukünftiger Forschungsaktivitäten wird die energiewirtschaftliche Wertschöpfungskette herangezogen. Entlang dieser werden neue Anwendungsfelder analysiert und neue Abhängigkeiten, getrieben durch die Digitalisierung, zwischen den Akteuren aufgezeigt. Durch die neu entstehenden Verknüpfungen entwickelt sich die energiewirtschaftliche Wertschöpfungskette zunehmend zu einem Wertschöpfungsnetzwerk, wo gleichzeitig neue Akteure auftreten und bereits bestehende Akteure neue Rollen zugewiesen bekommen. Zusätzlich entstehen durch die neue Strukturierung und dem Aufbrechen fester Aufgaben neue Geschäftsmodelle und neue Produkte [2], die

gleichzeitig Chancen für ein Gelingen der Systemtransformation bieten und neue Herausforderungen im Hinblick auf die Ausgestaltung der Märkte und Regelungen für neue Geschäftsmodelle mit sich bringen.

Auf Basis der neuen Abhängigkeiten innerhalb des Wertschöpfungsnetzwerks, werden anschließend aktuelle Trends im Kontext der Digitalisierung und neuer Märkte im Energiesektor untersucht und zusammengetragen. Mithilfe von Fachliteratur und aktueller Veröffentlichungen zu Digitalisierungsthemen werden zum einen neue Technologien für die Digitalisierung und zum anderen aktuelle Digitalisierungsvorhaben aus Forschung und Wirtschaft identifiziert und bewertet.

Nach Auswertung der aktuellen Digitalisierungstrends werden in einem nachgelagerten Schritt Forschungsthemen identifiziert und mit der Fachöffentlichkeit durch Experteninterviews vertieft. Dabei wurden nicht ausschließlich Experten der Energiewirtschaft, Netzwirtschaft oder IKT-Wirtschaft, sondern auch Experten anderer Fachrichtungen mit starkem Digitalisierungsbezug berücksichtigt. Damit ergeben sich Einblicke in die Digitalisierung anderer Bereiche und eine Validierung von Lösungsvorschlägen.

Abschließend fließen die Ergebnisse aus den Experteninterviews in die Identifikation von ausgewählten und als besonders relevant eingestuften Forschungsthemen ein und werden zusammenfassend als Forschungsagenda präsentiert.

Die Experteninterviews wurden im Zeitraum von August bis November 2020 mit Vertretern diverser Unternehmen und Institutionen der Energie- und IKT-Wirtschaft durchgeführt. Die befragten Experten sind den folgenden Bereichen zuzuordnen:

- Übertragungs- und Verteilnetzbetreiber
- Energieversorger
- Telekommunikationsunternehmen
- Beratungs- und Dienstleistungsunternehmen
- Softwarehersteller
- Hardwarehersteller
- Forschungseinrichtungen

Die Erkenntnisse aus den Experteninterviews fließen in die Kapitel 5 und 6 des Abschlussberichts ein.

3 Digitalisierung des Energiesystems

In diesem Abschnitt werden die Akteure der in dieser Studie behandelten Teilbereiche des Energiesystems erläutert. Zunächst erfolgt deren Einordnung mithilfe eines Wertschöpfungsnetzwerks der gesamten Energiewirtschaft bevor auf die Netz- und IKT-Wirtschaft im Besonderen eingegangen wird.

3.1 Wertschöpfungsnetzwerk des Energiesystems

Durch die Liberalisierung der Märkte, sowie die steigende Digitalisierung und Dezentralisierung wandelt sich die Wertschöpfungskette des elektrischen Energiesystems hin zu einem komplexen Wertschöpfungsnetzwerk. Hierbei ändern sich die Rollen einzelner Akteure und es entstehen neue Geschäftsmodelle [2].

Insbesondere durch die Dezentralisierung der Energieerzeugung und die Digitalisierung wird die Entwicklung hin zu einem Wertschöpfungsnetzwerk getrieben. Das Wertschöpfungsnetzwerk ist in Abbildung 3-1 mit den Akteuren in den jeweiligen Anwendungsfeldern abgebildet. Die Abbildung verdeutlicht die Auswirkung der Digitalisierung durch die Vielzahl an neuen Datenflüssen und steuerungseitigen Verbindungen. Um die Wertschöpfung und die Prozesse eines solchen Netzwerks technisch und wirtschaftlich zu gestalten, sind ein sehr hoher Grad der Digitalisierung, ein effizientes Datenmanagement sowie klare Regeln und Standards notwendig.

Viele Verantwortlichkeiten und Aufgaben, die ursprünglich von einem integrierten Energieversorgungsunternehmen (EVU) durchgeführt wurden, sind nun auf die gestiegene Anzahl von Akteuren verteilt. Auch haben sich die Aufgaben und Anwendungsfelder innerhalb der einzelnen Akteure verändert und erweitert. Gleichzeitig bringt die Digitalisierung neue Chancen durch Prozessinnovationen und Produktinnovation wie z.B. die Möglichkeit zur automatisierten Abrechnung, intelligenter Ladevorgänge von Elektrofahrzeugen oder die Optimierung von Prosumern als auch die Verbesserung von Prognosen für volatile Einspeisung und Verbrauch [3].

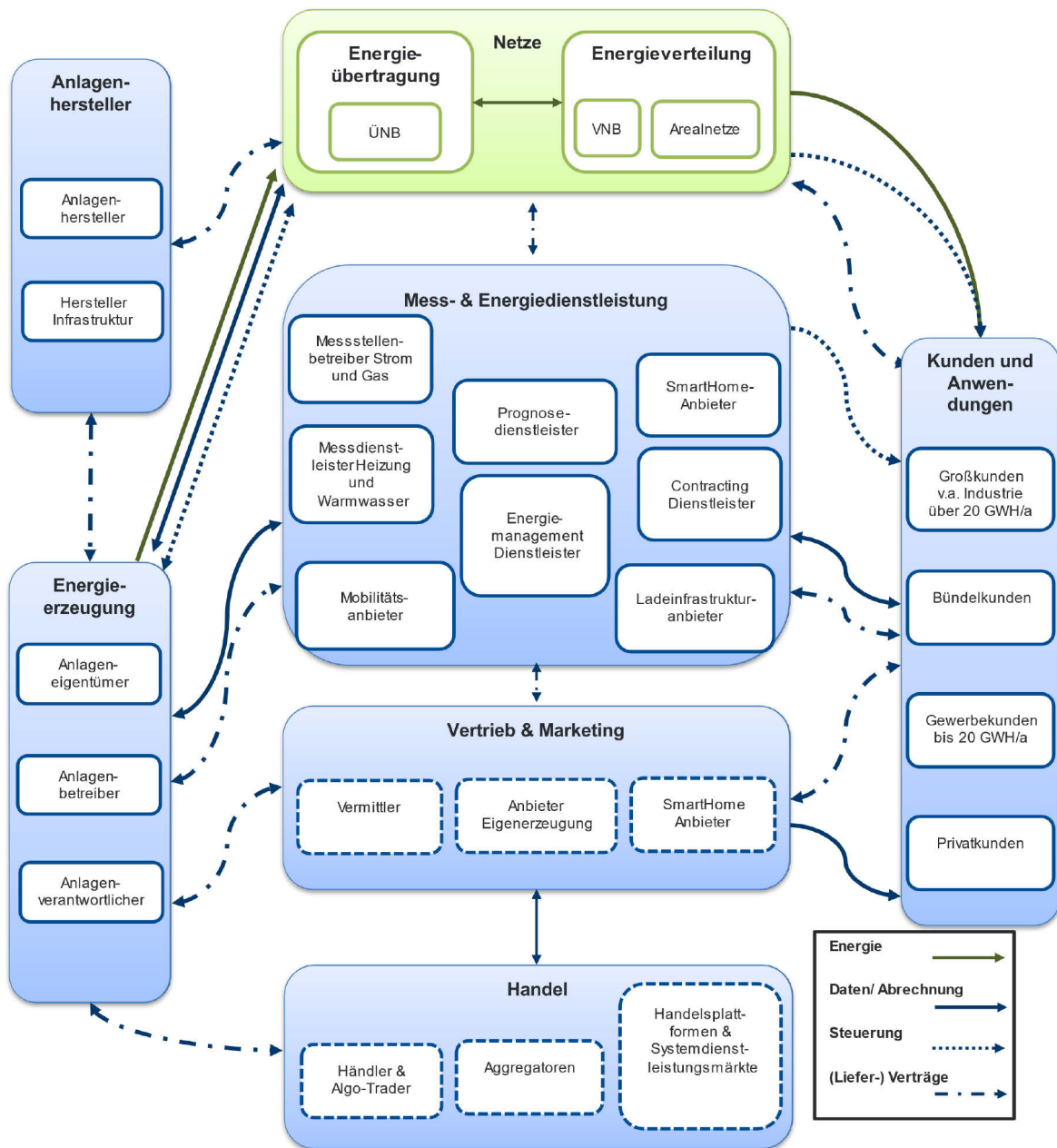


Abbildung 3-1 Wertschöpfungsnetzwerk der Energiewirtschaft

In Abbildung 3-2 wird das energiewirtschaftliche Wertschöpfungsnetzwerk um die IKT-Wirtschaft erweitert. Die IKT dient zum einen als zentrale Komponente zwischen Netz und Markt und ist auch innerhalb der Energiemärkte und Netzwirtschaft vorzufinden. Während Kommunikationsausrüster- und Netzbetreiber die physische Infrastruktur verantworten, bauen Kommunikationsdienstleister auf dieser Grundlage auf. Somit werden hier Services in Form von beispielsweise Cloud-Plattformen geboten, welche ihrerseits eine Basis für neuartige Over-The-Top-Dienste (u. a. Analyse und Verarbeitung der im Energienetz erhobenen Daten via KI bzw. Maschinellen Lernen zwecks bspw. prädiktiver Wartung [4]) darstellen. Auch werden neue Technologien bzw. maßgeschneiderte Ende-zu-Ende-Kommunikationsdienste durch z. B. Reseller für den Energiesektor bereitgestellt.

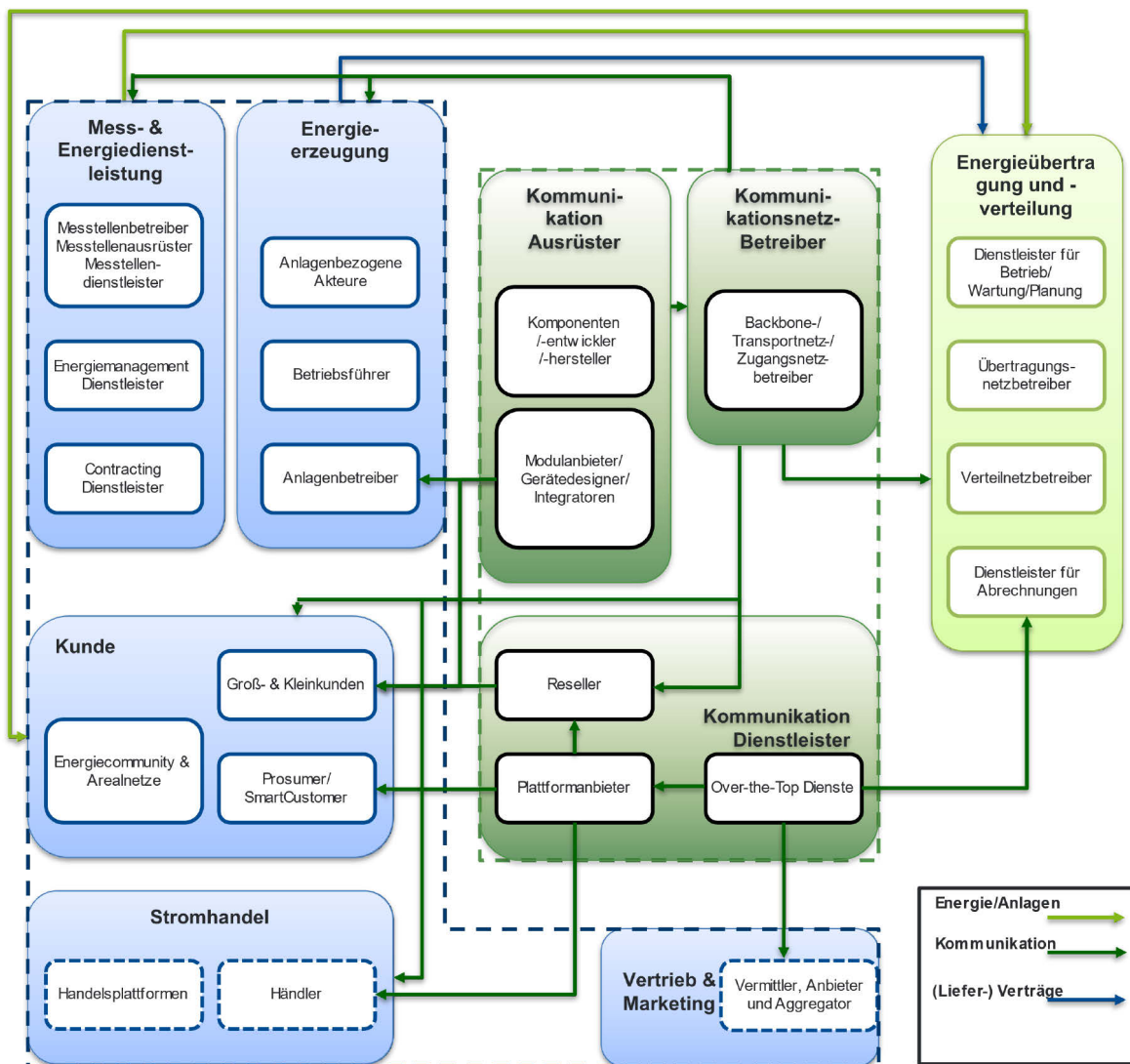


Abbildung 3-2: Wertschöpfungsnetzwerk der Energiewirtschaft inklusive IKT

3.2 Netzwirtschaft

Das elektrische Energieversorgungssystem besteht aus mehreren Netzebenen, die sich durch ein jeweils unterschiedliches Spannungsniveau unterscheiden. In Deutschland werden die nachfolgend in Tabelle 3.1 beschriebenen Spannungsebenen betrieben.

Tabelle 3.1: Netzebenen und Spannungsniveaus der Stromnetze in Deutschland.

Netzebene	Nennspannung	
1 - Höchstspannung (HöS)	380 kV und 220 kV	ÜNB
2 - Umspannung Höchst- und Hochspannung	380/110 kV und 220/110 kV	
3 - Hochspannung (HS)	110 kV	VNB
4 - Umspannung Hoch- und Mittelspannung	110/30 kV, 110/20 kV und 110/10 kV	
5 - Mittelspannung (MS)	30, 20 und 10 kV	
6- Umspannung Mittel- und Niederspannung	30/0,4 kV, 20/0,4 kV und 10/0,4 kV	
7 - Niederspannung (NS)	0,4 kV	

Dabei wird je nach Netzebene zwischen Übertragungsnetzbetreibern (ÜNB) und Verteilnetzbetreibern (VNB) unterschieden. Zu den Aufgaben der ÜNB gehört der Transport elektrischer Energie im Stromsystem über große Entfernungen. Die VNB hingegen stellen die regionale und lokale Verteilung der elektrischen Energie bis hin zu den Endkunden sicher. Während die Einspeiseleistung in der Vergangenheit überwiegend durch wenige, große Kraftwerke im Übertragungsnetz bereitgestellt wurde, wird heute ein Großteil der Einspeiseleistung durch erneuerbare und dezentrale Energieumwandlungsanlagen (DEA) in den Netzebenen der VNB angeschlossen. Das Aufgabenspektrum der VNB umfasst damit nicht mehr nur die Verteilung der elektrischen Energie hin zum Endkunden, sondern zunehmend auch die Integration und Weiterleitung dezentraler Einspeiseleistung. Hinzu kommen künftig weitere Veränderungen auf der Verbrauchsseite, die sich aus dem Wachstum der Elektromobilität und der zunehmenden Sektorenkopplung ergeben. Abbildung 3-3 fasst die wesentlichen Herausforderungen der Netzwirtschaft zusammen.

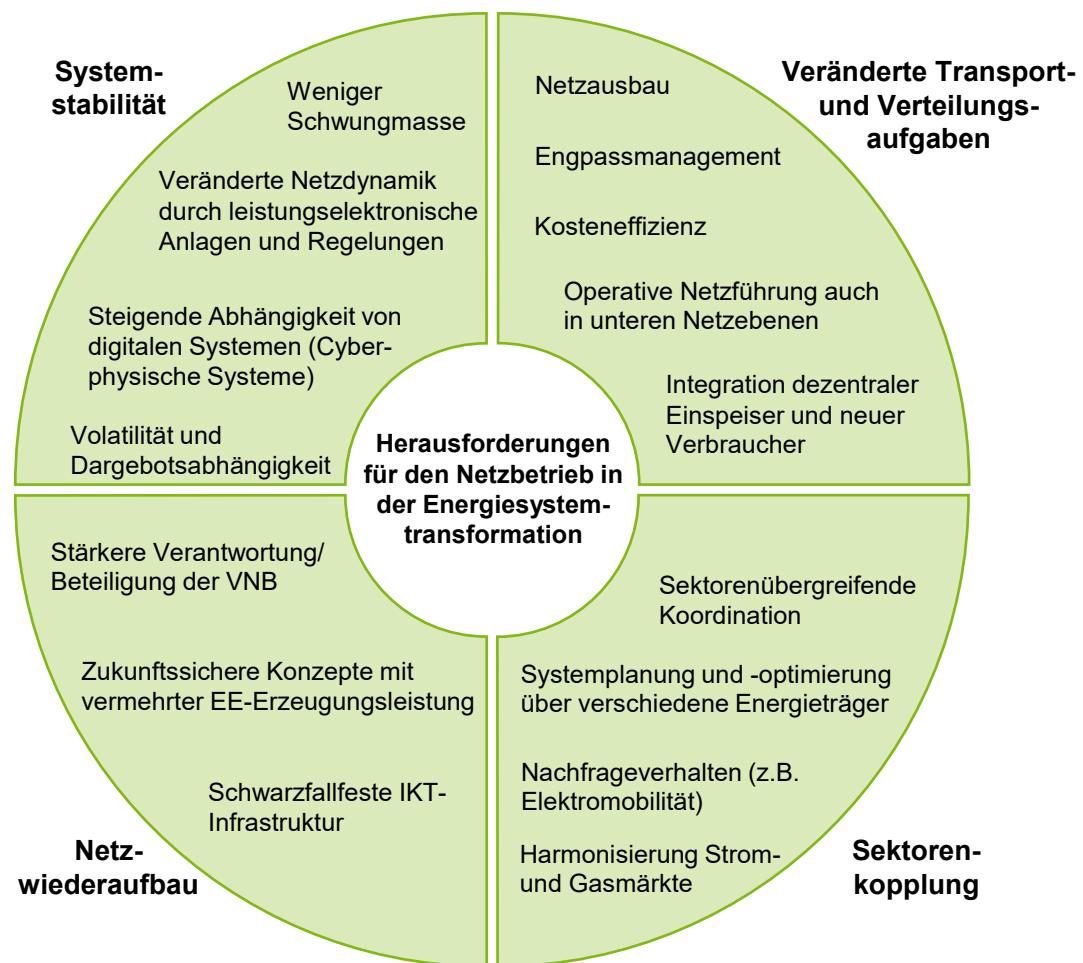


Abbildung 3-3: Wesentliche Herausforderungen für den Netzbetrieb in der Energiesystemtransformation

Neben der physischen Netzinfrastruktur, die über die verschiedenen Netzebenen elektrisch gekoppelt ist, existieren Prozessnetze und Kommunikationspfade, die für den operativen Betrieb des elektrischen Energiesystems benötigt werden. Eine vereinfachte Darstellung dieser Architektur im heutigen System ist in Abbildung 3-4 skizziert. Ein wesentlicher Anteil der Kommunikation erfolgt hierarchisch entlang der Netzebenen. Die Netzebenen 1 und 2 sind dabei in einem höheren Maße miteinander gekoppelt als die darunter liegenden Netzebenen.

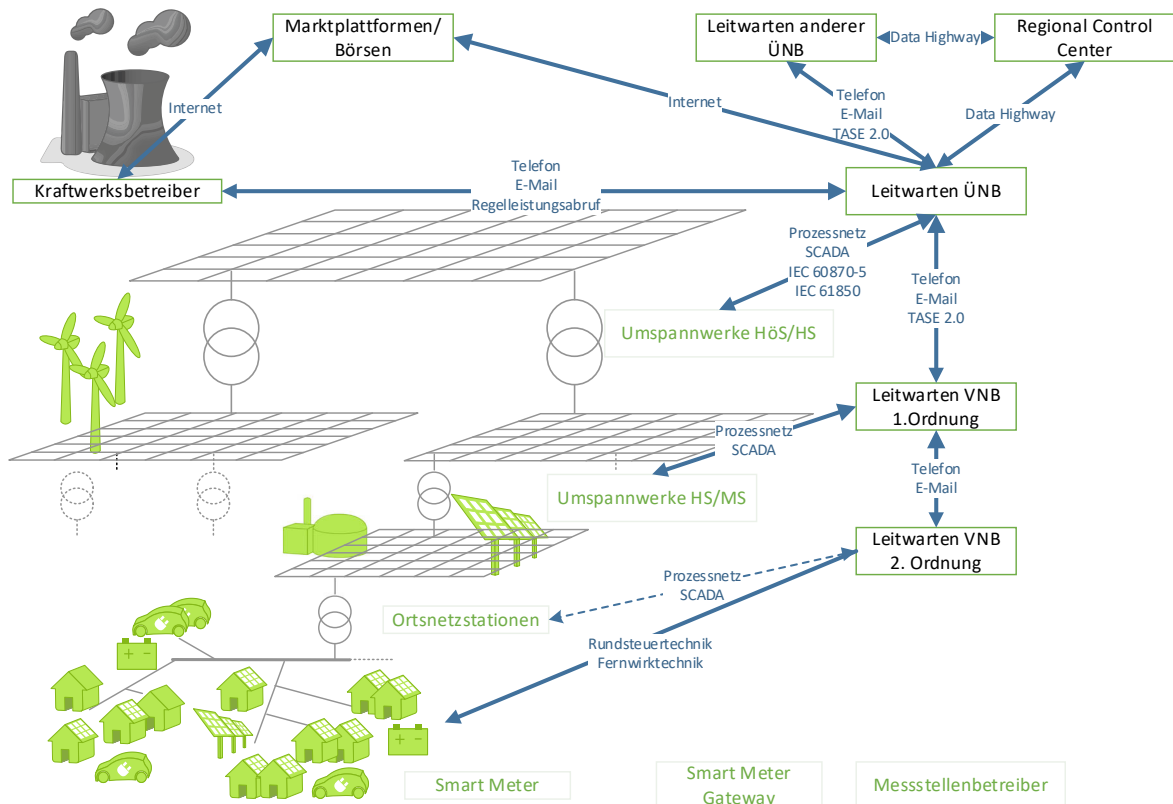


Abbildung 3-4: Heutige Kommunikationspfade zwischen den Netzebenen

Die nachfolgenden Grafiken geben einen Überblick über die digitalen Systeme und Dienste, die Netzbetreiber der verschiedenen Netzebenen heutzutage betreiben und stellen diese zu erwartenden zukünftigen Entwicklungen gegenüber. Im Mittelpunkt stehen die Prozesse und Werkzeuge der Betriebsplanung und -führung, die in erster Linie auf Funktionalitäten des Leitsystems angewiesen sind. Der Anteil von Prozessen, die auf manuelle Eingriffe des Leitwartenpersonals angewiesen sind, wird zukünftig deutlich abnehmen während weitere Automatisierungsfunktionen in allen Tätigkeitsbereichen der Netzbetreiber Einzug halten werden.

Die Weiterentwicklung von digitalen Systemen und Diensten der ÜNB (Netzebene 1 und 2) verdeutlichen die Abbildung 3-5 sowie die Abbildung 3-6. Die Leitsysteme der VNB in den Netzebenen 3 und 4 verfügen ähnliche Funktionen wie die der Ebenen 1 und 2 reduziert um die Aufgaben, die in den Bereich der Systemverantwortung des ÜNB fallen. Ihre Weiterentwicklung zeigen die Abbildung 3-7 sowie Abbildung 3-8.

Die Netzebenen 5, 6 und 7 sind zum jetzigen Zeitpunkt in der Regel nicht für eine operative Netzführung angebunden und nicht kommunikationstechnisch erreichbar oder steuerbar. Da jedoch die Energiesystemtransformation zu einer deutlichen Veränderung in diesen Netzebenen führt, werden entsprechende Anpassungen in diesen Architekturen folgen.

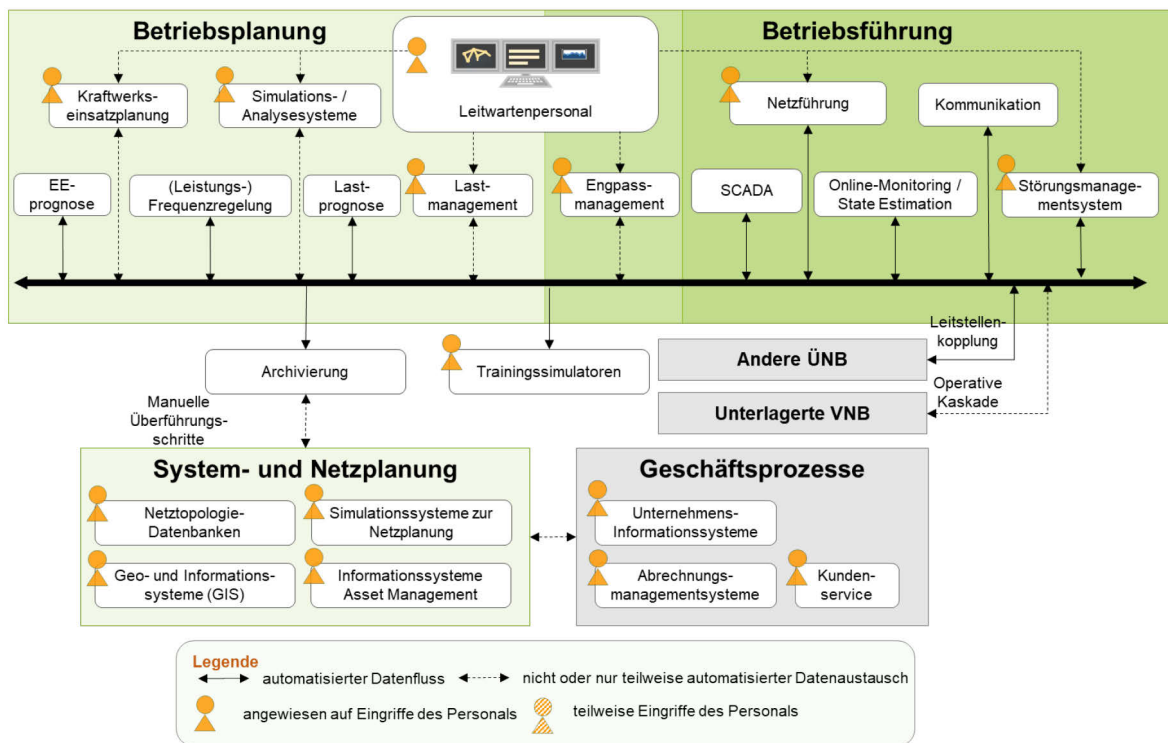


Abbildung 3-5: Heutige digitale Systeme und Dienste in den Netzebenen 1 und 2 (ÜNB)

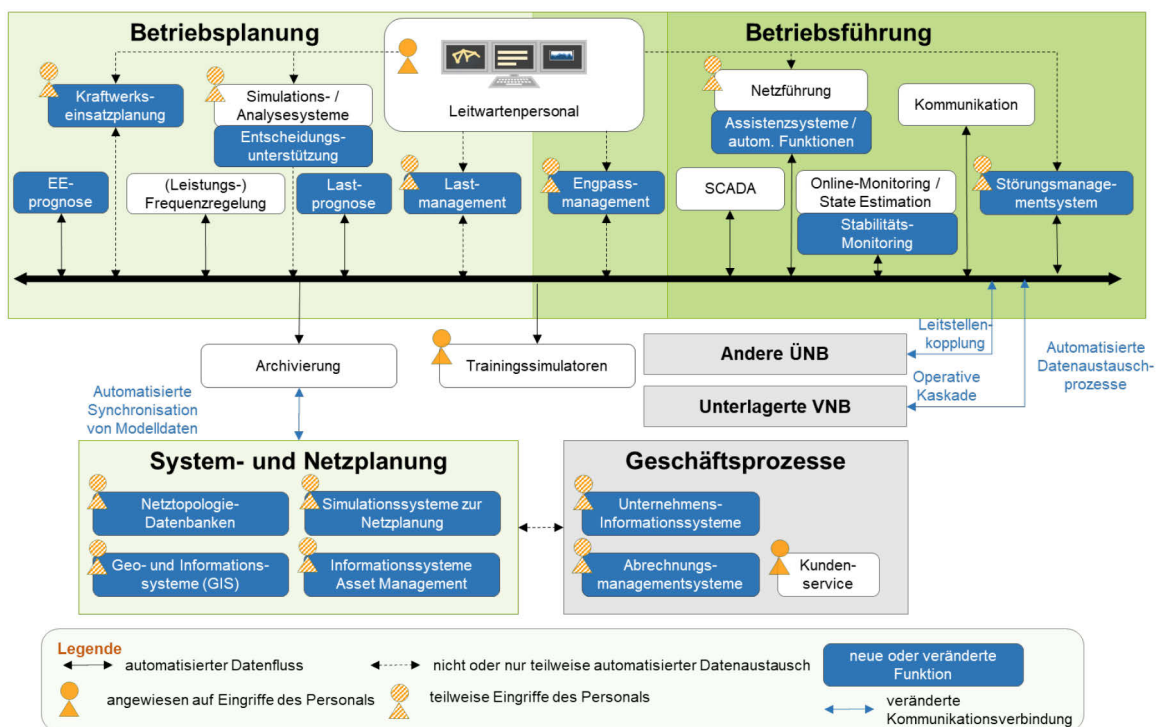


Abbildung 3-6: Künftige digitale Systeme und Dienste in den Netzebenen 1 und 2 (ÜNB)

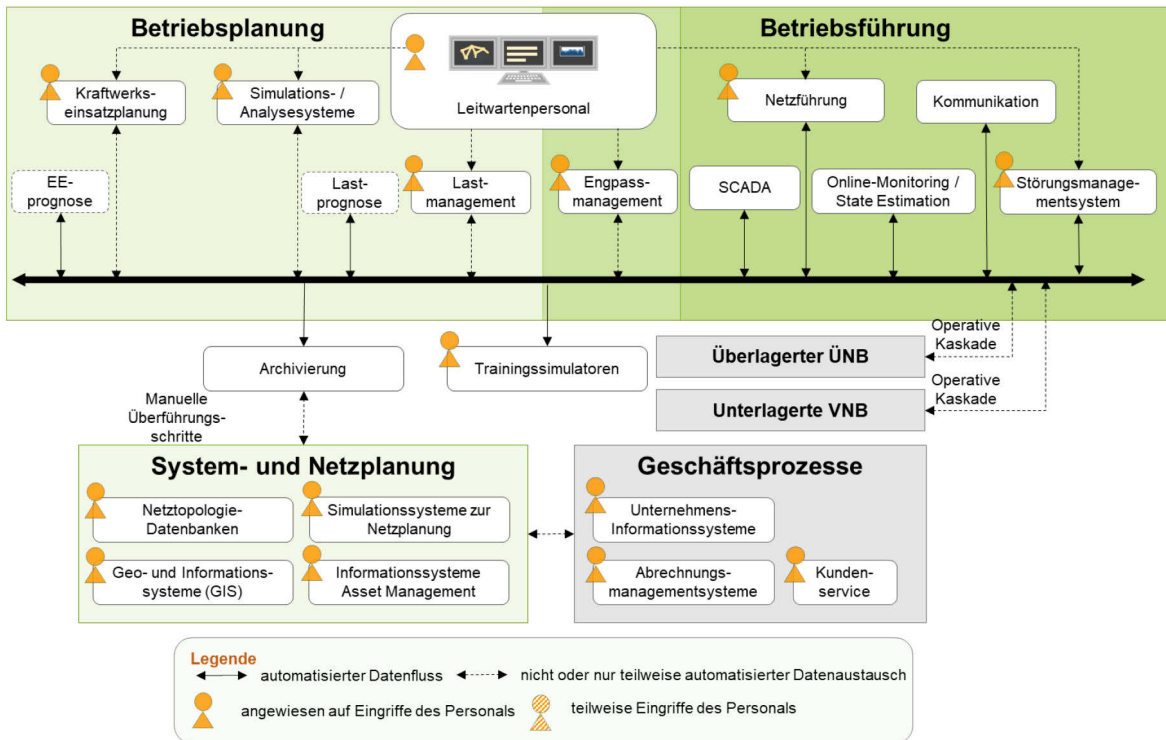


Abbildung 3-7: Heutige digitale Systeme und Dienste in den Netzebenen 3 und 4 (VNB)

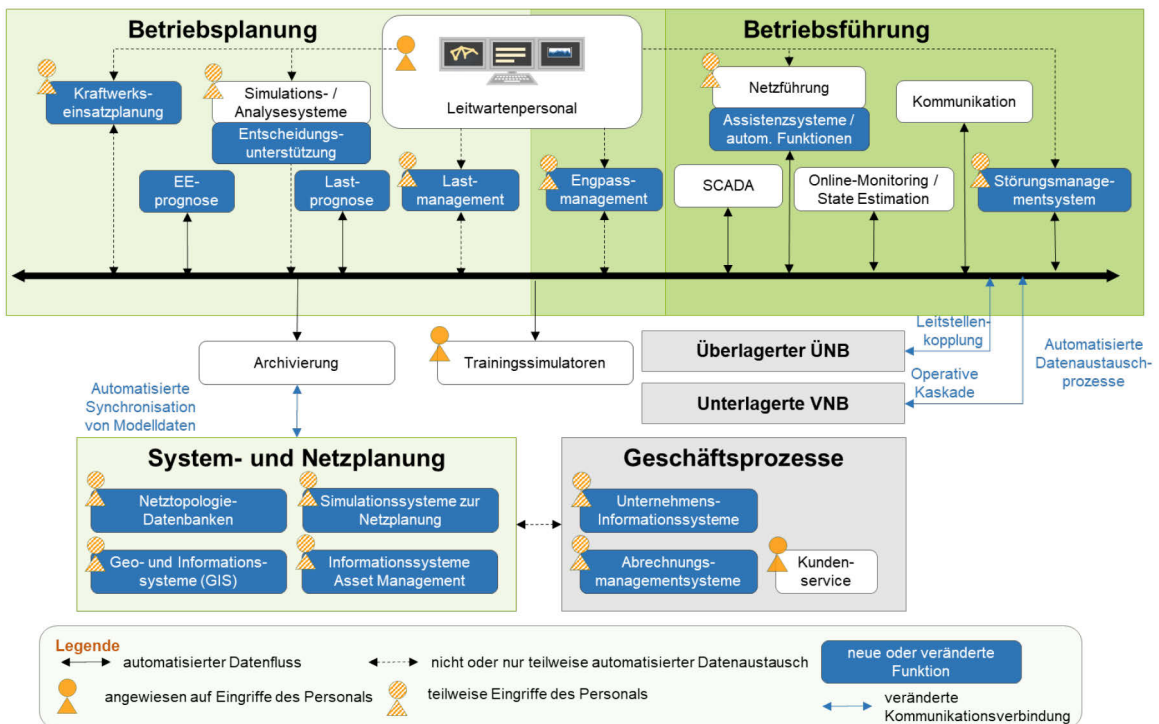


Abbildung 3-8: Künftige digitale Systeme und Dienste in den Netzebenen 3 und 4 (VNB)

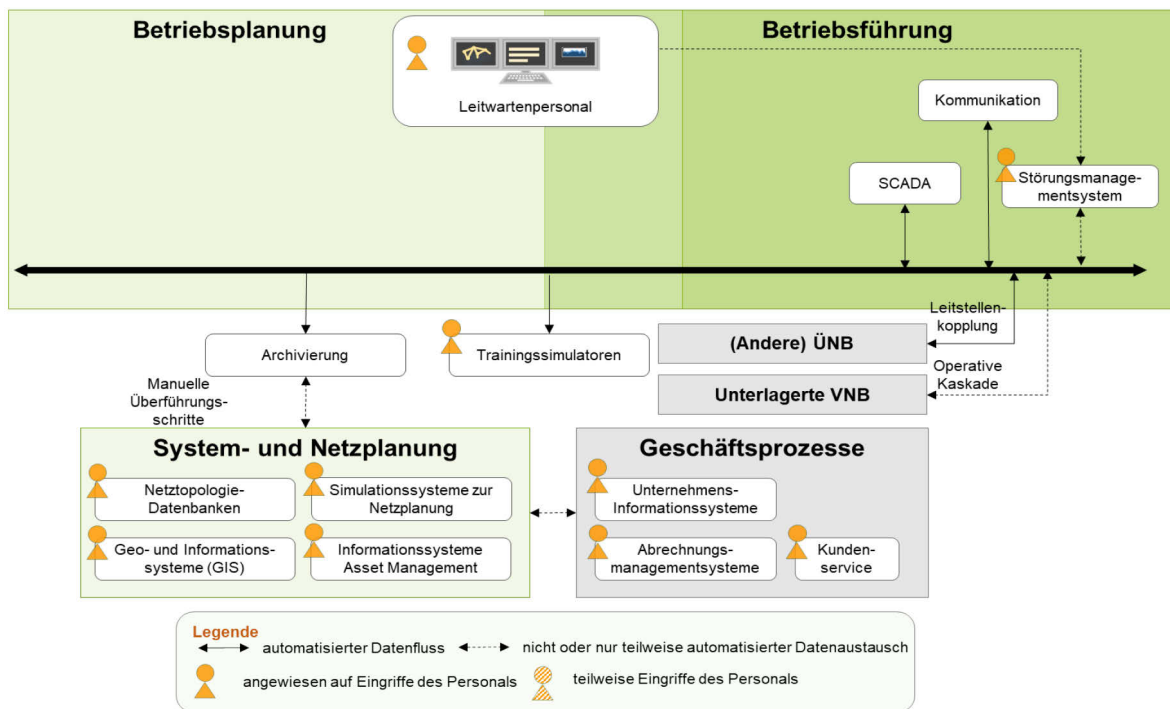


Abbildung 3-9: Heute digitale Systeme und Dienste in den Netzebenen 5 bis 7(VNB)

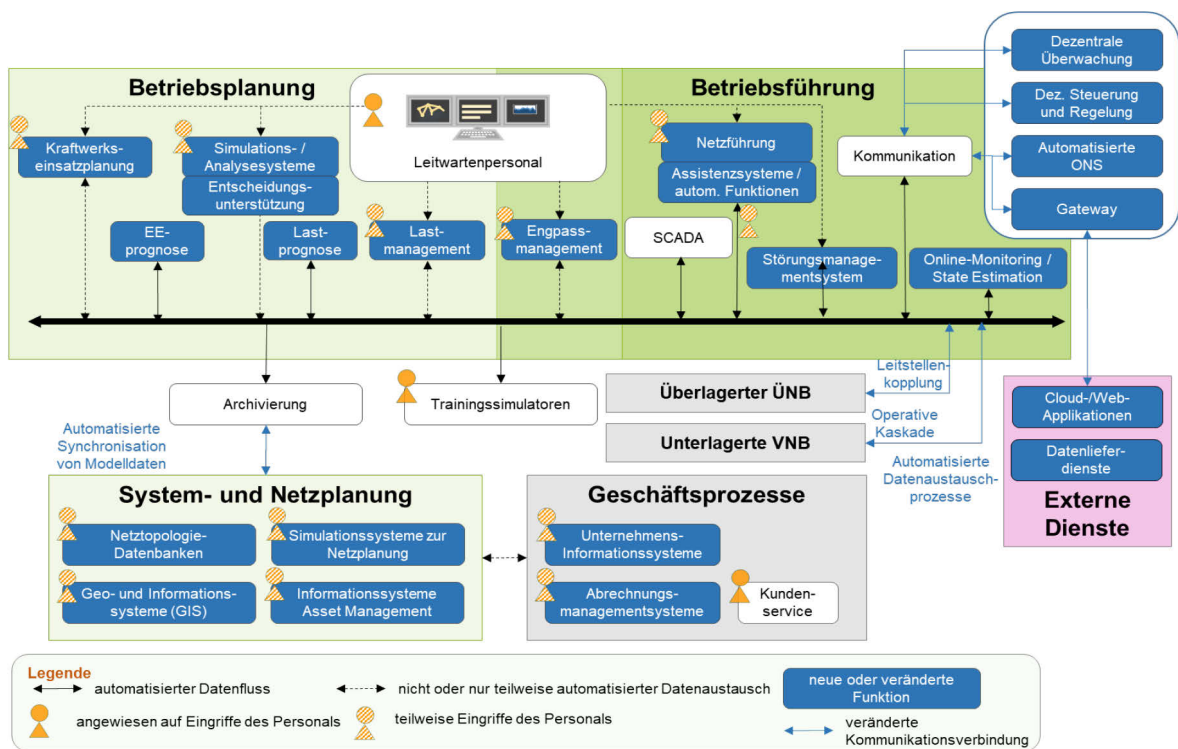


Abbildung 3-10: Künftige digitale Systeme und Dienste in den Netzebenen 5 bis 7 (VNB)

3.3 Informations- und Kommunikationswirtschaft

Die Wertschöpfung im Bereich der Informations- und Kommunikationstechnik (IKT) bzw. der Kommunikationsnetze, kann wie in Abbildung 3-11 dargestellt, in drei primäre Bereiche gegliedert werden. Dabei bilden die Akteure zur Bereitstellung der notwendigen technischen Betriebsmittel bzw. Ausrüstung die Grundlage physischer Kommunikationsinfrastrukturen. Aufbau und Betrieb der Kommunikationsinfrastrukturen bilden die nächste Ebene und ermöglichen ihrerseits die Erbringung einer Vielzahl von Diensten für verschiedenartige Anwendungen im Bereich der intelligenten Energienetze und darüber hinaus. In der Praxis können Rollen bzw. Geschäftsmodelle dabei unterschiedliche Bereiche einzelner als auch mehrerer Domänen umfassen, und somit übergreifende Dienste zur Verfügung stellen.

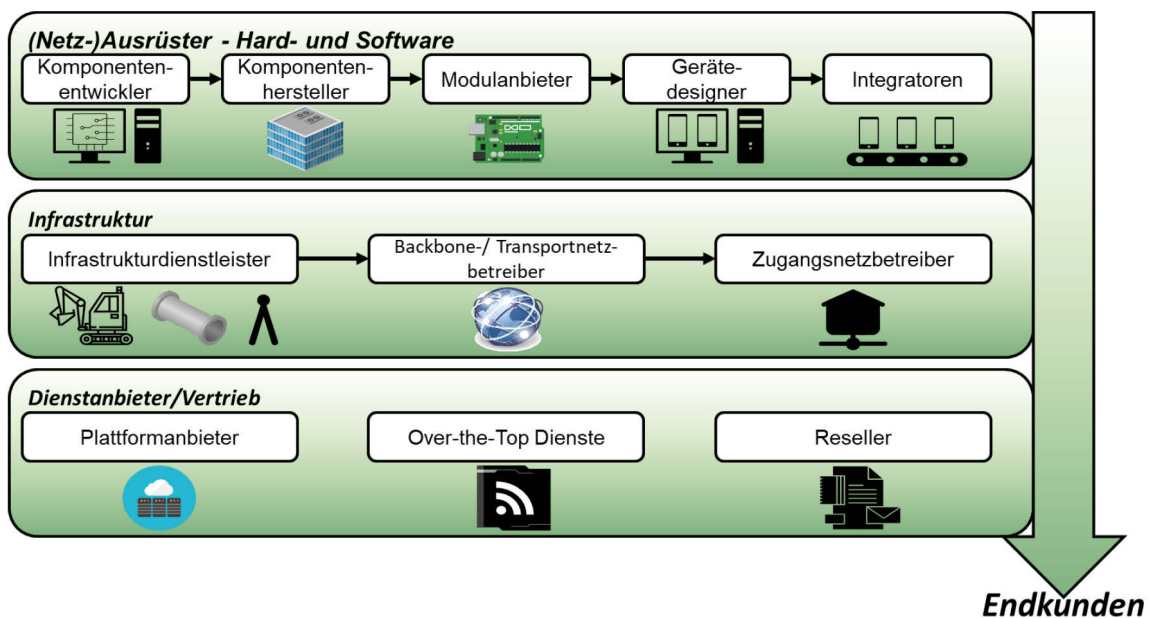


Abbildung 3-11: Wertschöpfungsebenen des IKT-Sektors

Aufgrund der anwendungsgetriebenen Anforderungsprofile treten Kommunikationsnetze im Kontext von digitalisierter Energiesysteme bzw. Smart Grids als Dienstbringer zur Gewährleistung eines sicheren und stabilen Betriebs des Energienetzes auf. Dieser Aspekt wird im Folgenden fokussiert. Es lassen sich dabei Parallelen in der Struktur beider Bereiche feststellen. So sind insbesondere die physischen Infrastrukturen in Ihrer Aufteilung in Backbone- bzw. Transport- und Zugangs- bzw. Verteilnetz ähnlich gegliedert. Dabei ist insbesondere zu beachten, dass Stromnetze der Höchstspannungsebene über dedizierte Glasfasernetze verfügen, die von den ÜNB selbst betrieben werden. In den Verteilnetzen kommen daneben auch öffentlich genutzte Kommunikationsverbindungen zum Einsatz, um die zum Betrieb erforderlichen Mess-, Steuer- und Schutzdienste abbilden zu können. Diese Glasfaserstrecken können dabei im Rahmen verschiedenster Betreibermodelle durch Marktteilnehmer im Telekommunikationsbereich genutzt, oder zwecks Erhöhung der Resilienz durch redundante Verbindungen klassischer IKT-Betreiber ergänzt werden.

In diesem Kontext eröffnen neuartige Kommunikationslösungen wie *5G Core Network Slicing* auf Basis von *Software-Defined Networking (SDN)* und *Network Function Virtualization (NFV)* innovative Betriebskonzepte durch u. a. virtuell bereitgestellte, dedizierte Kommunikationsnetze [5]. Aufgrund der im Vergleich zum Transportnetz stark eingeschränkten Verfügbarkeit von Kommunikationsverbindungen innerhalb gegenwärtiger Verteilnetze, besteht hier hohes Potential für innovative Lösungen. So erfordern kritische Schalthandlungen sowie Messvorgänge eine hohe Zuverlässigkeit hinsichtlich der Einhaltung kommunikativer Dienstgüteparameter (vgl. u. a. IEC 61850). Erwägungen hinsichtlich der Kosteneffizienz und des Zeitaufwands sprechen hierbei oftmals gegen den Ausbau dedizierter Kommunikationsinfrastrukturen für einzelne Energiesysteme. Demgegenüber sind der Einsatz virtuell dedizierter Lösungen über *5G Network Slicing* oder regionaler *5G Campusnetze* geeignete Ansätze zur Bereitstellung der benötigten Kommunikationsdienste. Dies erreicht die sicherheitsrelevante harte Trennung kritischer Steuer- und Messdaten des Energienetzes von konkurrierenden Datenströmen, bei zeitgleicher Einhaltung der prioritären Anforderungen des Smart Grids. So können die auf Verteilnetzebene beispielsweise durch Smart Metering anfallenden Daten ohne langwierigen und kostspieligen Ausbau von Glasfaserinfrastrukturen mittels leistungsfähiger *5G-Mobilfunklösungen* an die *SCADA-Anlagen* der Energie-netzbetreiber angebunden werden. *5G-Netzetechnologien* sind bzw. werden dabei in Fortschreibung der *4G-Technik* für eine Vielzahl von Frequenzen verfügbar, insbesondere im für Energiesysteme günstigen *Sub-GHz-Bereich*. Je nach Erfordernissen des jeweiligen Betreibers, kann das Management des virtuellen Kommunikationsnetzes dabei selbstständig oder durch einen weiteren Marktteilnehmer (z. B. einen klassischen Anbieter von Kommunikationsdiensten) durchgeführt werden. Die entstehenden Kosten orientieren sich dabei - im Unterschied zu dedizierten physischen Kommunikationsinfrastrukturen - anteilig an der tatsächlichen Datenverkehrslast. In Verbindung mit dem regionalen Charakter von *5G-Campusnetzen* ergibt sich eine stabile Grundlage für die Anwendung innovativer Ansätze zur lokalen Abwicklung bidirektionaler Energieflüsse, wie sie durch die zunehmende Verbreitung erneuerbarer Energien und der Elektromobilität entstehen. Die im Verteilnetz erhobenen Messdaten können auf Ebene des überlagerten *5G-Campusnetzes* über Datenplattformen gebündelt werden, womit die zur Anwendung von *Big Data* und *Künstlicher Intelligenz* benötigte Grundlage entsteht. Verfahren des maschinellen Lernens dienen hier dazu Schalthandlungen im Verteilnetz zu optimieren. Damit entstehen sogenannte zellulare Energienetze, welche Energieflüsse auf regionaler Ebene bedienen und so den Ausbaubedarf hinsichtlich weiterer Verteil- und Transportnetze minimieren [6].

4 Digitalisierungstrends

Dieses Kapitel zeigt Schlüsselrends der Digitalisierung auf und führt entsprechende Grundlagen ein, um eine Einordnung in den Kontext ihrer Relevanz für die Transformation der Energiesysteme zu ermöglichen.

4.1 5G Mobilfunk, neue IKT und Frequenzen

Die fünfte Generation der Mobilfunknetze, kurz 5G, wurde im Dezember 2018 in einer ersten Iteration (Release-15) durch die Standardisierungsorganisation 3GPP spezifiziert [7]. Dies markiert den Beginn der kontinuierlichen Weiterentwicklung der in 5G gebündelten neuen Technologien, die erstmals industrielle Anwendungen fokussieren.

5G-Profile

5G stellt drei primäre Profile bereit [7]: *Massive Machine-Type Communication* (mMTC), zur Anbindung zahlreicher Teilnehmer wie beispielsweise Sensoren aus dem Bereich der Smart City, *enhanced Mobile Broadband* (eMBB) zur Bereitstellung hoher Datenraten sowie *ultra Reliable Low-Latency Communications* (uRLLC), zur Ermöglichung höchster Zuverlässigkeit bei minimalen Verzögerungszeiten. Dabei ist zu beachten, dass diese drei Profile nicht zeitgleich genutzt werden können und somit eine für den jeweiligen Anwendungsfall geeignete Ausprägung zu wählen ist.

Frequenzspektrum von Funktechnologien

Die erhöhten Datenraten von 5G werden durch eine Steigerung der spektralen Effizienz erzielt, womit die knappen und somit kostenintensiven lizenzierten Funkfrequenzen gegenüber alternativen Technologien besser ausgeschöpft werden. Neben verbesserten Leistungsdaten, bietet 5G erweiterte Optionen im Bereich der Funkfrequenzen sowie des Betriebs dedizierter Kommunikationsinfrastrukturen. Abbildung 4-1 illustriert die erweiterten Möglichkeiten und stellt diese in den Kontext alternativer Technologien.

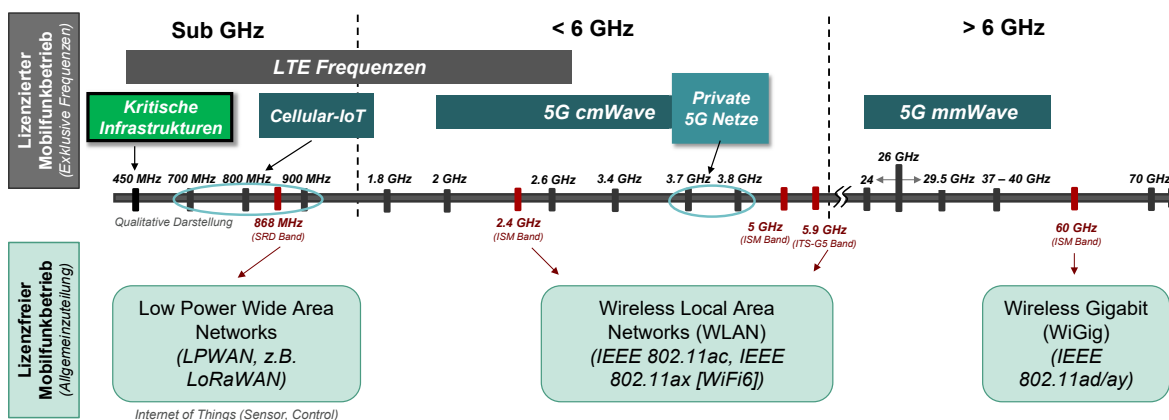


Abbildung 4-1: Frequenzbereiche relevanter lizenzierten bzw. lizenzfreier Funktechnologien

Auf Seite des lizenzfreien Mobilfunks sind Lösungen wie Wireless LAN (WLAN bzw. Wifi) und dedizierte Low Power Wide Area Networks (LPWAN) Technologien wie Long-Range-WAN (LoRaWAN) mit Fokus auf dem Internet-of-Things (IoT) zu finden. Da zum Betrieb

keine Lizenzen notwendig sind, sind die Kosten entsprechend reduziert. Dieser Kostenvorteil wird jedoch durch eine nicht-exklusive, also mit anderen Nutzern und Technologien geteilte Nutzung der Frequenzen, aufgewogen. So können keine Garantien hinsichtlich der Leistungsfähigkeit gegeben werden, wodurch lizenzfreie Lösungen im Kontext der Energiesysteme nur für unkritische Anwendungsfälle einzusetzen sind.

Demgegenüber ist 5G in die Kategorie der lizenzierten Mobilfunktechnologien einzugliedern, womit neben den Kosten zur Beschaffung und des Betriebs der notwendigen Komponenten des IKT-Netzes auch entsprechende Frequenznutzungsrechte zu erwerben sind. Im direkten Vergleich zu früheren Generationen wie 4G (LTE) wird der mögliche Frequenzbereich dabei um Spektren > 6 GHz erweitert, den sogenannten mmWave-Bereich, welcher auf kurze Distanzen mit vorwiegend direkter Sichtverbindung höchste Datenraten von 10 Gbit/s unterstützt. Eine weitere durch die Bundesnetzagentur geschaffene Neuerung ist die Ermöglichung des Betriebs lokaler, dedizierter IKT-Netze durch die Industrie. Dazu sind 100 MHz im 3,7 GHz Band zum exklusiven Betrieb industrieller Campus-Kommunikationsnetze reserviert und können gegen eine entsprechende Gebühr bei der Bundesnetzagentur erworben werden [8–10].

Eine weitere Sonderstellung nimmt das 450-MHz Frequenzband ein. Dieses ist zur Nutzung durch IKT für kritische Infrastrukturen der Energie- und Wasserwirtschaft vorgesehen, wobei ungenutzte Ressourcen Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BOS) bereitzustellen sind. Das verfügbare Spektrum von zwei Blöcken zu je 4,74 MHz Bandbreite wird mit einer Laufzeit von 20 Jahren (bis zum 31.12.2040) im gegenwärtig laufenden Ausschreibungsverfahren zu Kosten von 113,5 Mio. € an einen Lizenznehmer zugewiesen, welcher wiederum die Vergabe von Unterlizenzen bzw. den Funknetzaufbau koordiniert [11]. Da die Lizenzen technologieneutral vergeben werden, ist hier zur Maximierung der durch die knappen Frequenzbandbreite bestimmten Datenraten die Nutzung entsprechend effizienter Technologien und somit 5G zu empfehlen.

Ausbreitungseigenschaften von Funktechnologien

Ein weiterer Aspekt besteht in den durch Abbildung 4-2 illustrierten physikalischen Eigenschaften der jeweiligen Frequenzbänder.

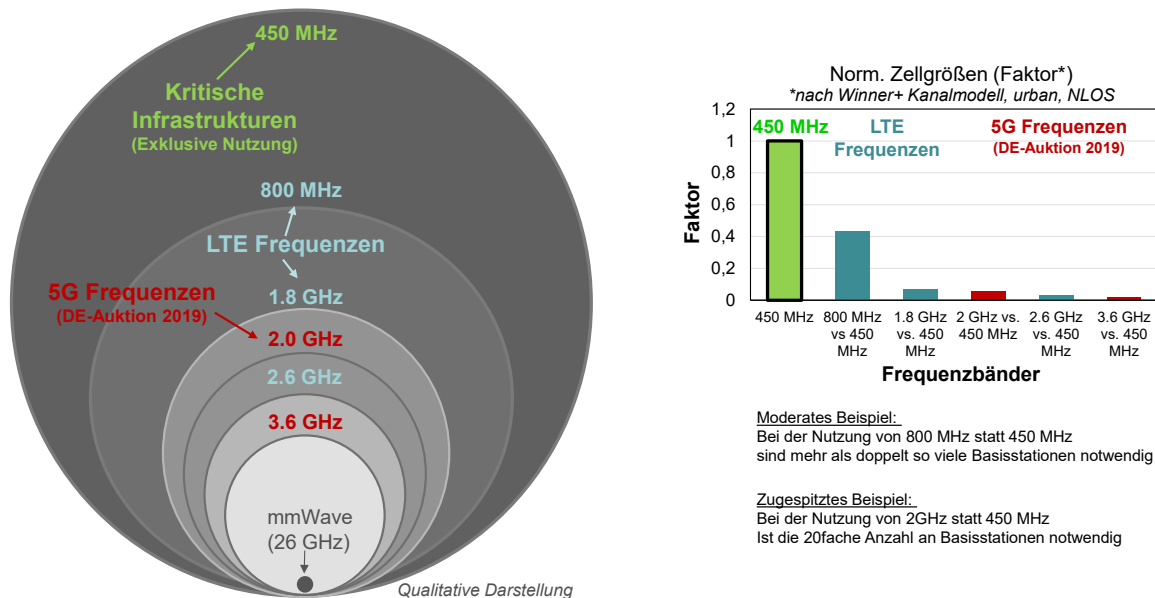


Abbildung 4-2: 450 MHz im Kontext der Reichweiten verschiedener Frequenzbereiche drahtloser Kommunikationslösungen

Das verwendete Frequenzband bestimmt unabhängig von der eingesetzten Kommunikationstechnologie maßgeblich die Ausbreitungseigenschaften des Funksignals. Dabei nehmen die Abdeckung des Funkfeldes und die Durchdringung von Hindernissen wie beispielsweise Wänden mit steigender Frequenz ab. Während das mmWave-Spektrum (hier 26 GHz) eine sehr limitierte Abdeckung erzielt und bereits durch dünnste Materialien im Verbindungsweg blockiert wird [12], können bei 450 MHz große Flächen mit nur einem Sender und zeitgleich Innenräume versorgt werden. Dementsprechend ist das 450 MHz Band optimal dazu geeignet eine großflächige Abdeckung bei minimalem Ausbau des Kommunikationsnetzes zu erzielen [13]. Durch die geringe Anzahl der benötigten Basisstationen kann die für hochkritische Prozesse notwendige Schwarzfallfestigkeit des Energiesystems durch eine autonome Energieversorgung der Funkzellen kosteneffizient erreicht werden. Im Vergleich zu einem IKT-Netzbetrieb bei 2 GHz wird nur ein Zwanzigstel an Basisstationen benötigt, was zu signifikanten Kostenvorteilen aber auch einem beschleunigten Ausbau führt. Ungeachtet dieser Vorteile, sind Anforderungen an die IKT-Netzkapazität zu beachten. Höhere Frequenzen stellen in der Regel breitere Bänder und damit höhere Datenraten bzw. die Unterstützung zahlreicher paralleler Teilnehmer bereit. In Abhängigkeit der erforderlichen Kommunikationsnetzkapazität kann daher somit eine größere Anzahl von Basisstationen erforderlich sein, als eine rein auf die Abdeckung fokussierte Betrachtung vermuten ließe. Hier zeigt sich, dass mitunter ein geeigneter Frequenz- und Technologiemix zur Adressierung der Anforderungen erforderlich ist.

Realisierungsvarianten von Kommunikationsnetzen

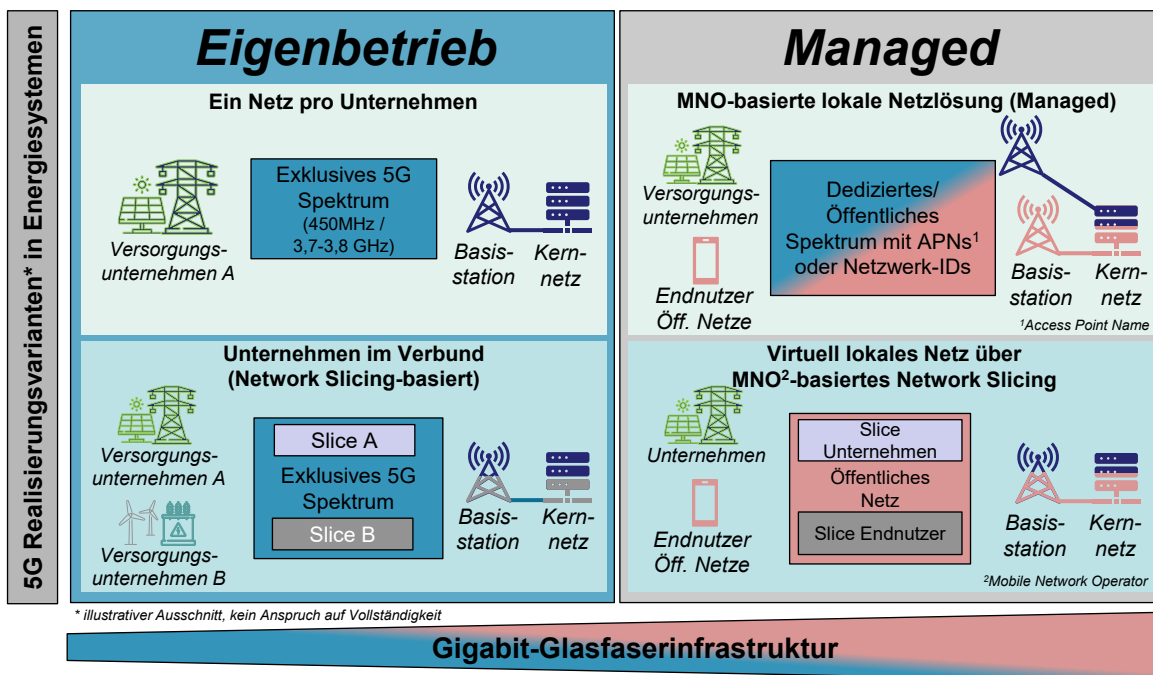


Abbildung 4-3: Realisierungsvarianten zum Betrieb von 5G Kommunikationsnetzen im Kontext exklusiver, lokaler Frequenzen bei 3,7-3,8 GHz bzw. 450 MHz

Abbildung 4-3 illustriert mögliche Realisierungsvarianten zum Betrieb von 5G-Kommunikationsnetzen, die sich vor dem Hintergrund der dedizierten Frequenzbereiche (450 MHz bzw. 3,7 GHz) sowie *Network Slicing* ergeben. Letzteres ist dabei ein Kernaspekt von 5G, welcher die Aufteilung eines physischen Kommunikationsnetzes in virtuell unabhängige Infrastrukturen bei zeitgleicher Einhaltung harter Dienstgütegarantien erlaubt. Einige der zur praktischen Umsetzung relevanten Aspekte befinden sich dabei gegenwärtig im Standardisierungsprozess, womit optimierte Lösungen in zukünftigen Iterationen (Releases) von 5G zu erwarten sind. Die durch 5G *Network Slicing* ermöglichten IKT-Betriebskonzepte sind in der unteren Hälfte von Abbildung 4-3 dargestellt. Links ist der gemeinsame 5G-Netzbetrieb zweier Unternehmen im exklusiven Frequenzbereich dargestellt. Das Management jedes der beiden virtuellen Netze wird durch Slicing unabhängig vorgenommen. Rechts wird das 5G-Netz durch ein etabliertes Telekommunikationsunternehmen betrieben, welches dedizierte Funkressourcen im Rahmen eines Slices zur Verfügung stellt. Diese Option Aufbau und Management der IKT eigenständig oder durch Dritte vornehmen zu lassen ist ohne Slicing in der oberen Hälfte der Abbildung 4-3 illustriert. Die jeweils gewählte Realisierungsvariante beeinflusst neben operationellen technologischen Aspekten auch Investitions- und Betriebskosten. Bedingt durch die Vielzahl an Varianten ergeben sich Potentiale für neue Rollen und Teilnehmer im Kommunikationssektor. Im Kontext von 5G wird dies zusätzlich durch Open Radio Access Network (OpenRAN) erweitert [10]. Diese Initiative verfolgt dabei den Ansatz, den bisher stark an wenigen Anbietern orientierten Markt der Netzausrüster durch offene Schnittstellen der einzelnen 5G-Komponenten zu erweitern. Indem sich beispielsweise Basisstationen, Antennen und Kernnetzfunktionen von verschiedenen Herstellern integrieren lassen, werden Bindungen an einzelne Ausrüster abgeschwächt oder gar

aufgehoben. Neuen Anbietern soll so der Marktzugang erleichtert werden, womit ein gesteigerter Wettbewerb und somit geringere Kosten einhergehen. OpenRAN bietet somit den Rahmen maßgeschneiderte 5G Lösungen für die Digitalisierung der Energiesysteme zu erforschen und auch durch bisher nicht im IKT-Markt verankerte Unternehmen zur Marktreife zu führen.

Weitere relevante Ansätze zur Bereitstellung der von zukünftigen, digitalisierten Energiesystemen benötigten IKT sind Device-to-Device (D2D) sowie satellitengestützte Kommunikationsnetze. Beide Lösungsansätze unterstützen die Schwarzfallfestigkeit. D2D kommt dabei gänzlich ohne klassische IKT-Infrastruktur bzw. Basisstationen aus, indem es eine direkte Kommunikation einzelner Teilnehmer unterstützt. Die dabei auftretenden Herausforderungen erfordern weitere Forschungs- und Entwicklungsarbeiten um eine Marktreife zu erzielen. Satelliten-basierte Kommunikation verlagert derweil die klassische, Basisstation-basierte IKT-Funknetzinfrastruktur in den Erd-Orbit. Damit ist diese insbesondere vor Schäden durch beispielsweise Naturkatastrophen geschützt. Auch hier bestehen Hindernisse vor einem großflächigen Einsatz für kritische Infrastrukturen.

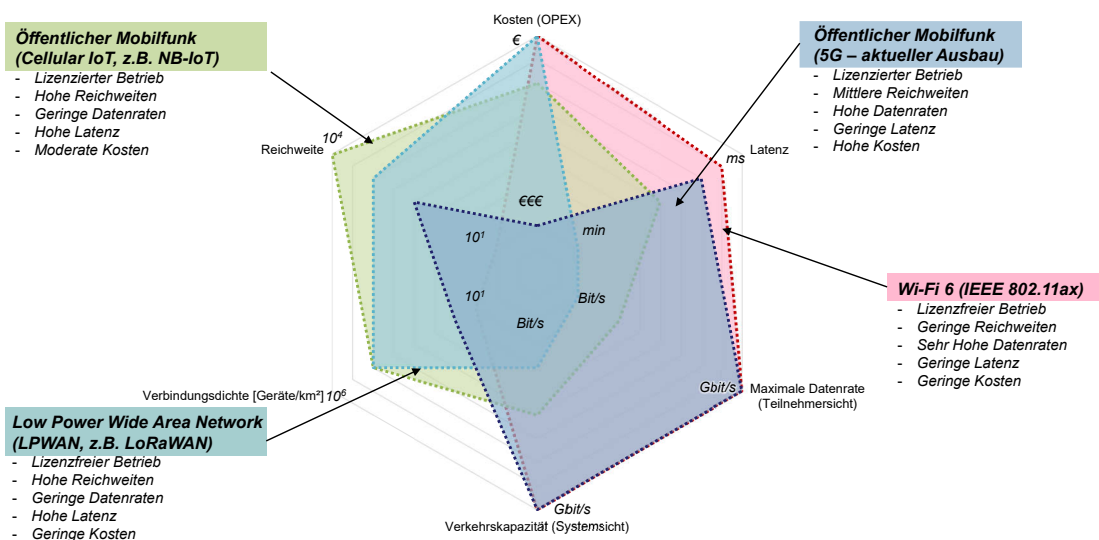


Abbildung 4-4: Qualitative Gegenüberstellung von Kommunikationstechnologien zur Hervorhebung der jeweiligen Anwendungsgebiete für einen optimalen Technologiemix

Eine qualitative Gegenüberstellung einer Auswahl relevanter, am Markt verfügbarer Kommunikationstechnologien erfolgt in Abbildung 4-4. Signifikante Vor- und Nachteile sind dabei herausgestellt, um die Zuordnung zu Anwendungen zu unterstützen.

4.2 Cloud-Dienste und Plattformen

Anstelle eigener Rechenressourcen (z. B. Server, Datenbanken oder Software) werden von Unternehmen vermehrt Cloud-Dienste genutzt. Diese primär internetbasierten Dienste können nach den folgenden Servicemodellen unterschieden werden:

- *Infrastructure-as-a-Service (IaaS)*: der Cloud-Anbieter stellt Rechenleistung, Datenspeicher und/oder Netzwerke virtuell bereit,
- *Platform-as-a-Service (PaaS)*: der Cloud-Anbieter stellt eine Umgebung bereit, die der Nutzer als Programmier- und Testumgebung zur Entwicklung eigener Anwendungen verwenden kann,
- *Software-as-a-Service (SaaS)*: der Cloud-Anbieter stellt Anwendungsprogramme bereit, die von den Nutzern als „Software on demand“ genutzt werden können.

Als wesentliche Vorteile bei der Nutzung von Cloud-Diensten gegenüber dem Aufbau eigener Kapazitäten werden in der Regel die Skalierbarkeit, Schnelligkeit und Flexibilität angeführt.

Ein weiterer Digitalisierungstrend besteht in der Nutzung digitaler Plattformen zur Abwicklung von Geschäftsprozessen und zur Kommunikation sowie zum Datenaustausch zwischen Marktteilnehmern. In [2] wird bspw. ein Plattform-Modell für die digitale Kundenschnittstelle von Energieversorgungsunternehmen vorgeschlagen. Auch für den Netzbetrieb entstehen vermehrt Plattform-Lösungen, wie z. B. im Projekt Connect+ mit der RAIDA-Umgebung, welche zur netzebenenübergreifenden Koordination zwischen ÜNB und VNB im Kontext des Redispatch 2.0 genutzt werden soll [14]. Im Rahmen des SINTEG-Förderprogramms werden ebenfalls „Flexibilitätsplattformen“ entwickelt, die eine regionale, markt-basierte Bewirtschaftung von Netzengpässen mit flexiblen DEA und Verbrauchern ermöglichen [15]. Auch zur Koordination der vier deutschen ÜNB soll für Redispatch-Maßnahmen künftig eine Plattform-Lösung eingesetzt werden. Mit der Einführung des Redispatch-Abwicklungsserver (RAS) im Jahr 2020 werden zunächst die Datenformate und Prozesse harmonisiert, die für den Abruf von Redispatch benötigt werden [16]. Im Folgejahr soll mit dem Redispatch-Ermittlungsserver (RES) eine Plattform in Betrieb gehen, die die kosteneffizientesten Maßnahmen zur Engpassauflösung bestimmt.

4.3 Automatisierte und autonome Systeme

Die großen Fortschritte der Automatisierungstechnologien in den letzten Jahren führen zu immer mehr wirtschaftlichen und technischen Potenzialen in den verschiedensten Industriezweigen. Neben der Produktions- und Fabrikautomatisierung stehen ebenfalls die Prozessautomatisierung sowie der Einsatz im Bereich Robotik und autonomer Systeme verstärkt im Fokus. Auch in der Energiewirtschaft und dem Netzbetrieb ist der Trend hin zu mehr Automatisierung und autonomen Systemen feststellbar. Im Jahr 2020 veröffentlichte beispielsweise der Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik (VDE) ein Impulspapier zur „Systematisierung der Autonomiestufen in der Netzbetriebsführung“ [17].

Die Ziele von Automatisierung und autonomen Systemen werden häufig mit der Steigerung der Effizienz, der Erreichung höherer Reaktions- und Bearbeitungsgeschwindigkeiten und dem Beherrschen komplexer Aufgaben beschrieben. Ein grundsätzliches Unterscheidungsmerkmal hinsichtlich des Grads der Automatisierung oder der Autonomiestufen besteht in der Einbindung und Interaktion mit dem Menschen. Dabei können stark vereinfacht folgende Formen unterschieden werden:

- Human-in-the-loop: der Mensch greift aktiv ein,
- Human-on-the-loop: der Mensch überwacht automatisierte Vorgänge,
- Human-out-of-the-loop: keine Interaktion mit dem Menschen, das System handelt autonom.

Nach [18] kann im Unternehmenskontext außerdem der Reifegrad der Automation als Merkmal herangezogen werden. Dieser beschreibt, inwieweit sich Automatisierung nur auf einzelne Komponenten bezieht oder ob eine Integration verschiedener Automatisierungsmaßnahmen über verschiedene Prozesse hinweg und synchronisiert mit der IT-Landschaft erfolgt.

4.4 Digital Twins

Im Zuge der Entwicklungen hin zu einer Industrie 4.0 werden zur Optimierung und Modernisierung von Anlagen, Komponenten und Prozessen sogenannte *Digital Twins* – Digitale Zwillinge – in der Forschung entwickelt und erstmals praktisch erprobt. Digital Twins sind virtuelle Abbilder physischer Objekte, Strukturen oder Prozesse. Der Digital Twin ist ein digitales Werkzeug, welches für die Überwachung, Simulation sowie Prognose- und Analyseaufgaben eingesetzt werden kann. Ein Digital Twin zeichnet sich nach [19] dadurch aus, dass er Sensor-Daten mit Geschäftsdaten, Kontextinformationen sowie Engineering-Informationen verknüpft.

In diesem Sinne kommen Digital Twins in Form von statischen und dynamischen Netzmodellen, die zur Simulation und Prognose von Stromnetzen eingesetzt werden, bereits seit Jahrzehnten im Netzbetrieb zur Anwendung. Mithilfe von prognostizierten Lastverläufen, Fahrplänen der Erzeuger und detaillierten Netzmodellen, die das elektrische Verhalten abbilden, werden Zustandsinformationen ermittelt und mit Messdaten abgeglichen.

Mit der deutlichen Zunahme an Rechenkapazität haben sich die Möglichkeiten zur Netzsimulation enorm verbessert, sodass sich in der Forschung neuartige und komplexere Ansätze zur netzebenen- oder sektorenübergreifenden Simulation und zur hybriden Simulation von elektrischen Netzen gemeinsam mit der IKT-Infrastruktur herausbilden [20]. Weiterhin besteht ein Forschungstrend in der Berücksichtigung von Unsicherheit verschiedener Kontextinformationen (z. B. Prognoseunsicherheiten von Wetterinformationen), was beispielsweise durch probabilistische Simulationen erreicht wird [21, 22].

4.5 Big Data und Machine Learning

Methoden aus dem Bereich der Datenwissenschaften (engl. Data Science) zielen darauf ab, aus großen Datenmengen oder Datenströmen höherwertige Informationen zu gewinnen. Dieser Prozess gliedert sich in die Teilschritte Datenakquise, -haltung, -verarbeitung, -analyse und -visualisierung [23]. Für den Umgang mit Datenmengen, die große Speicher und hohe Rechenkapazitäten für ihre Auswertung benötigen, bieten sich sogenannte Big-Data-Methoden an. In den Bereich des Maschinellen Lernens (engl. Machine Learning) fallen verschiedenste Verfahren zur Klassifizierung, Prognose und Analyse von Daten. Übertragen auf die Energiewirtschaft bieten Big Data und Machine Learning Potenziale bei der Fehler- und Mustererkennung in Daten. Des Weiteren können daraus Prognosen oder Steuerinformationen für Prozesse gewonnen werden. Mittels der automatisierten Auswertung der Daten oder Datenströme und der Gewinnung verdichteter, höherwertiger und optimierter Informationen können anschließend Prozesse automatisiert werden.

4.6 Distributed-Ledger-Technologien

Das Konzept der Distributed-Ledger-Technologie (DLT) bezeichnet die dezentralisierte Buchführung, bei der individuelle Transaktionen aufeinander aufbauen und mittels kryptographischer Verfahren verkettet werden. Dabei kann ohne Vertrauensbeziehung der einzelnen Teilnehmer ein gültiger Status des Gesamtsystems hergestellt werden. Die bekannteste auf DLT basierende Technologie ist das Blockchain-Verfahren wie es beispielsweise der digitalen Währung Bitcoin zugrunde liegt. Eine für die Digitalisierung der Energiesysteme besonders relevante Option ist die Realisierung von DLT-basierten Smart Contracts. Diese intelligenten Verträge versprechen automatisierte Vertragsabschlüsse mit hoher Sicherheit und reduzierten Transaktionskosten zur Ermöglichung neuartiger Geschäftsmodelle sowie Abwicklungsprozesse. Denkbare Einsatzmöglichkeiten sind die automatisierte Abbildung von Marktprozessen im Bereich der Einspeisevergütung bzw. Entnahmekosten von Prosumern. Dabei besteht erhebliches Potential zur Erforschung und Entwicklung sowohl entsprechender Lösungen, als auch ihrer Auswirkungen auf Energiesystem sowie der verknüpften Kommunikationsinfrastrukturen [24, 25].

5 Auswertung durchgeführter Analysen und Experteninterviews

Dieses Kapitel präsentiert die Ergebnisse der während der Projektlaufzeit erarbeiteten Literaturrecherche, der Analyse der Meldungen des Fachinformationsdienstes „Energate“, sowie den 32 durchgeführten Experteninterviews. Letztere dienen als Ersatz für entfallene Präsenz-Workshops.

Die Analyse der „Energate“-Meldungen umfasste alle Artikel von Oktober 2018 bis einschließlich Juli 2020. Diese wurden mithilfe von Schlagworten im Zusammenhang mit Digitalisierung gefiltert. In einem zweiten Schritt wurde der „Technology Readiness Level“ verwendet. Dabei handelt es sich um eine neunstufige Skala zum Entwicklungsstand von Technologien. In den Meldungen wurde gezielt nach Anwendungen und Technologien gesucht, denen ein Level zwischen 4 und 7 zugeordnet werden konnte, da diese Stufen besonders vielversprechend für die weitere Forschung sind. Der Inhalt dieser Meldungen wurde in diesem Kapitel verarbeitet.

Die Art der Durchführung der Experteninterviews wurde, je nach Themengebiet spezifisch ausgearbeitet. Die Expertengespräche wurden in unterschiedlichen Formaten durchgeführt. Neben der (virtuellen) Teilnahme an Workshops wurden ebenfalls semistrukturierte Interviews, beispielsweise anhand relevanter Folien oder eines Interviewleitfadens, geführt und in einer qualitativen Inhaltsanalyse ausgewertet. Die verwendeten Fragebögen befinden sich in den Anhängen A1 und A2.

Tabelle 5.1: Partner für Experteninterviews

Kategorie	Interviews
Übertragungs- und Verteilnetzbetreiber	8
Energieversorger	4
Telekommunikationsunternehmen	3
Beratungs- und Dienstleistungsunternehmen	3
Softwarehersteller	3
Hardwarehersteller	3
Forschungseinrichtungen	9

5.1 Informations- und Kommunikationswirtschaft

Ein von Experten übergreifend genanntes Hemmnis im Bereich der Informations- und Kommunikationswirtschaft ist die mitunter zu beobachtende Bildung von Silo-Lösungen. Damit werden von einzelnen Akteuren geschaffenen Technologien bezeichnet, welche eine umfassende Interoperabilität und somit übergreifende Beherrschbarkeit und Integration erschweren. Daher sind standardisierte, (quell-)offene Lösungen ein wichtiger Ansatz um dieses Hemmnis der Digitalisierung und Abhängigkeiten zu vermeiden (s. u. beispielsweise OpenRAN).

5.1.1 IKT-Netze für die Digitalisierung der Energiesysteme

Auswahl und Aufbau geeigneter Kommunikationslösungen

Insbesondere im Bereich der Verteilnetze besteht ein Mangel an Sensorik und Fernwirktechnik zur Überwachung des Netzzustands. Gespräche mit Experten zeigen in diesem Bereich eine Zweiteilung der Energienetzbetreiber wie beispielsweise Stadtwerken. So ist ein Teil bereits vergleichsweise fortgeschritten digitalisiert, während andere erst am Anfang der Entwicklung stehen. Der IKT-Sektor offeriert dabei eine Reihe von Lösungsansätzen an, die teilweise komplementär und aber oft auch in Konkurrenz zueinanderstehen. So wird einerseits die LoRaWAN-Technik im lizenzfreien Frequenzbereich angeboten, während andererseits als Zellularfunk-basierte Lösung die schmalbandige Variante NB-IoT (*Narrow-Band IoT*) für Sensoranwendungen in Frage kommt. Die Vielfalt der IKT-Lösungen ist gleichermaßen Chance wie Herausforderung. Hemmnisse entstehen dabei durch ein oftmals unvollständiges Bild in Bezug auf den erzielbaren Nutzen aber auch die Grenzen von einzelnen IKT-Lösungen. Es zeigt sich in den Gesprächen zum Beispiel, dass einzelne Kommunikationslösungen wie LoRaWAN in ihrer Leistungsfähigkeit tendenziell überschätzt werden, während das Potential anderer Technologien, insbesondere von 5G, noch nicht vollständig berücksichtigt wird [26]. Daher ist die Interaktion der Energie- und Kommunikationssektoren zu stärken, um den erforderlichen Transfer und gemeinsamen Austausch zu erreichen.

Ein niederschwelliger Einstieg in z. B. 5G ist beispielsweise durch eine automatisierte Kommunikationsnetzplanung sowie die Bereitstellung eines Baukastens zu realisieren. Derartige Plug-and-Play-Lösungen zur Umsetzung neuartiger Betreibermodelle bzw. von 5G-Campusnetzen sind gemeinsam durch Industrie sowie Forschung zu entwickeln und evaluieren.

Der Praxistransfer kann zudem durch die Herausarbeitung des jeweils optimalen Technologie-Mixes gestärkt werden. Obgleich Experten auf Seiten der Anwender mitunter einzelne IKT-Lösungen fokussieren, kann die Heterogenität der einzubindenden Betriebsmittel und die Anforderungsbreite der Energiesysteme nur durch einen geeigneten Technologiemix

bedient werden. Während mit beispielsweise mit 450 MHz eine großflächige Funknetzabdeckung gewährleistet werden kann, ist die Skalierbarkeit in Bezug auf Anzahl und Datenrate der Teilnehmer gegenüber 5G stark beschränkt. Eine demonstrator-fokussierte Herausarbeitung der jeweils optimalen Lösungsansätze kann hier Akteure des Energiesektors in der Auswahl unterstützen. Dabei sollten Entwicklungs- bzw. Forschungsarbeiten die Leistungsfähigkeit der verschiedenen Technologien, sowie die damit umsetzbaren neuen Dienste, in der Praxis illustrieren und zentral zur Verfügung stellen.

5G Kommunikationsnetze

Die fünfte Generation der Mobilfunknetze wurde erstmalig mit spezifischem Fokus auf industrielle Kommunikation entwickelt. Hohe Zuverlässigkeit, flexible und dynamische Anpassungen an variable Anforderungen sowie harte Dienstgütegarantien sind dabei Kerneigenschaften des Standards. Die Relevanz von 5G für die Digitalisierung der Energiesysteme wird entsprechend hoch bewertet. Ungeachtet dessen ist 5G nicht in jedem Anwendungsfall als optimale Lösung zu betrachten, sondern je nach Kontext durch einen geeigneten Technologiemix zu ergänzen. Auch bestehen zu adressierende Herausforderungen: So ist ein Teil der IKT-Branche noch auf klassische Märkte fokussiert, ohne spezifisch auf die Anforderungen der Energiesysteme einzugehen. Dies äußert sich unter anderem in einem Mangel an entsprechenden, kosteneffizienten Produkten auf 5G-Basis. Der Standard erlaubt beispielsweise den Aufbau und Betrieb dedizierter lokaler Netze. Dieses Konzept konzentriert sich gegenwärtig auf den Bereich von 3,7 GHz, welcher primär für Belange der produzierenden Industrie reserviert wurde. Der Ansatz kann jedoch auf das exklusiv für kritische Infrastrukturen vorgesehene 450 MHz Band übertragen werden. Jedoch gibt es nur wenige Lösungen am Markt, die einen eigenverantwortlichen und kosteneffizienten Aufbau von dedizierten 5G-Netzen erlauben. OpenRAN kann hier als ein Lösungsansatz betrachtet werden. Dabei soll den wenigen integrierten IKT-Netzausrüstern eine offene Alternative entgegengestellt werden, die es ermöglicht einzelne Hard- und Software-Komponenten von 5G von verschiedenen Anbietern zu beziehen. Dies senkt Markteintrittshürden, womit weitere Anbieter in den Wettbewerb einsteigen können. Um dies in der Praxis zu realisieren sind jedoch noch Fragestellungen in Bezug auf die Schnittstellen, Integration und Berücksichtigung der Energiesystemanforderungen zu klären. Entsprechende Entwicklungs- und Forschungsprojekte können hier einen entscheidenden Beitrag leisten. Allgemein ist auch die Leistungsfähigkeit von 5G im Kontext der Energiesysteme kritisch zu hinterfragen sowie in der Praxis zu belegen. Entsprechende Anpassungen zur niederschweligen Nutzbarmachung sind dabei in die fortlaufende Standardisierung zu überführen.

Weiterhin erlaubt 5G die geteilte Nutzung öffentlicher IKT-Infrastrukturen. Damit werden hohe Kosten zur Errichtung der benötigten Infrastruktur sowie die damit verbundene Bauzeit vermieden. Um die Anforderungen der Energiesysteme in geteilten Kommunikationsnetzen zu bedienen, bietet 5G das so genannte Network Slicing. Das Funknetz wird dabei in mehrere virtuelle und unabhängig voneinander konfigurierbare Infrastrukturen aufgeteilt.

Dies kann statisch oder dynamisch erfolgen, wobei letztere Variante die Option einer feingranularen, gebrauchtsabhängigen Abrechnung bei zeitgleicher Einhaltung der erforderlichen Leistungsparameter verspricht. Um der hier mitunter bestehenden Skepsis zu begegnen und die Potentiale des Ansatzes zu heben, sind entsprechend Arbeiten zur Entwicklung und Demonstration von auf Energienetze zugeschnittenen Lösungen anzuraten.

5G mmWave bietet derzeit höchste Datenraten und ist insbesondere zur redundanten Anbindung stationärer Betriebsmittel geeignet. Obgleich eine hohe Sensitivität gegenüber Abschattungen besteht, ergibt sich bedingt durch die ausgeprägte Direktionalität der Funkverbindung ein gesteigertes Maß von Robustheit gegenüber Störsendern. Untersuchungen zur Eignung als Ersatz- oder Rückfalllösung für z. B. Glasfaserkabel sind anzustreben.

5.1.2 Chancen und Herausforderungen neuartiger IKT

Cloud-Dienste und Distributed-Ledger-Technologien

Clouds stellen zentralisiert Serverkapazitäten in Form von Rechenressourcen und Datenspeichern zur Verfügung. Diese werden flexibel nach Bedarf kurzfristig bereitgestellt. Experten bescheinigen auf derartigen Plattformen basierenden Dienste wie beispielsweise einer automatisierten Auswertung von Netzzustandsdaten oder komplexer Lastflussberechnungen hohes Potential. So ist ein zunehmender Automatisierungsgrad der Energiesysteme zu beobachten, welcher sich auch im Bereich der IKT reflektiert und die Einbindung von Cloud-Diensten erleichtert. Dies betrifft in hohem Maße Mittel- und Niederspannungsnetze, welche jedoch primär dezentrale Ansätze integrieren. Hier sind Agentensysteme zu nennen, welche ein Beispiel für durch Edge-Clouds abbildbare Dienste bzw. Netzkomponenten darstellen. Dabei werden Teile der Cloud an den Rand des Kommunikationsnetzes und somit dichter an die jeweiligen Teilnehmer verlagert. Dies reduziert den Datenverkehr der über größere Distanzen transportiert werden muss und senkt die erzielbare Verzögerung. Der dezentrale Charakter steigert zudem die Resilienz, da die lokale Datenverarbeitung nicht von Ausfällen der primären Cloud oder der Weitverkehrs-Kommunikationsnetze betroffen ist. Durch die Ergänzung eines Pufferspeichers oder lokale Speisung wird zudem eine Schwarzfallfestigkeit erreicht. Edge-Clouds bieten so eine robuste Basis für dezentrales Monitoring und Steuerung der IKT- und Energienetze.

IKT in zellularen Energiesystemen

Zellulare Energiesysteme stellen ein Konzept zur Ausbalancierung von Einspeisung und Entnahme auf lokaler Ebene dar. Diese sollen auch als Inselnetz betrieben werden können um einen Netzwiederaufbau und damit Bottom-up-Schwarzstart zu unterstützen. Neben den Betriebsmitteln des Energiesektors sind dazu auch entsprechende Kommunikationsinfrastrukturen notwendig. Lokal installierte Edge-Clouds sind entsprechend als Enabler zu sehen. Durch die fortschreitende Virtualisierung von Kommunikationsnetzen, ist es beispielsweise denkbar die überlagerte 5G-Funkzelle auf Basis der vorhandenen Edge-Cloud zu betreiben. Aufgrund der damit verbundenen Chancen sind entsprechende Arbeiten empfehlenswert. Eine weitere Möglichkeit die Kommunikation im Schwarzfall auf lokaler Ebene

aufrecht zu erhalten ist die Device-to-Device-Technologie (D2D). Dabei sind die einzelnen Teilnehmer befähigt sich unmittelbar und ohne eine klassische IKT-Netzinfrastruktur auszutauschen. Herausforderungen hinsichtlich Reichweite, Performanz und abbildbare Datenflüsse sind durch entsprechende Untersuchungen zu identifizieren und lösen.

Distributed-Ledger-Technologien und insbesondere Smart Contracts zeichnen sich gemäß der Einschätzung von Experten durch ihr hohes Potential für lokale Marktprozesse zellulärer Energienetze aus sowie die Abbildung zukünftiger Handelsstrukturen des Energiesystems. Dabei wird der autonome Handel von Einspeisung- und Entnahme genannt. Auf Seiten der Kommunikation stehen dabei die entstehenden Datenlasten sowie Zuverlässigkeitsbedürfnisse in Verbindung mit dem Energienetzbetrieb im Vordergrund. DLT-basierte Währungskonzepte haben sich als höchst ressourcenintensiv erwiesen. Um derartigen Entwicklungen vorzubeugen ist es erforderlich spezifisch auf die Anforderungen von Energie- und IKT-System zugeschnittene Lösungen zu entwickeln und zur Vermeidung technologischer Insellösungen quelloffen bereitzustellen.

Internet-of-Things, Big Data und Künstliche Intelligenz

Das Internet-of-Things (IoT) wird von den befragten Experten als ein Grundpfeiler von Big Data gesehen. So sollen Daten des Energienetzes, der Smart City und weiterer Quellen in sogenannten, mitunter cloud-basierten, Data Lakes bzw. Hubs zusammengeführt werden. Aus den gebündelten Informationen können dann mittels maschinellen Lernens bzw. Künstlicher Intelligenz (KI) Erkenntnisse für einen stabilen und effizienten Betrieb der IKT- und Energiesysteme abgeleitet werden. So erfordert insbesondere der Redispatch 2.0 präzise Last- und Einspeiseprognosen auf Ebene der Verteilnetzbetreiber. Die notwendige hohe zeit- und räumliche Auflösung kann durch den beschriebenen Ansatz erreicht werden, ist jedoch noch in der Praxis zu bestätigen. Energiewirtschaftliche Anwendungen mit hohem Klimanutzen, z. B. selbstlernende Wärmesteuerung oder die Nutzung von Kleinanlagen-Speichern als Regelenenergie versprechen erhebliches Potential zur Nutzung von KI. Ein weiteres, mehrfach genanntes Beispiel sind durch (IoT-)Sensoren erfasste und im Rahmen von Big Data ausgewertete Netzzustände, die eine Prädiktive Wartung von Betriebsmitteln ermöglichen. Bisher eingesetzte Standardlastprofile können perspektivisch durch maschinelles Lernen auf Grundlage von Big Data ergänzt oder gar ersetzt werden.

Auch die Prädiktion kommunikativer Lasten ist anwendungsgetrieben in Forschung und Entwicklung zu fokussieren, um die Einhaltung höchster Anforderungen an Kommunikationsnetze zu unterstützen. Da die im Kommunikationsnetz für kritische Datenflüsse vorzuhaltenden Kapazitäten an ihre Vorhersehbarkeit geknüpft sind, sind entsprechende Effizienz- und Leistungsgewinne durch die Prädizierbarkeit der jeweiligen Anwendung bedingt.

Durch Experten hinsichtlich IoT-Lösungen geäußerte Kostenvorbehalte sind durch Arbeiten zur Minimierung der mit Kommunikation verbundenen Aufwände zu adressieren. Eine Absenkung der Frequenz und Menge der übertragenen Daten kann mittels modellprädiktiver sowie auf maschinellem Lernen aufsetzender Kommunikation realisiert werden. Dies redu-

ziert die Belastung der IKT-Netze und somit die damit verbundenen Kosten sowie den Energieverbrauch. Die Erhöhung der Energieeffizienz von z. B. Low Power Wide Area Network (LPWAN) Funkmodulen ermöglicht zudem die Vergrößerung kostenintensiver Wartungsintervallen zum Batterieaustausch und unterstützt die Schwarzfallfestigkeit.

5.1.3 Robuste Kommunikation und Cybersicherheit

Ein von Experten oft geäußertes Punkt betrifft Vorbehalte hinsichtlich der Zuverlässigkeit bezüglich der für die Digitalisierung erforderlichen IKT-Systeme. In diesem Kontext sind Sicherheitsaspekte wie die Störfestigkeit verschiedener Funktechnologien in oder nah elektrischer Anlagen zu betrachten. Zur Steigerung der Robustheit der Kommunikationsnetze können zudem Ansätze zur redundanten Überlagerung mehrerer Funkinfrastrukturen verfolgt werden. Diese können dabei sowohl aus dem exklusiven (450 MHz) wie auch öffentlichem Bereich stammen, um mögliche Synergieeffekte für die Praxis abzuleiten.

Im Hinblick auf die Cybersicherheit bestehen zudem Bedenken in Bezug auf die große Anzahl einzubindender IoT-Geräte bzw. Komponenten außerhalb des Zugriffs der Energienetzbetreiber. Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zur Bereitstellung abgehärteter, offener und/oder standardkonformer oder auch standardprägender Schnittstellen der Energieebenen sollten hier einen Beitrag zur Robustheit des Gesamtsystems leisten.

Neben rein auf eine Domäne beschränkten Überlegungen sind insbesondere die Potentiale übergreifender, wechselseitiger Abhängigkeit von IKT- und Energiesystemen zu berücksichtigen. So dürfen sich Ausfälle oder Engpässe in einem Bereich nicht zu Kaskadenfehlern auswachsen. Entsprechend sind robuste Methoden zur autonomen, adaptiven Steuerung und Regelung beider Teilsysteme zu entwerfen und zu erproben, um jederzeit die Stabilität des Gesamtsystems zu wahren.

Das 450 MHz-Band für kritische Infrastrukturen

Sowohl Akteure auf Seiten der IKT als auch im Bereich der Energiesysteme messen dem 450 MHz-Frequenzband eine hohe Relevanz zu. Aufgrund seiner physikalischen Eigenschaften ist der Bereich bestens geeignet eine flächendeckende, robuste Funknetzinfrastuktur zu errichten. Gute Durchdringungseigenschaften erlauben zudem die Anbindung von Geräten im Innenbereich, wie beispielsweise Smart Meter. Infolge dieser guten Ausbreitungseigenschaften reduziert sich die erforderliche Anzahl von Basisstationen, die so mit entsprechend geringerem Aufwand schwarzfallsicher dimensioniert werden können, was sich positiv auf Gesamtkosten bzw. die Verfügbarkeit auswirkt. Dabei hat sich jedoch gezeigt, dass mitunter überhöhte Erwartungen an die - auf Basis der zur Verfügung stehenden Bandbreite von zwei Frequenzblöcken à 4,74 MHz - möglichen Anwendungen bestehen. Hier sind entsprechende Forschungs- und Entwicklungsarbeiten notwendig, um die realisierbaren Potentiale in der Praxis zu bestätigen. Auch fußen existierende IKT-Lösungen im 450-MHz-Bereich zumeist auf CDMA oder 4G. Zur optimierten Ausnutzung der knappen und somit kostspieligen Funkressourcen ist der Einsatz des effizienteren 5G Stan-

dards ratsam. Dies sollte beispielsweise Untersuchungsgegenstand im Rahmen der Umstellung bestehender Pilotfunknetze (wie solcher aus dem Kontext des „Designetz“ Projektes [27]) im laufenden Betrieb sein. Des Weiteren sind gemäß Vergaberichtlinien nicht benötigte Kapazitäten dynamisch und transparent an Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BOS) weiterzureichen, was 5G mittels *Network Slicing* konzeptionell ebenfalls ermöglicht und im Rahmen von Demonstratoren für die Praxis zu evaluieren ist.

5.2 Netzbetrieb

5.2.1 Hochautomatisierte Netzbetriebsführung

Der sichere Betrieb des elektrischen Energienetzes erfolgt auf Höchst- und Hochspannungsebene überwiegend aus Leitwarten heraus. Das Leitwartenpersonal greift dabei auf Netzleitsysteme zurück, mit denen der das Netz überwacht und Betriebsmittel ferngesteuert werden können. Mittel- und Niederspannungsnetze sind meist nicht mit Sensorik und Fernwirktechnik ausgestattet, die eine Erfassung des Netzzustands ermöglichen. Da die Vielfalt elektrischer Anwendungen ebenso zunimmt wie die dazugehörige Volatilität des Einspeise- und Lastverhaltens, sind die Prämissen unter denen die Netze geplant und errichtet wurden teilweise nicht mehr gültig. In der Folge kann es zu lokalen Überlastungen der Betriebsmittel oder Instabilitäten kommen. Im Falle von Mittel- und Niederspannungsnetzen werden diese unter Umständen weder rechtzeitig erkannt noch können sie zügig behoben werden. Die Komplexität des zukünftigen Netzbetriebs lässt sich somit bei gleichem Personaleinsatz nur mithilfe von Automatisierungslösungen beherrschen.

Engpassmanagement

Um entstehende Netzengpässe aufzulösen, hat sich auf Transportnetzebene das Engpassmanagement etabliert. Hierbei wird anhand von Last- und Einspeiseprognosen der Netzzustand ab sieben Tagen vor Ausführung geschätzt. Im Anschluss werden netz- und marktbezogene Maßnahmen (bspw. Redispatch) eingeleitet. Mit der Einführung des „Redispatch 2.0“ aus dem Netzausbaubeschleunigungsgesetzes (NABEG) zum 01.10.2021 werden Anlagen ab 100 kW installierter Leistung in die Redispatchprozesse eingebunden. Dies bedeutet für viele Verteilnetzbetreiber, dass sie erstmals eine prognosebasierte Betriebsplanung durchführen müssen. Bislang erfolgte die Netzbetriebsführung reaktiv. In den Experteninterviews wurde die Einführung des Redispatch 2.0 vielfach als zentrales Digitalisierungsprojekt genannt.

Automatisierung von Leitsystemfunktionen

Anhand der Aussagen der Interviewpartner in Tabelle 5.2 lässt sich schließen, dass auch zukünftig (Zeithorizont 2030) Leitwartenpersonal in Höchst- und Hochspannungsnetzen eingesetzt werden wird, jedoch weitestgehend in Verbindung mit Assistenz- und Automatisierungsfunktionen. Diese beziehen sich neben dem Engpassmanagement auch auf das Stabilitätsmonitoring, die Spannungshaltung sowie den Netzwiederaufbau. Diese Funktionen sind Teil laufender Forschungs- und Entwicklungstätigkeiten.

Tabelle 5.2: Zukünftig eingesetzte Werkzeuge im Engpassmanagement (Experteninterviews)

	Höchstspannung (380/220 kV)	Hochspannung (110 kV)	Mittelspannung (30/20/10 kV)	Niederspannung (0,4 kV)
Leitwartenpersonal	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Assistenzfunktionen im Leitsystem	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Automatisierte Funktionen auf Systemleitebene	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Automatisierte Funktionen auf Stationsleitebene	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Autonome Systeme zur Steuerung und Regelung in Ortsnetzen

In Mittel- und Niederspannungsnetzen muss die Automatisierung des Netzbetriebs nach Ansicht der Interviewpartner dezentral erfolgen - einerseits aufgrund fehlender Beobachtbarkeit und Fernsteuerbarkeit aus der Leitwarten, andererseits aufgrund der hohen Anzahl an Leitungsabgängen. Dank der strahlenförmigen Struktur dieser Netze, können dezentrale Regeleinrichtungen gezielt einzelne Leitungsstränge beeinflussen und sind dabei nur auf eine begrenzte Anzahl an Messpunkten angewiesen. Sie können damit weitgehend autonom agieren. Abstimmungsprozesse mit anderen Netzteilen können über agenten-basierte Ansätze abgewickelt werden. Ein Anwendungsbeispiel für Steuerungs- und Regelungsaufgaben ist der im SINTEG-Projekt ENERA entworfene Netzregler zur Verteilnetzautomatisierung [28, 29].

Robustheit von Automatisierungsanwendungen

Die Potentiale von Automatisierungsanwendungen in Bezug auf die Höherauslastung bestehender Netzinfrastruktur und erhöhter Reaktionsgeschwindigkeit sind abzuwägen mit den Risiken von Fehlfunktionen der eingesetzten digitalen Werkzeuge für die Versorgungsaufgabe. Hierbei kommt der Zuverlässigkeit der eingesetzten IKT eine hohe Bedeutung zu. Das Prozessnetz des Netzbetreibers sollte dazu über redundante, schwarzfallfeste Kommunikationskanäle zu seinen Nachbarn sowie zu den Umspannstationen verfügen. In den Experteninterviews wurden hierfür jedoch vielfach hohe Kosten angeführt.

In weiteren Untersuchungen ist herauszuarbeiten, wie Rückfallebenen oder Notbetriebsarten umgesetzt werden können, falls IKT-Anbindungen ausfallen.

5.2.2 Cybersicherheit

„Alle Digitalisierungsmaßnahmen haben die Aufgabe, die IT-Sicherheit zu berücksichtigen und mit zu bewerten.“

(Zitat aus den Experteninterviews)

Die Auswertung der Experteninterviews hat verdeutlicht, dass das Thema der IT- bzw. Cybersicherheit bereits heute eine hohe Relevanz besitzt und nach der Einschätzung der Fachexperten dieses perspektivisch noch weiter an Bedeutung gewinnen wird. Dabei werden die Risiken umso größer eingeschätzt, je näher sich eine Schnittstelle oder ein Prozess im betriebsrelevanten oder systemkritischen Bereich der Netzbetreiber befindet. Dabei heben insbesondere Vertreter aus dem Bereich der Verteilnetzbetreiber hervor, dass für die Anschlussebenen der Mittel- und Niederspannung gleich hohe Anforderungen wie in überlagerten Netzebenen hinsichtlich des Informationssicherheits-Managementsystems (ISMS) [30] zu erfüllen sind.

Unter dieser Maßgabe ist ersichtlich, dass die Realisierung von Innovationspotenzialen nicht nur von den technischen Vorzügen, sondern auch von den erreichbaren Sicherheitsstandards neuer Systeme und Dienste abhängt. Insbesondere der Einsatz von KI im betriebsnahen Umfeld ist hier ein mögliches Forschungsfeld, da eine mögliche Manipulierbarkeit das Einsatzpotenzial stark einschränken würde.

Außerdem gilt es zu erforschen, inwiefern sich mögliche Risiken außerhalb des Zugriffsbereichs der Netzbetreiber mit weniger hohen Anforderungen an die IT-Sicherheit auswirken können. Mit der zunehmenden Kopplung von IoT-Komponenten oder auch einer großen Anzahl zusätzlicher Verbraucher, die bspw. über Ladesäulen mit dem Netz verbunden sind, entstehen gegebenenfalls neue Einfallstore [31]. Inwiefern der Netzbetrieb resilient gegenüber derartigen Angriffsrisiken ist, gilt es, in Abhängigkeit der Durchdringung und Entwicklungspfade dieser Technologien zu untersuchen.

5.2.3 Schwarzfall und Netzwiederaufbau

Die Koordination einer Vielzahl an verteilten Erzeugungseinheiten und neuen Lasten verändert die Anforderungen an Schwarzfall- und Netzwiederaufbaukonzepte. Die heutigen Konzepte verfahren überwiegend nach dem Top-down-Prinzip, bei dem die ÜNB den Netzwiederaufbau mithilfe schwarzstartfähiger Kraftwerke aus dem Transportnetz koordinieren. Für zukünftige Konzepte ist zu untersuchen, welchen Beitrag zum Netzwiederaufbau dezentrale Anlagen aus den Verteilnetzen liefern können. Eine stärkere Einbindung der VNB in die Prozesskette zum Netzwiederaufbau ist hierbei unerlässlich. Zu den bisherigen Top-down-Strategien können ergänzend Bottom-up-Strategien in Betracht gezogen werden. Vorschläge für verschiedene Kombinationen von Top-down- und Bottom-up-Strategien werden im Forschungsprojekt RestoreGrid4RES vorgeschlagen [32, 33]. Auch der Vorschlag des zellularen Energiesystems nach [6] eröffnet ein großes Potenzial im Umgang mit Störfällen. Hier wäre ein Weiterbetrieb einzelner Zellen im Inselnetzbetrieb möglich, die dann wiederum den Netzwiederaufbau des Gesamtsystems unterstützen könnten. Durch

den Weiterbetrieb von autarken Zellen während eines Störfalls im Gesamtsystem kann potenziell ein höheres Maß an Versorgung für die Öffentlichkeit erreicht werden.

Die Schulung des Leitwartenpersonals für den Netzwiederaufbau bleibt eine wichtige Aufgabe. Hierzu bieten sich Simulatortrainings an, die zukünftig noch stärker die netzübergreifende Koordination sowie die Interaktion zwischen Leitwartenpersonal und Systemautomatiken in den Blick nehmen sollten.

Über die konzeptionelle Ausgestaltung der Koordination hinaus ist ein wesentlicher Schritt die Überführung in technische Prozesse für den Austausch zwischen ÜNB und VNB über digitale Kanäle. Weiterhin ist je nach Ausgestaltung von Netzwiederaufbaukonzepten die Infrastruktur der Verteilnetze auch in den unteren Netzebenen hinsichtlich Fernsteuerbarkeit und Schwarzfallfestigkeit zu ertüchtigen.

Weitere Themenfelder, die im Bereich des Netzwiederaufbaus ein großes Innovationspotenzial bieten, sind:

- Nutzung von batterie-betriebenen Fahrzeugen sowie weiteren „Kleinspeichern“ im Schwarm zum Netzwiederaufbau,
- Monitoring- und Assistenzfunktionen zur schnellen Erkennung und Vermeidung von Störfällen,
- KI-gestützte Entwicklung von Netzwiederaufbaukonzepten, Handlungsstrategien und Einsatzreihenfolgen.

Als Sonderfall eines sicherheitskritischen Störfalls wächst die Bedeutung des „IT-Schwarzfalls“. Mit der zunehmenden Abhängigkeit von digitalen Systemen und Diensten kann der Ausfall dieser Systeme den Netzbetrieb gefährden [34]. Dementsprechend ist die Erforschung und Entwicklung robuster Fallback-Strategien sowie die Verbesserung der Resilienz cyber-physischer Systeme ein weiteres relevantes Forschungsfeld.

5.2.4 Prognose, Monitoring und Simulation

Die dem Echtzeitbetrieb vorausgehende Betriebsplanung dient Netzbetreibern dazu, kritische Netzsituationen im Vorfeld zu erkennen und Gegenmaßnahmen einzuleiten. Einzelne Maßnahmen benötigen dabei Vorlaufzeiten bis zu einer Woche. Netzbetreiber stützen dabei ihre Betriebsplanungsprozesse auf Prognosedaten zur Last- und Einspeisesituation zum Ausführungszeitpunkt. Marktparteien übersenden den Netzbetreibern die prognostizierten Arbeitspunkte ihrer Einspeiser mit den Kraftwerkseinsatzplanungsdaten (ERRP). Die Qualität dieser Daten variiert stark je nach einsendender Marktpartei und ihrem Kraftwerkportfolio. Für die Einspeiseprognose aus Solar- und Windenergieanlagen beziehen Netzbetreiber auch Wetterdaten von externen Prognoseanbietern, die mit der installierten Anlagenleistung im Netzgebiet hochgerechnet wird. Zur Hochrechnung eignen sich des Weiteren auch Fahrzeugdaten [35] sowie Daten aus Intelligenten Messsystemen.

In Abhängigkeit der Größe des Netzes und des Betriebsplanungszeitpunkts stellen Netzbetreiber unterschiedliche Anforderungen an die räumliche und zeitliche Auflösung der Prognosedaten. Die Spanne reicht dabei von 5-Minuten- bis 60-Minuten-Zeitfenster sowie räumlich von 3-x-3-km-Raster bis auf Anlagenebene. Die geforderte Prognosegüte steigt zum Ausführungszeitpunkt immer weiter an, nicht zuletzt für autonom agierende Systemautomatiken.

Aus Sicht der Interviewpartner steigt die Bedeutung von Lastprognosen insbesondere in den Verteilnetzen. Bislang verwendete Standardlastprofile bedürfen aufgrund des sich ändernden Lastverhaltens durch neue elektrische Anwendungen einer Aktualisierung. Hierzu setzt man auch auf die Auswertung von Messdaten intelligenter Messsysteme, deren Einführung jedoch erst 2028 abgeschlossen sein wird [36]. Die Kombination aus stärkerer Volatilität und Gleichzeitigkeit des Leistungsbezugs kann lokal zu Engpässen führen, die bei der Verwendung von Standardlastprofilen zu vermehrtem Netzausbau führen würden. Mithilfe einer Netzzustandsschätzung, basierend auf Messwerten aus dem Feld, und dem Abruf von netzdienlicher Flexibilität lässt sich bestehende Netzinfrastruktur effizienter nutzen. Darüber hinaus eignen sich historische Messreihen zur Nachbildung der Betriebsmittelbelastung über Digital Twins, was eine Einschätzung des Lebensdauerverbrauchs von Betriebsmitteln ermöglicht.

Weitergehende Untersuchungen sollten den Zusammenhang zwischen Prognosegüte und ihren Auswirkungen auf den Netzbetrieb in Augenschein nehmen. Hierzu werden Methoden des Maschinellen Lernens sowie der Energiesystemsimulation benötigt.

5.3 Marktdienstleistungen

Die Digitalisierung der Marktdienstleistungen in der Energiewirtschaft betrifft die klassischen energiewirtschaftlichen Anlagen und Prozesse im Wertschöpfungsnetzwerk. Gleichzeitig werden über Smart-Meter-, Internet-of-Things- (IoT), Smart-Home- und Smart-City-Anwendungen neue Anlagen und Akteure in das Wertschöpfungsnetzwerk einbezogen. Zur Hebung von Synergiepotenzialen an der Schnittstelle zu Netzen und Energiesystemen besteht beim Austausch von Daten und Steuerungssignalen ebenfalls erheblicher Forschungsbedarf.

5.3.1 Lösungen für energiewirtschaftliche Anlagen und Prozesse

Die Auswertung der Experteninterviews zeigt, dass für energiewirtschaftliche Anlagen und Prozesse schon viele Lösungen entwickelt worden sind. So werden z. B. automatisierter Handel mit maschinellem Lernen, virtuelle Kraftwerke oder digitale Lösungen im Vertrieb schon eingesetzt. Der Grad der Digitalisierung ist jedoch bei den Akteuren in der Energiewirtschaft noch sehr unterschiedlich. Während einige Akteure noch dabei sind einfache Prozesse zu digitalisieren, setzen manche Akteure bereits weitestgehend auf digitale Lösungen. Das größte Hemmnis ist häufig nicht in der fehlenden Entwicklung von digitalen

Lösungen, sondern die aufwendige Umstellung der Prozesse, die mit einem Umlernen der Belegschaft viel Zeit und Geld kostet.

In den Experteninterviews wurde die Blockchain-Technologie vielfach als Lösung mit dem größten Innovationspotential für die Energiewirtschaft angegeben. Mit einer Blockchain ist es möglich, ohne eine zentrale Instanz Energie zu handeln und abzurechnen. Diese könnte kleinen Akteuren ermöglichen zu flexiblen Konditionen Strom zu kaufen oder zu verkaufen. Neben dem Forschungsbedarf zur effizienten Implementierung eines solchen Modells sind jedoch auch erhebliche regulatorische Hemmnisse identifiziert worden. Eine offene Frage ist, wie ohne einen zentralen Akteur sichergestellt werden kann, dass rechtliche Rahmenbedingungen eingehalten werden. Als Beispiel sind Meldungen im Rahmen der „REMIT“-Richtlinie (Registrierungs- und Meldepflichten für die Integrität und Transparenz des Energiegroßhandelsmarkts) genannt worden. Ein weiteres Hemmnis ist der komplexe Preisfindungsprozess. Vor allem für Speicher und flexible Lasten bedeutet es einen erheblichen Aufwand die (Opportunitäts-)Kosten zu bestimmen. Hier besteht erheblicher Forschungsbedarf, damit der Blockchain-Handel wirklich zu einer großen Veränderung im Energiehandel führen kann. In verschiedenen Pilotprojekten sind die Vorteile der Blockchain-Technologie als Grundlage für Plattformen mit einer Vielzahl von Akteuren und hoher Dezentralität aufgezeigt worden. Ein Beispiel für eine Blockchain-basierte Plattform zum Flexibilitätsabruf durch Netzbetreiber von Aggregatoren ist die 2020 in Betrieb gegangene Plattform *Equigy* [37].

Insgesamt wurde mehrfach in den Interviews angemerkt, dass eine Bewertung, ökonomisch und ökologisch, von großen Digitalisierungsprojekte eine große Herausforderung darstellt. Während die Kosten für ein Projekt meistens gut abzuschätzen sind, ist der Nutzen meistens nur schwer kalkulierbar. Ein Beispiel sind etwa das Heben von Energieflexibilitäten im Rahmen von Smart City Projekten. Wie die Flexibilitäten genutzt werden und welcher Wert dadurch generiert wird, ist für potenzielle Anwender schwer abschätzbar.

5.3.2 Smart-Meter- und IoT-Anwendungen

Smart Meter und IoT werden neue Möglichkeiten im Monitoring und in der Steuerung von Kleinanlagen bieten. Ein Wert kann dabei z. B. die Vermarktung von bisher ungenutzten Flexibilitäten generieren. Die Daten können zudem für Vorhersagen und Analysen verwendet werden. Mit Smart Metern und einer IoT-Infrastruktur ist es zudem möglich mit variablen Tarifen den Verbrauch von Haushalten indirekt zu steuern. Dieses Flexibilitätspotenzial kann die Integration von Wind- und PV-Anlagen unterstützen. In den Experteninterviews sind dabei auch Herausforderungen genannt worden. Als Erstes ist eine Umstellung der Energieanwendung im Haushalt auf IoT-Technologie aktuell noch teuer und die Nutzungsdauer von z. B. Heizungen hoch. Damit ergibt sich potenziell Forschungsbedarf im Hinblick auf die Beschleunigung des Umstiegs. Des Weiteren sind die finanziellen Anreize für die Haushalte ggf. zu gering, um wirklich ein verändertes Verhalten zu bewirken. Es hat in den letzten Jahren wenig Preisspitzen an den Börsen gegeben, so dass die Wirtschaftlichkeit

bislang schwer darzustellen ist. Zudem stellen die aktuellen Umlagen, Abgaben und Entgeltstruktur ein Hindernis dar, da die variablen Börsenstrompreise nur einen kleinen Teil der Strompreise für Haushalte ausmachen und Anteile wie die EEG-Umlage und Netzentgelte zeitlich nicht variabel sind. Ein weiteres Hemmnis ist die fehlende Standardisierung. Es fehlt bislang an geräte- und anbieterübergreifende Plattformlösungen bzw. Standards, so dass Smart-Home-Lösungen nicht immer kompatibel zu den Geräten aller Hersteller sind und sich Haushalte mit einer Investition potenziell in eine Abhängigkeit von einem Anbieter begeben. Darüber hinaus ist in den Experteninterviews die Frage aufgeworfen worden, ob durch den Zubau von Wärmepumpen und den Umstieg auf E-Mobilität bald ein großes Potenzial an kurzfristiger Flexibilität zur Verfügung stehen könnte, wodurch der Wert der Flexibilität eines Haushaltes stark sinken würde. Dem gegenüber stehen jedoch individuelle Präferenzen der Haushalte, um z. B. den Eigenverbrauch zu steigern oder den ökologischen Fußabdruck des Haushalts zu reduzieren. Insgesamt wird der Bedarf für kostengünstige, einfach umsetzbare, standardisierte und plattformbasierte IoT-Lösungen zur Laststeuerung inkl. Smart Home einschließlich marktkonformer Prozesse identifiziert.

5.3.3 Lösungen in Verbindung mit Smart Cities und Smart Homes

Aktuell existieren viele Smart-City-Initiativen, dies hat sich auch in einer hohen Anzahl an Meldungen im Branchennachrichtendienst „Energate“ im Bereich *Neue Märkte* niedergeschlagen [38]. Viele Kommunen und Städte erhoffen sich dadurch einen wirtschaftlichen Nutzen oder eine Verbesserung ihrer Klimabilanz. In den Experteninterviews, wurde bei den Smart-City-Initiativen kritisiert, dass viele Städte teure eigene Konzepte entwickeln.

Günstiger wären standardisierte Lösungen, die von Städten übernommen werden könnten, wodurch auch Netzwerkeffekte ermöglicht werden. Des Weiteren wurde eine fehlende wirtschaftliche und ökologische Bewertung der Initiativen bemängelt. Solch eine Bewertung eines Smart-City- oder Digitalisierungsprojekts ist bislang mit einem hohen Aufwand verbunden und für kleine Kommunen aktuell kaum umsetzbar. Aufgrund der komplexen Wechselwirkungen und dem Zusammenspiel verschiedener Akteure muss eine Bewertung vielfältige Interdependenzen berücksichtigen. Hier könnten akteurszentrierte Simulationen, die die Identifizierung der Effekte einzelner Digitalisierungsvorhaben ermöglichen.

Hier besteht Forschungsbedarf im Hinblick auf leicht bedienbare Simulationsplattformen, die ein agentenbasiertes Framework nutzen, sodass Kommunen und Städte weitestgehend selbständig Smart-City-Projekte bewerten können.

5.4 Koordination von Markt und Netz

Zwischen Elektrizitätsmärkten und –netzen bestehen vielfältige Wechselwirkungen. Aufgrund der begrenzten Transportkapazität des Netzes sind auch die Handelskapazitäten zwischen Marktgebieten als auch innerhalb eines Marktgebiets begrenzt. Im Sinne der bestmöglichen Nutzung der Netzinfrastruktur ist der Netzbetreiber auf valide Meldungen zur geplanten Einspeisung sowie dem Flexibilitätspotential durch die Marktparteien angewiesen. Um die Potenziale der Digitalisierung für Markt und Netz bestmöglich zu heben, ist die angewandte Forschung zu Koordinationsmechanismen im Energiesystem erforderlich. Die IKT-Plattform(en) für den Energiesystembetrieb sollte(n) idealerweise einfach und effizient eine Vielzahl unterschiedlicher Akteure koordinieren. Dazu ist eine Standardisierung von Datenaustauschformaten und Koordinationsmechanismen erforderlich, idealerweise auch über verschiedene Sektoren hinweg. Eine Standardisierung von Koordinationsmechanismen hilft der Kommunikationsumsetzung zwischen Endkunden, Lieferanten, der diversen Marktteilnehmer und den Netzbetreibern und ermöglicht den Austausch von Energiemengen zwischen Markt und Netz.

Insbesondere werden intelligente Lösungen zur Multiakteurs-Koordination benötigt, um eine effiziente Transformation hin zu einem digitalisierten Energiesystem zu gewährleisten. Im Rahmen der Experteninterviews hat sich gezeigt, dass klare Vorgaben zur Koordination von Markt und Netz im Kontext der Sektorenkopplung vermisst werden. Zusammengefasst sind folgende Punkte zur effizienten Ausgestaltung einer Multiakteurs-Koordination wünschenswert.

Simulationen für Koordinationslösungen

- Multiagenten-basierte Simulationsplattformen mit hohem technischen Detaillierungsgrad (Digital Twins)
- Berücksichtigung von Rollen verschiedener Agenten, deren Verhaltensmustern und deren ökonomischen Anreize
- Berücksichtigung von Interessenskonflikten
- Abbildung der Wechselwirkungen zwischen Investitionsentscheidungen und betrieblichen Entscheidungen

Klare und einfache Vorgaben zu Regularien zur

- Ausgestaltung der Netzentgelte, insbesondere im Hinblick auf netzdienliche Maßnahmen
- Anreizmöglichkeiten zur Nutzung von Flexibilität

Ausgestaltung von Koordinationsprozessen

- Definition von organisatorischen und technischen Schnittstellen zwischen Markt und Netz
- Klärung von Zuständigkeiten insbesondere bei sektorübergreifenden Fragestellungen

5.5 Zusammenfassung der Analyse

Die wesentlichen Themen, die in der Analyse identifiziert wurden, werden im Folgenden für die Bereiche IKT, Energiesystemtechnik/Netzbetriebsführung und Energiemärkte aufgelistet. Eine weitere Bündelung zu einzelnen Handlungsempfehlungen findet anschließend in Kapitel 6 statt.

Kommunikationstechnologien, IKT-Methoden, Robustheit/Cybersicherheit

- Optimierter IKT-Technologiemix (5G, 450 MHz, LoRaWAN, 5G mmWave, D2D-Kommunikation) in Demonstratoren
- 5G mit 450 MHz mit z. B. OpenRAN für Energiesystemanwendungen
- 5G Network Slicing für Anwendungen bei sicherheitskritischen Infrastrukturen
- Edge-Cloud-Ansätze für resiliente verteilte Automatisierungsfunktionen
- Quelloffene Distributed-Ledger-Technologien für Anwendungen in Energiesystemen
- Erarbeitung und Erprobung von Data-Lakes/-Hubs mit Big Data / KI-Anwendungen für Netzbetrieb, Laststeuerung, Prognose etc.
- Energieeffizienz von IoT-Ansätzen bei IKT-basierten verteilten Steuerungsmechanismen
- Erarbeitung offener/standardkonformer oder –prägender IoT-Schnittstellen

Anwendungen in der Energiesystemtechnik / Netzbetriebsführung

- Hochautomatisierte Netzbetriebsführung mit Assistenzfunktionen in Leitwarten
- Autonome Netzüberwachungs- und -steuerungsfunktionen speziell in unteren Netzebenen
- Automatisierte koordinierte Lösungen für Engpassmanagement und Redispatch 2.0
- Umsetzung zellulärer Energiesystemstrukturen für Inselnetzbetrieb und Schwarzstart unter Nutzung der o. g. IKT-Netzansätze
- Erprobung resilienter wechselseitiger IKT- und Energieanwendungslösungen zur Automatisierung des Netz- und Energiesystembetriebs
- Daten- und KI-basierte Prognosen für den Energiesystembetrieb und Märkte

Marktbezogene Aspekte

- Digitalisierungsprozesse zur Umsetzung der Digitalisierung bewertbar und beherrschbar machen
 - Kostengünstige, einfach umsetzbare, standardisierte, plattformbasierte IoT-Lösungen zur Laststeuerung inkl. Smart Home einschließlich marktkonformer Prozesse
 - Simulationsplattformen zur Analyse von Koordinationslösungen und Interaktionen zwischen Markt- und Netzakteuren einschließlich Investitionsentscheidungen unter verschiedenen Rahmenbedingungen
- Standardisierung von digitalen Koordinationsmechanismen zwischen Markt und Netz

6 Roadmap

Im Folgenden wird aus den vorangegangenen Analysen eine Roadmap für weitergehende Schritte in Politik, Wirtschaft und Wissenschaft in NRW entwickelt. Ausgehend von fünf Handlungsempfehlungen (E) leiten sich drei übergeordnete Aktivitäten (A) ab.

Die aufgeführten Handlungsempfehlungen leiten sich aus den thematischen Erkenntnissen der vorhergehenden Analyse ab und bündeln diese. In jedem der Bereiche E1 bis E5 sind zu den dort genannten Themen Innovationen voranzutreiben. Dieses fängt jeweils bei F&E-Aktivitäten in Forschungseinrichtungen und der Industrie an und muss über zügige Feldtests in Reallaboren und späteren Verwertungen in standardisierten Lösungen weitergeführt werden.

In den übergeordneten Aktivitäten A1 bis A3 werden umfassendere und mehrere Handlungen vernetzende Aspekte zusammengefasst, wodurch besondere Schwerpunkte gesetzt werden.

6.1 Handlungsempfehlungen

6.1.1 E1: Sektorübergreifende Koordinationsmechanismen

These

Die Koordination von Marktteilnehmern und Netzbetreibern verschiedener Energiesektoren erfordert neue Regularien und digitale Werkzeuge.

Entscheidungs-/Handlungs-/Entwicklungsbedarf

- Erstellung eines sektorübergreifenden Regelwerks zur Steuerung und dem Datenabruf bei Prosumern und Flexibilitätsanbietern über Smart Meter.
- Schaffung von Regularien und Schnittstellen für den sektorübergreifenden Austausch von Planungs- und Prognosedaten.
- Harmonisierung der Netz- und Betriebsplanungsprozesse von Strom-, Gas- und Wärmenetzbetreibern sowie Ladeinfrastrukturanbietern.

Untersuchungsbedarf

- Welche Auswirkungen haben die Sektorinteraktionen auf die jeweiligen Netze und Märkte?
- Einsparpotentiale beim Netzausbau und Energiebezug durch sektorübergreifende Flexibilität
- Resilienz- und IKT-Sicherheitsaspekte

Priorisierung: hoch**Beteiligte Akteure in NRW**

Wirtschaftsministerium, Bundesnetzagentur, Netzbetreiber, Marktteilnehmer, Stadtwerke, Kommunen, Haushalte, Forschungseinrichtungen

Erläuterung

Power-to-X-Technologien verlassen zunehmend den Pilotstatus und sorgen so für eine faktische Kopplung der Sektoren Elektrizität, Wärme, Mobilität und Industrie. Bislang fehlt es an technischen und organisatorischen Koordinationsmechanismen, die eine integrierte Planung sowie einen gemeinsam optimierten Betrieb der bislang getrennten Systeme ermöglichen. Hierzu sind bisherige Methoden zur Netz- und Betriebsplanung um die jeweiligen Besonderheiten der jeweilig anderen Sektoren zu erweitern. Mithilfe von sektorübergreifenden Regularien sollen die Interessen von Marktteilnehmern, Netzbetreibern und Prosumern ausgeglichen werden.

Übergeordnete Aktivitäten

- A1: Vernetzung von Akteuren der Energie-, Netz- und IKT-Wirtschaft in Forschungs- und Demonstrationsprojekten
- A2: Aufbau von hybriden Daten- und Simulationsplattformen

6.1.2 E2: Hochautomatisierte, autonome Netzbetriebsführung**These**

Zur Beherrschung der Vielzahl an Steuerungs- und Regelungsaufgaben in künftigen Elektrizitätsnetzen ist der Einsatz von Automatisierungstechnologien bzw. autonomen Systemen unerlässlich.

Entscheidungs-/Handlungs-/Entwicklungsbedarf

- Umfassende Ausstattung von Verteilnetzen mit Sensorik, Aktorik und Regelungsalgorithmen
- Einsatz und Weiterentwicklung von Assistenzsystemen für Leitwartenpersonal zur Netzbetriebsführung
- Entwicklung von autonomen Netzbetriebsführungskonzepten

Untersuchungsbedarf

- Prozessanbindung, Koordination und Rückfallebenen von (teil-)automatisierten bzw. autonomen Netzbetriebsführungskonzepten
- Einsparpotentiale durch reduzierten Netzausbau und effizientere Netzbetriebsführung
- Bewertung der Versorgungszuverlässigkeit

Priorisierung: hoch**Beteiligte Akteure in NRW**

Netzbetreiber, Leitsystemhersteller, Forschungseinrichtungen

Erläuterung

In Höchst- und Hochspannungsnetzen wird das Leitwartenpersonal zukünftig zwingend auf Assistenzfunktionen für die Auswahl und (teil-)automatisierte Umsetzung von engpassbehebenden und stabilitätsverbessernden Betriebsentscheidungen angewiesen sein. Hierzu werden unter anderem Funktionen für das kurative Engpassmanagement, das Monitoring der dynamischen Stabilität und den Netzwiederaufbau aus Verteilnetzen benötigt. Für Mittel- und Niederspannungsnetze sind intelligente Steuerungs- und Regelungsalgorithmen zu entwickeln, die ihre Aufgabe dezentral und weitgehend autonom vornehmen.

Übergeordnete Aktivitäten

- A2: Aufbau von hybriden Daten- und Simulationsplattformen
- A3: Hochautomatisierte Netzbetriebsführung mit zukunftsweisender IKT

6.1.3 E3: Plattformlösungen für Daten, Simulationen und neue Geschäftsmodelle

These:

Im Rahmen der Digitalisierung sind Plattformlösungen für die Vernetzung unterschiedlicher Akteure von zentraler Bedeutung. Um die Digitalisierung der Energiewirtschaft in Verbindung mit Smart Cities, Smart Mobility und Smart Home voranzubringen, sind mit empirischen Daten gefütterte Simulationsplattformen in der Vorplanungsphase von zentraler Bedeutung

Entscheidungs-/Handlungs-/Entwicklungsbedarf

Mit dem einsetzenden flächendeckenden Rollout von Smart Metern müssen Energieunternehmen und Netzbetreiber Konzepte entwickeln, wie die damit verfügbaren Daten nutzbringend und datenschutzrechtskonform angewendet werden können. Dazu sind entsprechende Geschäftsmodelle, Produktlösungen und Algorithmen zu entwickeln. Neben rein privatwirtschaftlich erfolgsversprechenden Ansätzen sind aus staatlicher Sicht auch Ansätze erforschenswert, die einen klaren Klima- und Flexibilitätsnutzen für das Gesamtsystem versprechen. Um einen größtmöglichen Nutzen zu generieren, sind Datenplattformen mit standardisierten Formaten und Schnittstellen, diskriminierungsfreien Zugängen sowie Vergütungsmodellen vorteilhaft.

Untersuchungsbedarf

- Wie können Smart-Meter-Daten für die Netzzustandsschätzung in der Niederspannungsebene eingesetzt werden?
- Welche Ausgestaltungsformen von flexiblen Stromtarifen und kundenzentrierten Lösungen sind erfolgversprechend?

- Wie können erfolgversprechende Konzepte für aktorsübergreifende Datenplattformen aussehen?
- Wie können Real-Daten (aus Datenplattformen) automatisiert und zeitnah in Simulationsplattformen übernommen werden?
- Wie können Simulationsplattformen ausgestaltet werden, so dass damit aktorsübergreifende Abstimmungs- und Planungsprozesse effektiv unterstützt werden können.
- Wie und unter welchen Bedingungen können automatisierte dezentrale Handelsgeschäfte auf entsprechenden Plattformen zum effizienten Netzmanagement und zum Klimaschutz beitragen?

Priorisierung: hoch

Erläuterungen

Daten aus intelligenten Messsystemen (Smart Meter) werden insbesondere für energie- und netzwirtschaftliche Anwendungsfälle als relevant eingestuft – zum Beispiel für flexible Stromtarife oder die Netzzustandsschätzung in der Niederspannungsebene. Neue wirtschaftliche Geschäftsmodelle werden zeitnah erwartet, weshalb eine anwendungsorientierte Forschung zu empfehlen ist. Zur Umsetzung ist die Einbindung von Smart-Home- und Smart-City-Lösungen von Wohnungsbaugesellschaften bzw. Kommunen dabei vielversprechend, da über diese ein großes Potenzial zur Maximierung des Klimanutzens und zum Abruf von Flexibilitäten genutzt werden kann.

Die Bündelung von Markt-, Netz-, Verbrauchs- und weiteren Daten, etwa zu Verkehrsströmen oder Wetterbedingungen, in gemeinsamen Plattformen verspricht dabei eine Weiterentwicklung von Geschäftsmodellen und den Eintritt neuer Marktteilnehmer.

Plattformen mit historischen und in Live-Daten bilden die Grundlage für die Entwicklung von **Simulationsplattformen**. Hiermit werden Effizienzverbesserungen durch sektorübergreifende Energieversorgung von Gebäuden und die Wechselwirkung zwischen Markt und Netz ermöglicht. Zusätzlich bieten Simulationsplattformen Möglichkeiten zur verbesserten Planung und einem effizienteren Betrieb von elektrischen bzw. sektorkoppelnden Energienetzen inkl. Ladeinfrastruktur sowie dem Training von Leitwartenpersonal. Zielgruppengerechte Visualisierungen unterstützen Kommunen, Unternehmen und Kunden bei der Ableitung von Erkenntnissen und Entscheidungen.

Übergeordnete Aktivitäten

- A1: Vernetzung von Akteuren der Energie-, Netz- und IKT-Wirtschaft in Forschungs- und Demonstrationsprojekten
- A2: Aufbau von hybriden Daten- und Simulationsplattformen

6.1.4 E4: Methoden zur ökonomischen, ökologischen und regulatorischen Bewertung von Digitalisierungsprojekten

These:

Digitalisierungsprojekte werden erfolgreicher, wenn es standardisierte Verfahren zur Bewertung der ökonomischen und ökologischen Vorteile der Projekte gibt. Dabei ist auch eine standardisierte Analyse der Abhängigkeit des Erfolgs von Veränderungen im regulatorischen und sonstigen Umfeld vorzusehen.

Entscheidungs-/Handlungs-/Entwicklungsbedarf

Unternehmen der Energiewirtschaft, Kommunen, Unternehmen der Wohnungswirtschaft und andere Akteure im energiewirtschaftlichen Umfeld müssen ihre Prozesse weiter digitalisieren. Hierfür sind erhebliche Investitionen erforderlich und zugleich ist häufig wenig klar, inwiefern der Einsatz zusätzlicher Personal- und Finanzressourcen positive Effekte auf die wirtschaftliche Situation der Unternehmen und auf die Schonung natürlicher Ressourcen hat.

Untersuchungsbedarf

- Wie können Nutzen und Kosten von IT-Projekten vorab mit standardisierten, effizienten Konzepten gut abgeschätzt werden unter Berücksichtigung des Nutzens für das Unternehmen und für die Umwelt?
- Wie können die Abhängigkeiten des IT-Projekterfolgs von Entwicklungen im unternehmerischen bzw. institutionellen Umfeld einschließlich regulatorischen Entwicklungen transparent gemacht werden?
- Welche Rolle können in diesem Kontext Normen und von Branchenverbänden entwickelte Standards spielen?
- Könnte insbesondere eine Bewertung der Klimaeffekte von Projekten auf der Basis standardisierter Grenzschadenskosten der Umweltverschmutzung (z. B. 180 €/t CO₂ entsprechend [39]) zu einer nachhaltigeren Entscheidungsfindung von Kommunen und Unternehmen beitragen?

Priorisierung: mittel-hoch

Erläuterung

Die Entscheidung zur Umsetzung von Digitalisierungsprojekten ist im Allgemeinen vom ökologischen und ökonomischen Nutzen getrieben. In den meisten Fällen entscheiden sich Entscheidungsträger gegen Digitalisierungsprojekte, da eine Quantifizierung durch Bewertung des ökologischen und ökonomischen Nutzens komplex ist. Während sich die Kosten leicht beziffern lassen, so ist der Nutzen monetär bzw. in Form von eingesparten Treibhausgasemissionen schwer einzuschätzen. Dies kann dazu führen, dass vor allem in Unternehmen die Umsetzung teilweise scheuen oder bei der Investitionsentscheidung in Digitalisie-

rungsprojekte wesentliche Aspekte außer Acht lassen. Um Hemmnisse zur Umsetzung solcher Projekte abzubauen, sind allgemeingültige, standardisierte und öffentlich zugängliche Bewertungsschemata wünschenswert.

Aufgrund der Vielzahl der potenziellen Projekte ist es wichtig allgemeine und praxistaugliche Methoden zur Bewertung zu entwickeln. Der Fokus sollte bei der kommunalen Energiewirtschaft sowie der Immobilienwirtschaft und kommunalen Liegenschaft liegen, da diese nach der Einschätzung der Experten besonders von einer weiteren Digitalisierung profitieren können.

Übergeordnete Aktivitäten

- A1: Vernetzung von Akteuren der Energie-, Netz- und IKT-Wirtschaft in Forschungs- und Demonstrationsprojekten

6.1.5 E5: Kommunikationstechnologien für die Energie- und Netzwirtschaft

These

Leistungsfähige und resiliente Kommunikationslösungen auf allen Ebenen des Energiesektors sind die Grundvoraussetzung zur Unterstützung der Sektorenkopplung im Rahmen der Energiesystemtransformation. Dabei hat sich gezeigt, dass mitunter für den jeweiligen Anwendungsfall ungeeignete Kommunikationsnetze ausgewählt werden. Hier besteht somit ein Bedarf, die für die jeweiligen Anforderungen geeigneten Lösungen zu entwickeln. Diese sind zudem in optimalen Technologiemixen zusammenzustellen sowie im Feld zu evaluieren, um Anwendern niederschwellige Nutzungsmöglichkeiten zu eröffnen.

Entscheidungs-/Handlungs-/Entwicklungsbedarf

- Schaffung einheitlicher Regularien und Schnittstellen für den sektorübergreifenden Austausch erhobener Daten zur Vermeidung von Insellösungen und Nutzbarmachung für Big Data bzw. Machine Learning.
- Überführung von Anforderungen aus der Praxis in die Standardisierung und Entwicklung flexibler sowie energieeffizienter und leistungsfähiger Kommunikationslösungen.

Untersuchungsbedarf

- Welcher IKT-Technologiemix (u. a. 5G bei 450 MHz, NB-IoT, LoRaWAN, Satellitentechnologien, bzw. deren paralleler Einsatz), Betreibermodelle (Eigenbetrieb, Mietmodelle, Slicing, etc.) und Netztopologien ermöglichen eine optimale Abbildung kritischer Anwendungsszenarien des Energiesektors?
- Untersuchung der durch innovative offene, Software- und KI-getriebene IKT (z. B. OpenRAN) ermöglichten neuartigen Anwendungskonzepte und damit verbundener Potentiale.
- Integrative Betrachtung der Wechselwirkungen künftiger Energie- und IKT-Systeme und Berücksichtigung zur iterativen Standardisierung von 5G sowie 6G.

- Entwicklung von Methoden zur Quantifizierung und Steigerung der Energieeffizienz, Leistungsfähigkeit sowie Resilienz von Kommunikationslösungen.

Priorisierung: hoch**Beteiligte Akteure in NRW**

Wirtschaftsministerium, Bundesnetzagentur, (IKT)-Netzbetreiber, Energie- und IKT-Marktteilnehmer, Stadtwerke, Kommunen, Forschungseinrichtungen

Erläuterung

Vor dem Hintergrund einer zunehmenden Anzahl spezifischer Kommunikationslösungen stellt sich die Frage nach dem situativ optimalen Technologie-Mix (u. a. 450 MHz und weitere Frequenzbereiche, 4G und 5G-Lösungen, LoRaWAN und andere LPWAN-Techniken, drahtgebundene IKT), sowie dessen wissenschaftlich-praktischer Umsetzung inklusiver technischer, protokollübergreifender Orchestrierung und Betrachtung von Resilienzaspekten. Innovative offene, Software- und KI-getriebene IKT wie der OpenRAN Ansatz ermöglichen eine Stärkung des Standort Deutschlands sowie der Souveränität im Kontext kritischer Infrastrukturen, und die Realisierung neuartiger Anwendungskonzepte. Diese gilt es zu identifizieren und im Rahmen einer integrativen Betrachtung der Wechselwirkungen künftiger Energie- und IKT-Systeme zu evaluieren.

Übergeordnete Aktivitäten

- A1: Vernetzung von Akteuren der Energie-, Netz- und IKT-Wirtschaft in Forschungs- und Demonstrationsprojekten
- A2: Aufbau von hybriden Daten- und Simulationsplattformen
- A3: Hochautomatisierte Netzbetriebsführung mit zukunftsweisender IKT

6.2 Übergeordnete Aktivitäten

Auf Basis der vorangegangenen Handlungsempfehlungen werden im Folgenden Vorschläge für konkrete ausgewählte Aktivitäten durch das Land NRW gemacht. Aspekte der IKT sind dabei bewusst integriert um die enge Verknüpfung beider Domänen bzw. den anwendungsgetriebenen Fokus zu verdeutlichen und in übergreifenden Aktivitäten zu bündeln.

6.2.1 A1: Vernetzung von Akteuren der Energie-, Netz- und IKT-Wirtschaft in Forschungs- und Demonstrationsprojekten

Durch die steigende Nutzung von digitalen Systemen und Diensten in Stromnetzen nehmen die wechselseitigen Abhängigkeiten zwischen IKT und Software auf der einen und dem energietechnischen Betrieb auf der anderen Seite zu. Hierdurch entsteht ein „cyber-physisches“ System. Dies macht eine interdisziplinäre Erforschung notwendig, die neben der Energiesystemforschung auch informations-, kommunikationstechnische Aspekte sowie die Informatik berücksichtigt. Die jeweiligen Forschungsdisziplinen sind einzeln betrachtet in NRW stark vertreten, bspw. an den Standorten Aachen, Bochum, Duisburg-Essen und Dortmund. Eine interdisziplinäre Zusammenarbeit erfolgt bislang nur in vereinzelt Drittmittelprojekten. Eine Verstärkung dieser **kooperativen Forschungsaktivitäten** sowie die Institutionalisierung von interdisziplinären Forschungszweigen sollten verfolgt werden. Als Blaupause können hier Beispiele aus den Bundesländern Niedersachsen und Baden-Württemberg herangezogen werden. Hier wird jeweils mit dem Forschungszweig „Energieinformatik“ [40, 41] ein interdisziplinärer Ansatz in der Forschungslandschaft verankert.

Für die Hebung der Innovationspotenziale und den Transfer in die Praxis werden neben den digitalen Systemen und Diensten selbst auch Netzwerke zwischen den verschiedenen Akteuren benötigt, über welche die Transformation vorangetrieben wird. Daher sollten bestehende Netzwerke gestärkt und neue Kontakte zwischen Unternehmensvertretern der genannten Branchen und Forschern ermöglicht werden. Dabei können bei dem Aufbau und der Nutzung von Plattformen und Cloud-Diensten einerseits Netzbetreiber und Energiedienstleister von der Kompetenz der IKT- und Software-Dienstleister im Umgang mit *Data Governance* und *Data Policy* profitieren. Andererseits erlaubt ein fachbezogener Austausch über Netzwerke den Dienstleistungsunternehmen die Identifikation neuer Geschäftsmodelle und der Anpassung des Produktportfolios an konkrete Bedarfe der Energie- und Netzwirtschaft. In Herstellerkonsortien lassen sich zudem Entwicklungstätigkeiten bündeln und De-Facto-Standards am Markt etablieren. Für kleine und mittelständische Unternehmen stellen sich hierbei finanzielle Hürden, die durch Förderungen abgebaut werden könnten.

Im Rahmen der Vernetzung von Akteuren der Sektoren Energiesysteme IKT, sind insbesondere auch Forschungsprojekte zur Herausarbeitung der situativ optimalen Technologiemixe zu verankern. Dabei ist die Auswahl sowie Realisierung relevanter Architekturoptionen

zur Überführung von Konzepten der Digitalisierung in die Praxis zu verfolgen. So sind neuartige, im Rahmen von 5G und 450 MHz entstehende, IKT-Betreibermodelle zu fokussieren und mit Fragestellungen im Kontext Plattform-basierter, in Hierarchieebenen gegliederter Netzbetriebskonzepte zu verschränken. Reallabore und Demonstratoren sind hier besonders dazu geeignet den Transfer der Lösungen in die Praxis zu unterstützen.

Als weitere Dimension des Praxistransfers sei der Wissenstransfer zwischen Forschung, Industrie und Kommunen genannt. Hierbei kommt es besonders auf die Wissensvermittlung der Entscheidungsträger an. Das Land NRW kann hierfür beispielsweise mit seiner EnergieAgentur.NRW **Konferenzen und Workshops** zu folgenden Themenschwerpunkten anbieten:

- Leistungsfähigkeit von IKT-Lösungen
- Simulation von Energiesystemen
- Bewertung und Umsetzung von Digitalisierungsprojekten in interdisziplinären Kooperationen

6.2.2 A2: Aufbau von hybriden Daten- und Simulationsplattformen

Der Aufbau von hybriden Daten- und Simulationsplattformen bildet die Grundlage für alle weiteren Forschungs-, Entwicklungs- und Erprobungsaktivitäten im Bereich der Energie-, Netz- und IKT-Wirtschaft. „Hybrid“ meint dabei die Verknüpfung von Energie- und IKT-Daten in Simulatoren. Hierzu sind **Förderausschreibungen** zu erstellen, die sich an Versorger, Kommunen, Netzbetreiber, Marktakteure, Branchenverbände und Forschungseinrichtungen richten. Die Bündelung von Markt-, Netz-, Verbrauchs- und weiteren Daten, etwa zu Verkehrsströmen oder Wetterbedingungen, in gemeinsamen Plattformen verspricht dabei eine Weiterentwicklung von Geschäftsmodellen und den Eintritt neuer Marktteilnehmer. Eine modularisierte, agenten-basierte Simulationsumgebung ermöglicht Akteuren die virtuelle Interaktion mit anderen Akteuren. Hierdurch können Wechselwirkungen erkannt und Koordinationsmechanismen erweitert werden. Eine quelloffene Plattform mit definierten Schnittstellen ermöglicht Weiterentwicklungen und Erweiterungen durch verschiedene Akteure, ohne dass es dabei zu einer Agglomeration an Daten und Wissen durch einen zentralen Akteur kommt. Dies kommt insbesondere kleinen und mittelständischen Unternehmen zugute.

Als einzelne Schritte sind folgende Aktivitäten zu differenzieren:

- Formen der Datenbereitstellung: open source/open access, lizenziert
- Regularien für Datennutzung und Dateneigentümerschaft (Datenschutz- und Wettbewerbsrecht, ggf. Sonderrechte für experimentelle Nutzung)
- Anreize für Forschung und Entwicklung für Verfahren zur gewinnbringenden Nutzung von Daten

6.2.3 A3: Hochautomatisierte Netzbetriebsführung mit zukunftsweisender IKT

Für das Gelingen der Energiesystemtransformation ist eine umfassende Automatisierung der Netzbetriebsführung insbesondere in den Verteilnetzen erforderlich. Energienetzbetreiber sollten bei der **Ausstattung ihrer Netze mit Sensorik, Aktorik und IKT** unterstützt werden. Aufgrund der Ausdehnung von Verteilnetzen soll hierbei auf standardisierte und interoperable Lösungen mit optimiertem Technologiemix von Kommunikationstechnologien gesetzt werden. Für die Umsetzung von Digitalisierungsprojekten in der Netzbetriebsführung bieten sich Branchenverbände und gemeinsame Initiativen nach dem Beispiel des Connect+-Projekts an. Auf diese Weise werden Insellösungen vermeiden.

Bei der Implementierung und Entwicklung von Steuerungs- und Regelungsalgorithmen kommt es auf einen engen Austausch zwischen ansässigen Forschungseinrichtungen, Leitsystemherstellern und (IKT-)Netzbetreibern an. Diese Aktivitäten können durch **Forschungsausschreibungen** und anschließende **Reallabore** vorangebracht werden.

6.3 Zusammenfassung

Die Analyse und Auswertung der vorliegenden Studie verdeutlicht, dass die Digitalisierung ein wesentlicher Treiber die Kooperation von Wissenschaft und Praxis ist. Zum einen existieren häufig nur punktuelle, alleinstehende Lösungen für viele aufkommende Probleme der Energiewirtschaft und zum anderen können diese durch Transfer aktuellen Wissens in die Praxis erheblich verbessert werden. Um die Digitalisierung, insbesondere in privaten Haushalten und Kommunen voranzutreiben, sind Projekte unter Einbeziehung verschiedener Akteure notwendig – Startups, OEMs, Kommunikationsanbieter, Stadtwerke und Kommunen, Netzbetreiber sowie die Wohnungswirtschaft. Darüber hinaus bieten sich interdisziplinäre Forschungsgruppen an, um ein möglichst breites Spektrum für eine effiziente Umsetzung der Digitalisierung zu berücksichtigen. In vorgelagerten Stufen ist die Entwicklung von Plug-and-Play-Lösungen für IoT-Anwendungen, die Standardisierung von Schnittstellen und Datenaustauschformaten zwischen Akteuren und Systemen erforderlich, um in Anschlussprojekten und Reallaboren Anwendungsfälle zu untersuchen. In Abbildung 6-1 ist eine Roadmap für eine zielgerechte und effiziente Forschungsagenda anschaulich dargestellt. Diese lässt sich zeitlich in drei Schwerpunkte gliedern: Forschung- und Entwicklung bei Hochschulen und Unternehmen, Erprobung in Reallaboren und Export von Produkten und Dienstleistungen. Dabei sind die Aktivitäten A1 bis A3 in allen übergeordneten Schwerpunkten vorzufinden.

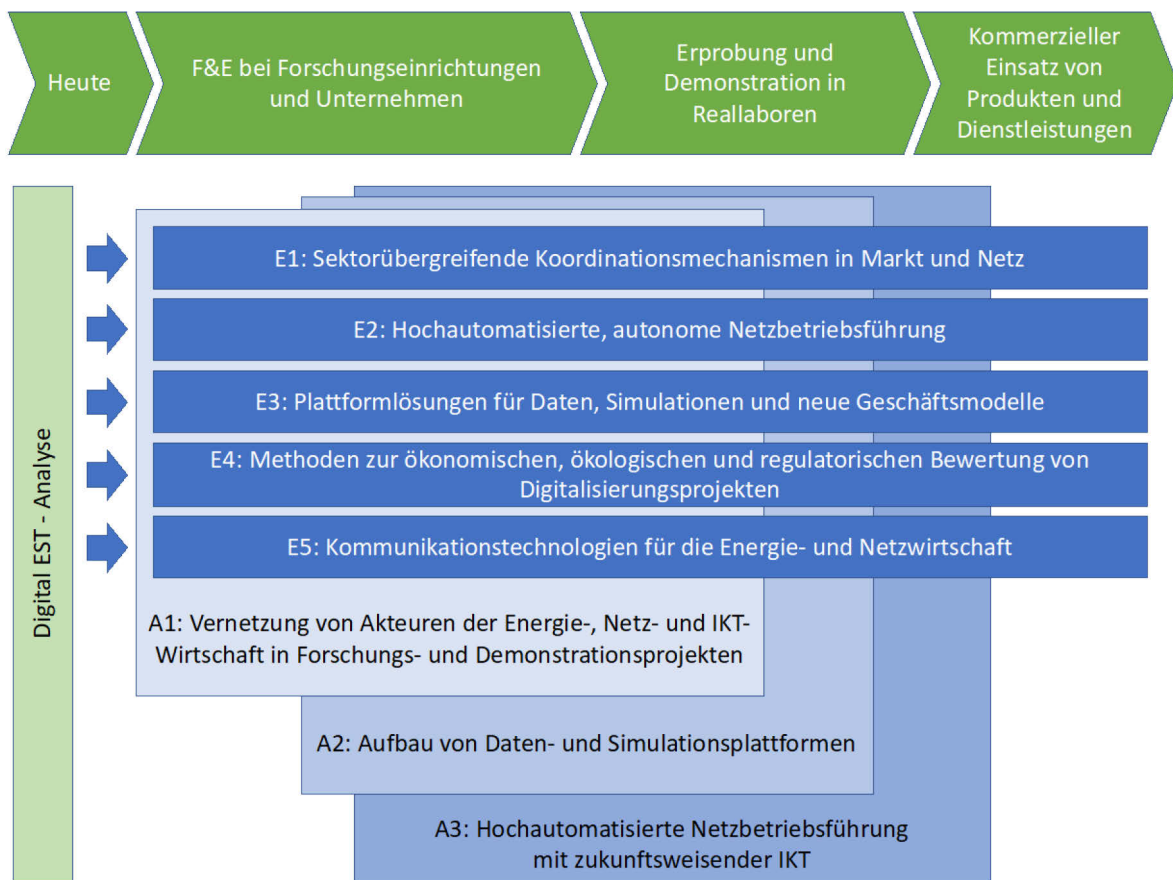


Abbildung 6-1: Roadmap

Die aus dieser Roadmap abgeleiteten Projekte der Landesregierung NRW sollten insbesondere einen sehr praxisnahen Fokus aufweisen und die Innovation entlang der Kette Forschung, Entwicklung und Erprobung anreizen. Dabei sollte ein besonderes Augenmerk auf die Entwicklung plattformbasierter und standardisierter Lösungen gelegt werden, die das Potenzial zur weiten Verbreitung aufweisen. Gleichzeitig ist die Fortführung der Projekte nach Projektabschluss -nicht nur über wenige Monate hinaus - von großer Bedeutung, um die Anwendung solcher neuen und innovativen Lösungen durch Digitalisierung zu fördern. Dabei sollten die verwendeten Daten- und Simulationsplattformen im Nachgang eines Projekts gepflegt, erweitert und in fortlaufenden Workshops verschiedenen Akteuren zu Demonstrations- und Weiterbildungszwecken zugänglich gemacht werden. Mit Einbindung von Realdaten können darüber hinaus weitere Anwendungsfelder entstehen und Netzwerkeffekte entstehen, die den Nutzen einer solchen Plattform steigern.

Literaturverzeichnis

- [1] A. Tascikaraoglu und O. Erdinc, Hg., *Pathways to a Smarter Power System: ICT Requirements and Recent Developments*. Elsevier, 2019.
- [2] BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V., „Die digitale Energiewirtschaft: Agenda für Unternehmen und Politik“, 2016. [Online]. Verfügbar unter: https://www.bdew.de/documents/28/BDEW_Digitale-Energiewirtschaft_Online.pdf. Zugriff am: 30. November 2020.
- [3] ETIP SNET, „Digitalization of the electricity system and customer participation: Technical Position Paper“, European Technology & Innovation Platforms, 2018. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.etip-snet.eu/wp-content/uploads/2018/10/ETIP-SNET-Position-Paper-on-Digitalisation-FINAL-1.pdf>. Zugriff am: 28. Januar 2021.
- [4] ETIP SNET, „WHITE PAPER: Holistic architectures for future power systems“, European Technology & Innovation Platforms, e, 2019. [Online]. Verfügbar unter: https://www.etip-snet.eu/wp-content/uploads/2019/03/ETIP-SNET_HolisticArchitecture_2019_04_01_Final.pdf. Zugriff am: 28. Januar 2021.
- [5] C. Bektas, S. Böcker, F. Kurtz und C. Wietfeld, Hg., *Reliable Software-Defined RAN Network Slicing for Mission-Critical 5G Communication Networks*, 2019.
- [6] VDE Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e.V., Hg., „Zellulares Energiesystem“, Frankfurt am Main, Mai 2019. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.vde.com/resource/blob/1884494/98f96973fcd8a70777654d0f40c179e5/studie---zellulares-energiesystem-data.pdf>. Zugriff am: 19. Januar 2021.
- [7] 3rd Generation Partnership Project, *TR 21.916: Technical Specification Group Services and System Aspects*. Verfügbar unter: <https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=3493>.
- [8] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, *Leitfaden 5G-Campusnetze – Orientierungshilfe für kleine und mittelständische Unternehmen*. [Online]. Verfügbar unter: https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Digitale-Welt/leitfaden-5G-campusnetze-orientierungshilfe-fuer-kleine-und-mittelstaendische-unternehmen.pdf?__blob=publicationFile&v=10 (Zugriff am: 28. Januar 2021).
- [9] Ericsson, *5G spectrum for local industrial networks*. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.ericsson.com/49ea7b/assets/local/reports-papers/white-papers/ericsson-whitepaper-5g-spectrum-for-local-industrial-networks2.pdf> (Zugriff am: 28. Januar 2021).
- [10] Open Radio Access Network Alliance, *O-RAN Alliance is Transforming the Radio Access Networks Industry Towards Open, Intelligent, Virtualized and Fully Interoperable RAN*. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.o-ran.org/>.
- [11] Bundesnetzagentur, *Vergabe von Frequenzen im Bereich 450 MHz: Präsident Homann: „Frequenzen für die Digitalisierung der Energiewende*. Bonn, 2020.

- [Online]. Verfügbar unter:
https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Allgemeines/Presse/Pressemitteilungen/2020/20201116_450mhz.pdf?__blob=publicationFile&v=2
- [12] K. Heimann, A. Marsch, B. Sliwa und C. Wietfeld, Hg., *Reflecting Surfaces for Beyond Line-Of-Sight Coverage in Millimeter Wave Vehicular Networks*, 2020.
- [13] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Hg., *Gutachten Digitalisierung der Energiewende: Topthema 3: TK-Netzinfrastruktur und TK-Regulierung*, Aug. 2019. [Online]. Verfügbar unter:
https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Studien/digitalisierung-der-energiewende-thema-3.pdf?__blob=publicationFile&v=10
- [14] LEW Verteilnetz GmbH, Hg., „Projektbeschreibung Connect+“, Augsburg, 30. Aug. 2019. [Online]. Verfügbar unter: <https://netz-connectplus.de/wp-content/uploads/2019/12/Standardfoliensatz.pdf>. Zugriff am: 20. Januar 2021.
- [15] SINTEG, *Nutzen statt Abregeln: WindNODE-Flexibilitätsplattform startet Testbetrieb*. [Online]. Verfügbar unter:
<https://www.sinteg.de/aktuelles/nachrichten/detailseite/nutzen-statt-abregeln-windnode-flexibilitaetsplattform-startet-testbetrieb/> (Zugriff am: 26. Januar 2021).
- [16] „Übertragungsnetzbetreiber nehmen Redispatch-Abwicklungsserver (RAS) in Betrieb“, *Windkraft-Journal*, 26. Juni 2020, 2020. [Online]. Verfügbar unter:
<https://www.windkraft-journal.de/2020/06/26/uebertragungsnetzbetreiber-nehmen-redispatch-abwicklungsserver-ras-in-betrieb/149985>. Zugriff am: 26. Januar 2021.
- [17] M. Braun *et al.*, „Systematisierung der Autonomiestufen in der Netzbetriebsführung“, VDE, Frankfurt am Main, 2021. Zugriff am: 2. Juni 2020.
- [18] S. Thiemann, C. Jörns und M. Pauly, „Automatisierung als notwendiger nächster Schritt“ in *Effizienz durch Automatisierung: Das Zero Touch-Prinzip im IT-Betrieb*, F. Abolhassan und J. Kellermann, Hg., Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2016, S. 65–78, doi: 10.1007/978-3-658-10644-7_5.
- [19] S. Reinheimer, *Industrie 4.0: Herausforderungen, Konzepte und Praxisbeispiele*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2017.
- [20] Lehrstuhl für Energiesysteme und Energiewirtschaft, *DFG SPP 1984 Hybrid and multimodal energy systems*. [Online]. Verfügbar unter: <http://www.spp1984.de/> (Zugriff am: 26. Januar 2021).
- [21] FIZ Karlsruhe – Leibniz-Institut für Informationsinfrastruktur GmbH, *Forschung Stromnetze: PRIME - Probabilistische innovative Methoden in der Energiesystemtechnik*. [Online]. Verfügbar unter: <https://forschung-stromnetze.info/projekte/wahrscheinlichkeits-aussagen-fuer-das-stromnetz/> (Zugriff am: 26. Januar 2021).
- [22] M.-L. Kloubert, *Probabilistische Modellierung zur Analyse des Einflusses unsicherer Eingangsgrößen auf das elektrische Übertragungsnetz*, 1. Aufl. Düren: Shaker, 2019.

- [23] UC Berkeley School of Information, *What is Data Science?* [Online]. Verfügbar unter: <https://ischoolonline.berkeley.edu/data-science/what-is-data-science/> (Zugriff am: 27. Januar 2021).
- [24] P. Richard, S. Mamel und L. Vogel, „Blockchain in der integrierten Energiewende“, Berlin, Feb. 2019. Zugriff am: 26. Januar 2021.
- [25] M. Andoni *et al.*, „Blockchain technology in the energy sector: A systematic review of challenges and opportunities“, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Jg. 100, S. 143–174, 2019, doi: 10.1016/j.rser.2018.10.014.
- [26] S. Böcker, C. Arendt, P. Jörke und C. Wietfeld, Hg., *LPWAN in the Context of 5G: Capability of LoRaWAN to Contribute to mMTC*, 2019.
- [27] DESIGNETZ Konsortium, *DESIGNETZ Projekt*. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.designetz.de/> (Zugriff am: 28. Januar 2021).
- [28] R. Treydel, M. Veigt, L. Verheggen und K. Groning, „Teilautomatisierter Netzbetrieb“, enera, Oldenburg, 18. Dez. 2020. [Online]. Verfügbar unter: <https://projekt-enera.de/blog/teilautomatisierter-netzbetrieb/>. Zugriff am: 22. Dezember 2020.
- [29] K. Groning, „Netzoptimierende Verteilnetzautomatisierung“, enera, Oldenburg, 18. Dez. 2020. [Online]. Verfügbar unter: <https://projekt-enera.de/blog/netzoptimierende-verteilnetzautomatisierung/>. Zugriff am: 22. Dezember 2020.
- [30] Bundesnetzagentur, Hg., „IT-Sicherheitskatalog für Strom- und Gasnetze (Stand August 2015)“, Aug. 2015. [Online]. Verfügbar unter: https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Energie/Unternehmen_Institutionen/Versorgungssicherheit/IT_Sicherheit/IT_Sicherheitskatalog_08-2015.pdf?__blob=publicationFile&v=2. Zugriff am: 29. Januar 2021.
- [31] Fraunhofer SIT, *Cybersicherheit für Stromtankstellen*. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.sit.fraunhofer.de/de/presse/details/news-article/show/cybersicherheit-fuer-stromtankstellen/> (Zugriff am: 12. Dezember 2020).
- [32] Y. Guo *et al.*, „Review on Network Restoration Strategies as a Part of the RestoreGrid4RES Project“, Graz, Feb. 2018. [Online]. Verfügbar unter: https://publik.tuwien.ac.at/files/publik_268882.pdf. Zugriff am: 26. Januar 2021.
- [33] W. Wellßow, *RestoreGrid4RES*. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.eit.uni-kl.de/esem/forschung-entwicklung/uebertragungsnetze/restoregrid4res/> (Zugriff am: 24. November 2020).
- [34] M. Klaes *et al.*, „State description of cyber-physical energy systems“ (En;en), *Energy Inform*, Jg. 3, S1, S. 1–19, 2020, doi: 10.1186/s42162-020-00119-3.
- [35] TenneT Holding B.V., *Mobile sensing*. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.tennet.eu/our-key-tasks/innovations/mobile-sensing/> (Zugriff am: 22. Dezember 2020).
- [36] energate, „Startschuss für den Smart-Meter-Rollout ist gefallen“, 31. Jan. 2020, 2020. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.energate-messenger.de/news/199942/startschuss-fuer-den-smart-meter-rollout-ist-gefallen>. Zugriff am: 20. Januar 2021.

- [37] Equigy, *Home - Equigy*. [Online]. Verfügbar unter: <https://equigy.com/> (Zugriff am: 20. Januar 2021).
- [38] *Neue Märkte Nachrichten - energate messenger+*. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.energate-messenger.de/news/neue-maerkte> (Zugriff am: 20. Januar 2021).
- [39] Umweltbundesamt, *Gesellschaftliche Kosten von Umweltbelastungen*. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/umwelt-wirtschaft/gesellschaftliche-kosten-von-umweltbelastungen#umweltkosten-der-strom-und-warmeerzeugung> (Zugriff am: 29. Januar 2021).
- [40] S. Lehnhoff, *Energieinformatik*. [Online]. Verfügbar unter: <https://uol.de/ei> (Zugriff am: 26. Januar 2021).
- [41] Karlsruher Institut für Technologie, *Institut AIFB - Energieinformatik*. [Online]. Verfügbar unter: <https://aifb.kit.edu/web/Energieinformatik> (Zugriff am: 26. Januar 2021).

Anhang

A1 Fragebogen

Allgemeine Themen

Zu welchem Thema im Rahmen der Digitalisierung haben Sie zuletzt ein Projekt in Ihrem Unternehmen/Ihrer Institution durchgeführt?)

Wählen Sie ein Element aus.

Was verstehen Sie unter Digitalisierung im Rahmen der Energiesystemtransformation?

Wählen Sie ein Element aus.

Koordination Netzbetreiber

Bitte bewerten Sie, wie zutreffend die folgende Aussage Ihrer Meinung nach ist:

„Die aktuellen Regelwerke und Koordinationsmechanismen zwischen Netzbetreibern sind ausreichend für die Anforderungen an künftige Energiesysteme.“

Trifft voll zu Trifft gar nicht zu Keine Angabe

Bitte begründen Sie Ihre Einschätzung.

Wählen Sie ein Element aus.

Sind die verwendeten Protokolle und Prozesse (z. B. IEC 60870, IEC 61850, operative Kaskaden) für die auszutauschenden Datenmengen zwischen Netzbetreibern ausreichend leistungsfähig und standardisiert?

Ausreichend Nicht ausreichend Keine Angabe

Bitte begründen Sie Ihre Einschätzung.

Wählen Sie ein Element aus.

Wie können digitale Prozesse die Koordination und Einbindung dezentraler Erzeugung bei dem Netzwiederaufbau ermöglichen bzw. verbessern? Inwieweit ist man dabei auf Reserveenergie (bspw. aus Batterien) angewiesen?

Wählen Sie ein Element aus.

Welche digitalen Prozesse und Technologien werden konkret benötigt?

Wählen Sie ein Element aus.

Beschreiben Sie exemplarisch anhand der Anforderungen der GLDPM mit welchen digitalen Werkzeugen und Prozessen Sie bei der Datenhaltung und dem Datenaustausch vorgehen.

Wählen Sie ein Element aus.

Über welche digitalen Kanäle erfolgt heutzutage ein Austausch zwischen Netzbetreiber und Marktteilnehmern? Wie schätzen Sie die Skalierbarkeit und Flexibilität der bestehenden Prozesse und Technologien ein?

Wählen Sie ein Element aus.

Netzbetrieb

Bitte bewerten Sie, wie zutreffend die folgende Aussage Ihrer Meinung nach ist:

„Das Engpassmanagement wird als Instrument der Betriebsführung zunehmend an Bedeutung gewinnen für den sicheren und stabilen Netzbetrieb der Zukunft.“

Trifft voll zu Trifft gar nicht zu Keine Angabe

Bitte begründen Sie Ihre Einschätzung.

Wählen Sie ein Element aus. Keine Angabe

Welche Spannungsebenen sind bzw. werden Ihrer Ansicht nach betroffen sein? (Mehrfachnennung möglich)

- alle Keine Angabe
- 380/220 kV
- 110 kV
- 30/20/10 kV
- 0,4 kV

Ggf. Kommentar: Wählen Sie ein Element aus.

Wählen Sie ein Element aus. Keine Angabe

Wie können betriebliche Engpassituationen aus Ihrer Sicht zukünftig am besten beherrscht werden? (Mehrfachnennung möglich)

	Höchstspannung (380/220 kV)	Hochspannung (110 kV)	Mittelspannung (30/20/10 kV)	Niederspannung (0,4 kV)
Leitwartenpersonal	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Assistenzfunktionen im Leitsystem	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Automatisierte Funktionen auf Systemleitebene	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Automatisierte Funktionen auf Stationsleitebene	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
andere	Wählen Sie ein Element aus.	Wählen Sie ein Element aus.	Wählen Sie ein Element aus.	Wählen Sie ein Element aus.

Bitte begründen Sie Ihre Einschätzung.

Wählen Sie ein Element aus. Keine Angabe

Welche Anforderungen bestehen an die Genauigkeit von Prognosen für Wind und Solareinstrahlung im Rahmen des Engpassmanagements?

Wählen Sie ein Element aus.

Keine Angabe

Welche zeitliche und räumliche Auflösung wird für künftige Prognoseaufgaben benötigt?

Wählen Sie ein Element aus.

Keine Angabe

Welche Anforderungen bestehen an die Genauigkeit von Lastprognosen?

Wählen Sie ein Element aus.

Keine Angabe

Welche Rolle spielen dezentrale Steuerungs- und Regelungsanwendungen (Smart-Grid-Applikationen) für den künftigen Netzbetrieb?

Wählen Sie ein Element aus.

Keine Angabe

Welche technischen Voraussetzungen sind für die Umsetzung von Smart-Grid-Applikationen zu schaffen? (z. B. Ertüchtigung der Netze mit Sensorik und Aktorik)

Wählen Sie ein Element aus.

Keine Angabe

Wo verorten Sie zukünftig die Entscheidungsinstanzen für Smart-Grid-Applikationen? Geben Sie bei Mehrfachnennung deren Anteile an.

in zentralen Leitwarten

auf Stationsleitebene

in Cloud-Applikationen

Wählen Sie ein Element aus.

Monitoring

Wie gut geeignet ist die heutige Online-Überwachung der Übertragungsnetze (z. B. Messwerterfassung und Zustandsschätzung) in Bezug auf die zukünftigen Herausforderungen?

Wählen Sie ein Element aus.

Keine Angabe

Wie schätzen Sie die Relevanz von Messwerterfassung und Zustandsschätzung in der Mittel- und Niederspannungsebene ein?

Niederspannungsebene

Trifft voll zu

Trifft gar nicht zu

Keine Angabe

Wählen Sie ein Element aus.

Keine Angabe

Mittelspannungsebene

Trifft voll zu

Trifft gar nicht zu

Keine Angabe

Wählen Sie ein Element aus.

Keine Angabe

Welche (Echt-)Zeitanforderungen können mit der heutigen Infrastruktur zur Messdatenübertragung und -verarbeitung vom Feld bis hin zu den Systemen, die diese Daten verwenden, erreicht werden? Welchen Entwicklungsbedarf sehen Sie für künftige Aufgaben?

Wählen Sie ein Element aus.

Keine Angabe

Welche Bedeutung haben Smart-Meter-Daten für die Umsetzung von Zustandsschätzung und für die Überwachung von Mittel- und Niederspannungsnetzen?

Wählen Sie ein Element aus.

Keine Angabe

Welches Potenzial bieten neuartige, datenbasierte Ansätze wie bspw. „Digital Twins“ für das Monitoring und das Asset Management von Netzbetriebsmitteln?

Wählen Sie ein Element aus.

Keine Angabe

Kommunikation

Welches Potenzial bietet der Aufbau eines 450 MHz-Mobilfunknetzes als Kommunikationsinfrastruktur aus Sicht eines Netzbetreibers?

Wählen Sie ein Element aus.

Keine Angabe

Welches Potenzial bietet der Aufbau von 5G-Mobilfunknetzen als Kommunikationsinfrastruktur aus Sicht eines Netzbetreibers?

Wählen Sie ein Element aus.

Keine Angabe

Welche weiteren Ansätze im Bereich der Kommunikation sind notwendig bzw. zukünftig zu erwarten (z.B. Edge Cloud, IoT, Schwarzfallfestigkeit, Robustheit, etc.)?

Wählen Sie ein Element aus.

Keine Angabe

Welche regulatorischen Voraussetzungen müssen erfüllt werden, damit geeignete Kommunikationstechnologien für digitalisierte Energiesysteme erschlossen werden können?

Wählen Sie ein Element aus.

Keine Angabe

Ist die Anbindung von Endkunden inkl. Ladesäulen über Smart-Meter-Gateways aus Ihrer Sicht zielführend für die digitale Kopplung von Netz und Märkten?

Wählen Sie ein Element aus.

Keine Angabe

Märkte

Gibt es sinnvolle Anwendungsfelder für Distributed-Ledger-Technologien (z. B. Blockchain)? Wenn ja, welche?

Wählen Sie ein Element aus.

Keine Angabe

Werden künftig vermehrt lokale Flexibilitätsmärkte zur Bewirtschaftung von lokalen Netzengpässen durch Netzbetreiber entstehen? Wenn ja, welche Netzebenen werden Ihrer Ansicht nach betroffen sein?

Wählen Sie ein Element aus.

Keine Angabe

Sind die technischen Anforderungen (z. B. Ansteuerbarkeit der Anlagen, Datenplattformen) hierfür bereits heute gegeben? Falls nein, nennen Sie bitte die erforderlichen Entwicklungsarbeiten.

Wählen Sie ein Element aus.

Keine Angabe

In welchem Maße ist die Nutzung von Flexibilität Ihrer Meinung nach in Zukunft hauptsächlich relevant? (Bei Mehrfachnennung bitte priorisieren.) Bitte begründen Sie Ihre Einschätzung.

	nicht relevant	wenig relevant	re- le- vant	sehr relevant
Last-/Erzeugungs-Balancing, Residuallastausgleich	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Systemdienlich (z. B. Regelleistung)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Netzdienlich Übertragungsnetz (HöS) / Redispatch	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Netzdienlich Verteilnetz (HS) / Redispatch	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Netzdienlich Verteilnetz (MS/NS) / Redispatch	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Wie schätzen Sie das Risiko ein, dass es durch Marktaktivitäten künftig durch höhere Gleichzeitigkeit der Last oder Einspeisung und damit verbunden Netzüberlastungen kommen kann?

Wählen Sie ein Element aus.

Keine Angabe

Der automatisierte Handel bzw. Hochfrequenzhandel (Algo-Trading) sind inzwischen verbreitete Instrumente in der Finanzbranche. Sehen Sie Chancen oder Risiken für die Anwendung in der Energiewirtschaft?

Wählen Sie ein Element aus.

Keine Angabe

System- und Netzplanung

Welche Rolle kann Digitalisierung im Rahmen der System- und Netzplanung spielen? (z. B. einheitliche Prozesse zur Netzmodellpflege oder Verknüpfung von Planungs- und Betriebsdaten)

Wählen Sie ein Element aus.

Keine Angabe

Auf welche Weise sind heutzutage einzelne Prozessschritte zwischen Netzplanung und Betriebsführung (digital) miteinander verknüpft?

Wählen Sie ein Element aus.

Keine Angabe

Welches Potenzial bieten datenbasierte Methoden (z. B. probabilistische Lastflussrechnung oder Zeitreihenanalyse) gegenüber bisherigen Herangehensweisen in der System- und Netzplanung?

Wählen Sie ein Element aus.

Keine Angabe

In welchen Prozessschritten der System- und Netzplanung können automatisierte Funktionen integriert und mit der Erfahrung des Personals kombiniert werden?

Wählen Sie ein Element aus.

Keine Angabe

Welche Hemmnisse existieren bei der Umsetzung von Smart-Grid-Technologien gegenüber herkömmlichen Maßnahmen des NOVA-Prinzips?

Wählen Sie ein Element aus.

Keine Angabe

Sonstiges

Welches Potenzial bieten Technologien wie *Künstliche Intelligenz* bzw. *Machine Learning* in der elektrischen Energieversorgung?

Wählen Sie ein Element aus.

Keine Angabe

Wie wägen Sie Potentiale der Digitalisierung mit Risiken für die IT-Sicherheit durch digitale Dienste und Schnittstellen ab?

Wählen Sie ein Element aus.

Keine Angabe

Gibt es weitere relevante Forschungs- und Themenfelder sowie Schlüsseltechnologien, die im Rahmen dieses Fragebogens nicht oder nicht ausreichend thematisiert wurden?

Wählen Sie ein Element aus.

Keine Angabe

A2 Leitfaden “Energienmärkte”

Was verstehen Sie unter Digitalisierung?

Welche Rolle spielen dabei

- Künstliche Intelligenz
- Internet of Things
- Blockchain
- Smart Meter & Smart Home
- Smart City
- ...

Was ist der Kern von Digitalisierung in der Energiewirtschaft nach Ihrem Verständnis?

Was sind aktuelle Forschungstrends zur Digitalisierung allgemein?

Welchen Nutzen bietet Digitalisierung aus Ihrer Sicht in der Energiewirtschaft?

- Für wen?
- Für welche Dienste/Produkte?
 - Eher im B2C? B2B? Geschäft, bei Prosumern? Bei neuen Geschäftsmodellen?
 - oder bei Dienstleistern für die Energiewirtschaft?
- Für welche Prozesse?
 - im Handel? Oder im Netzbetrieb? Oder bei Investitionen (Netz?, Anlagen?)
 - Durch welche Technologien/...?
- Nutzen durch [konkrete Einzeltechnologien/-konzepte]

Welche Hemmnisse sehen Sie für das Heben des Potenzials der Digitalisierung in der Energiewirtschaft?

- Bei welchen Akteuren?
- Welche Art von Hemmnissen
- Konkrete Hemmnisse, z. B. Sorgen vor Datenweitergabe,...
- Schnittstelle Markt/Netz – gibt es so in wenig anderen Bereichen. Ergeben sich daraus spezielle Herausforderungen

Wo sehen Sie Forschungsbedarf zur Digitalisierung in der Energiewirtschaft?

- Bei welchen Technologien?
- Bei welchen Anwendungen?
- Konkrete Technologien/Anwendungen
- Schnittstelle Markt/Netz – wie könnte da Forschung zur Digitalisierung aussehen?
- Automatisierung – im Trading? In der Netzbetriebsführung? An der Schnittstelle zwischen Netzbetreibern...?
- Querverbindungen zu Smart City & Smart Home?

Aktueller Themenschwerpunkt der Digitalisierung

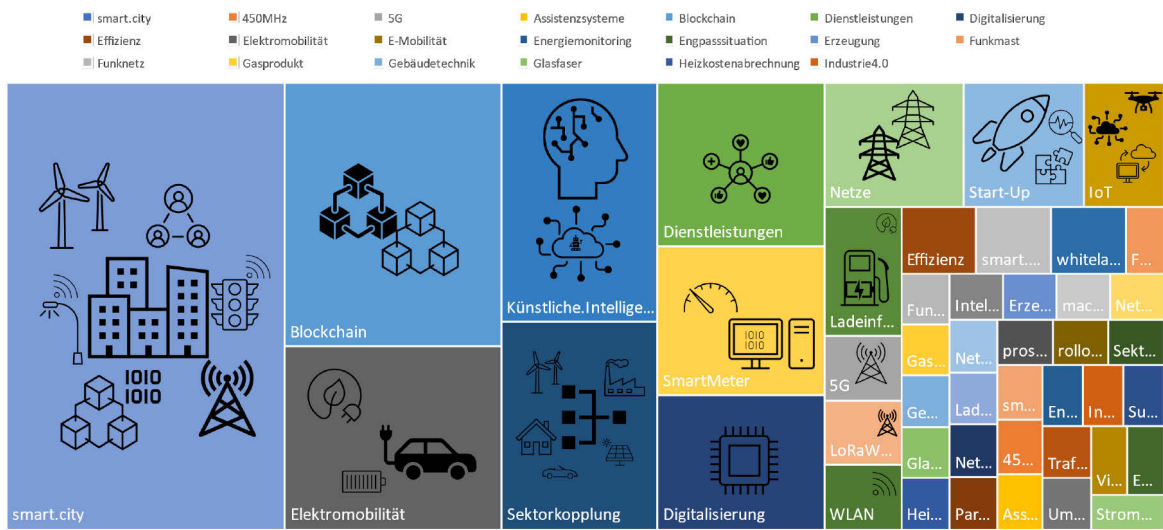


Abbildung 6-2: Analyse der Häufigkeit neuer Technologien/Schlagworte in der Fachmedienkommunikation