



**EXPERTENEMPFEHLUNGEN AUS DEN
ARBEITSGRUPPEN FÜR DEN KONSULTATIONSPROZESS
ZUM 7. ENERGIEFORSCHUNGSPROGRAMM**



FORSCHUNGSNETZWERK
ENERGIE STROMNETZE

**Expertenempfehlungen aus den Arbeitsgruppen
für den Konsultationsprozess zum 7. Energieforschungsprogramm**

FORSCHUNGSNETZWERK STROMNETZE

Einleitung

Transparenz und Partizipation sind wichtige Ziele der Bundesregierung im 6. Energieforschungsprogramm. Die sieben Forschungsnetzwerke Energie sind somit ein wichtiges Instrument der Energieforschungspolitik des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi). Sie tragen maßgeblich dazu bei, alle wesentlichen Akteure eines Themenschwerpunkts der Energieforschung zu vernetzen und an Strategieprozessen zu beteiligen. Dazu erarbeiten die Mitglieder der Forschungsnetzwerke Expertenempfehlungen zum künftigen Forschungsbedarf sowie zu möglichen Förderschwerpunkten und -formaten.

Im Dezember 2016 hat das BMWi als federführendes Ministerium für die Energiewende den Konsultationsprozess für ein neues Energieforschungsprogramm gestartet. Dieser Prozess bindet alle relevanten Akteure der Energieforschung und -wirtschaft frühzeitig in die Diskussion zur Weiterentwicklung der Energieforschungsförderpolitik ein und soll bis Ende 2017 abgeschlossen werden. Die Mitglieder des Forschungsnetzwerks Stromnetze haben konkrete Expertenempfehlungen für den Konsultationsprozess zum 7. Energieforschungsprogramm erarbeitet, die in dieser Broschüre vorgestellt werden.

Themen des Forschungsnetzwerks

Das Forschungsnetzwerk Stromnetze mit aktuell 304 Mitgliedern gliedert sich in fünf Arbeitsgruppen (AGs). Die Themen der AGs wurden von den Mitgliedern auf der zweiten Auftaktkonferenz im Februar 2017 erarbeitet und dienen als inhaltlicher Leitfaden des Netzwerks. Die Arbeitsgruppen stehen allen Interessierten offen, die sich inhaltlich einbringen möchten.

Konkret widmen sich die Gruppen folgenden Themenfeldern:

- AG 1** – Stabilität des Gesamtsystems
- AG 2** – Anlagen- und Stromrichtertechnik
- AG 3** – HGÜ und AC/DC Integration
- AG 4** – Flexibilisierung des Energiesystems
- AG 5** – Digitalisierung und IKT

Das Netzwerk ähnelt durch seine heterogene Mitgliederstruktur der Forschungslandschaft zu Stromnetzen in Deutschland. Die aufgeführten Arbeitsgruppen stellen eine Auswahl der Kernthemen dar, welche die Mitglieder als besonders wichtig eingestuft haben. Die Schwerpunkte können sich jedoch durch die fortlaufenden Anregungen der Teilnehmerinnen und Teilnehmer während des Prozesses der Netzwerkarbeit verändern.

Gründung und Entwicklung des Forschungsnetzwerks

Die Energiewende erfordert den grundlegenden Umbau der Energieversorgungssysteme in Deutschland. Dies schließt den Ausbau von Stromnetzinfrastrukturen ebenso mit ein, wie deren Ausrichtung auf die Einspeisung hoher Anteile erneuerbarer Energien in die Übertragungs- und Verteilnetze. Um dies zu realisieren, sind Innovationen und neue Konzepte durch Forschungs- und Entwicklungsarbeiten eine wichtige Voraussetzung.

Um die Ergebnisse der Energieforschung direkt an die Akteure der Energiewende zu transferieren und um den Prozess von der Entwicklung der Förderstrategie

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Impressum

Herausgeber
Projektträger Jülich (PtJ)
Forschungszentrum Jülich GmbH
52425 Jülich

Redaktion und verantwortlich für den Inhalt
Forschungsnetzwerk Stromnetze,
Einleitung: Projektträger Jülich (PtJ)

Gestaltung und Produktion
Projektträger Jülich (PtJ)
Forschungszentrum Jülich GmbH
52425 Jülich

Stand
Oktober 2017

hin zur Forschungsidee bis zur Innovation transparent und praxisnah zu gestalten, hat sich auf Initiative des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie am 12. Mai 2015 das Forschungsnetzwerk Stromnetze gegründet. Es wirkt als Schnittstelle zwischen Politik, Wissenschaft und Praxis. Zum Start des Netzwerks hat das BMWi einen Förderaufruf zur "Leistungselektronik in Stromnetzen" veröffentlicht. Aus diesem sind 61 Projekte hervorgegangen. So entwickeln die Mitglieder in Arbeitsgruppen Vorschläge und Impulse zur strategischen Ausrichtung der Forschungsförderung im Bereich Stromnetze und zu thematischen Schwerpunkten von Förderaufrufen, Förderbekanntmachungen oder Wettbewerben.

Die Geschäftsstelle der Forschungsnetzwerke Energie beim Projektträger Jülich ist Ansprechpartner für alle aktiven oder weiteren interessierten Akteure. Für das Forschungsnetzwerk Stromnetze stellt der PtJ Geschäftsbereich „Energiesystem: Integration“ (ESI) darüber hinaus eine Koordinatorin aus dem Fachbereich „Netzintegration erneuerbarer Energien“ als Ansprechpartnerin für fachliche Fragen zur Verfügung.

Expertenempfehlungen für den Konsultationsprozess

Um das gemeinsame Erarbeiten der Expertenempfehlungen aus dem Forschungsnetzwerk Stromnetze anzustoßen, haben im Juni 2017 Treffen der Arbeitsgruppen beim PTJ in Jülich stattgefunden. Die Arbeitsgruppen haben nach intensiven fachlichen Diskussionen insgesamt 22 Themenblätter verfasst, die möglichst den gesamten Förderbedarf abdecken. Im Oktober 2017 wurden die Ergebnisse

durch die Arbeitsgruppen final verabschiedet. Jede Arbeitsgruppe hat konkrete Forschungsziele für die aktuellen und künftigen Anforderungen an die Stromnetze erarbeitet. Unterteilt in Motivation, Forschungsinhalte, erwartete Ergebnisse sowie eine Beschreibung der dafür benötigten Art von Forschung sind die einzelnen Themen übersichtlich strukturiert und gut nachzuvollziehen. Kurze Einleitungen führen in die jeweiligen Themen ein. Die Expertinnen und Experten des Netzwerks möchten ihre in Form der Empfehlungen abgegebene Expertise als Impuls für die weitere Forschungsförderung zur Verfügung stellen.

INHALT

AG 1 STABILITÄT DES GESAMTSYSTEMS	2
AG 2 ANLAGEN- UND STROMRICHTERTECHNIK	8
AG 3 HGÜ UND AC/DC INTEGRATION	18
AG 4 FLEXIBILISIERUNG DES ENERGIESYSTEMS	26
AG 5 DIGITALISIERUNG UND IKT	36

AG 1 STABILITÄT DES GESAMTSYSTEMS

AG 1-1. Netzbetriebsführung und Stabilität

Das Thema umfasst alle Aspekte der Netzbetriebsführung und der Systemstabilität, die durch die Transformation und die Digitalisierung des Stromnetzes entstehen. Die Definition der „Stabilität“ in Bezug auf die Stromnetze umfasst die „Frequenz-, Spannungs- und Winkelstabilität und bezieht sich auf den statischen und transienten Lastfluss im Netz. Die Aspekte der transienten Stabilität werden auch in der AG2 in Bezug auf die Stromrichter-technologien behandelt.

■ MOTIVATION

Die Stabilität des Netzbetriebs ist in Gefahr, es müssen Methoden und Technologien erforscht werden, um die Systemstabilität unter sich weiter ändernden Randbedingungen auch in Zukunft gewährleisten zu können. Die Herausforderungen bestehen in

- der Abnahme des Massenträgheitsmoments durch die leistungselektronische Ankopplung der Erzeugungsanlagen,
- der beschränkten Beobachtbarkeit und Steuerbarkeit der verteilten Erzeuger,
- der erheblich veränderten Netzbelastung durch die Lokation und die hohen installierten Leistungen der verteilten Erzeuger,
- der Integration von Speichern und steuerbaren Verbrauchern,
- der Wartbarkeit des Systems unter dem Aspekt der Softwareveränderung und kommunikationstechnischen Einbindung ins System.

Die nachfolgenden genannten Forschungsthemen sollen helfen technisch und wirtschaftlich umsetzbare Lösungen zu finden, um die hohe Versorgungsqualität in Bezug auf die Netzbetriebsführung aufrechterhalten zu können.

Dabei gilt es, die künftigen Netzstrukturen einschließlich neuer Speicher und Flexibilitäten zu berücksichtigen.

■ FORSCHUNGSINHALTE

Die Forschungsinhalte können wie folgt gegliedert werden:

Systemkonzepte/Übergeordnete Betriebsführungskonzepte

- Entwicklung und systemanalytische Betrachtung der Stabilität von neuartigen Betriebsführungskonzepten über alle Netzebenen und Vergleich zur heutigen hierarchischen Systemstruktur. Dazu sollten auch Migrationsstrategien betrachtet werden. (z. B. DC-Netze, Vermaschungsgrad, zelluläre Systemansätze, Microgrids, ...)
- Automatisierte Erfassung der Systemstruktur für die Simulation des Systems und die Ableitung der Betriebsführung für einen stabilen Netzbetrieb.

Regelungs-Strategien/Systemdienstleistungen

- Entwicklung neuer (z. B. verteilter) Konzepte und Regelalgorithmen für das Gesamtsystem unter Einschluss der Sektorenkopplung. Dies betrifft die Regelung von Frequenz und Spannung sowie das Einspeise – und Blindleistungsmanagement, das Engpassmanagement und die Nutzung von Flexibilitäten. Untersucht werden sollen insbesondere die Anforderungen an die TSO-DSO Interaktion sowie die zweckmäßige Aufteilung von zentralen und lokalen Steuerungen bzw. Regelungen einschließlich Fallback-Lösungen.
- Untersuchung der zukünftig erforderlichen Systemdienstleistungen bezüglich Struktur, Volumen, Bereitstellung und Koordination vor dem Hintergrund der sich verändernden Systemdynamik. Hierfür ist die Entwicklung von gemeinsamen Stabilitätsanalysen für Übertragungs- und Verteilnetze Voraussetzung.

THEMEN | AG 1:

AG 1-1. Netzbetriebsführung und Stabilität

AG 1-2. Systemstruktur für stabile Stromnetze

AG 1-3. Modellierung und Systemanalyse

- Weiterentwicklung des netzdienlichen Betriebs der verteilten Erzeugungsanlagen in allen Systemzuständen (Normalbetrieb, Notfallbetrieb und Netzwiederaufbau). (Verbraucher) P2X
- Nutzung der Energie-Meteorologie für den Betrieb und das Einspeisemanagement unter Berücksichtigung von Prognosen.
- Ladeverhalten von E-Fahrzeugen und neuen Verbrauchern (Elektromob. WP).
- Untersuchung und Entwicklung von “Harmonic Stability“ Konzepten als Folge des zunehmenden Einsatzes von Leistungselektronik. (vgl. Themenblatt Modellierung und Systemanalyse)

Control Center Funktionalitäten

- Vorausschauende Netzsicherheitsanalysen in allen Netzebenen auf Basis angepasster Prognosen der Erzeugung und des Verbrauchs.
- Entwicklung von verbesserten Operator Awareness und Decision Support Tools für alle Systemzustände, insbesondere für den Emergency-Fall und den Systemwiederaufbau.
- Dynamische und transiente Netzsicherheitsanalysen.
- Betriebsverantwortliche Netz, Interaktion mit benachbarten Regelzonen und unterlagerten Netzen, Regelzone/Netzgruppe, Interaktion mit anderen Netzbetreibern.

Resilienz

- Erhöhung der Resilienz des Systems gegenüber Störfällen (einschließlich des Wegfalls von Systemdienstleistungen und der Störung der IKT-Systeme) z.B. durch Verbesserungen der TSO-DSO Interaktion, Implementierung aufgabenabhängiger Betriebskriterien etc.
- Verbesserung der Resilienz von Teilnetzen im Fall der Netzaufftrennung.

- Strategien für den Systemwiederaufbau unter Einbeziehung von verteilten Erzeugern.
- Sicherstellung der Notstromversorgung im Fall von Blackouts.

■ ERGEBNISSE

Das Ziel der Forschungsaktivitäten ist die Entwicklung von Konzepten und Betriebsführungsstrategien, die einen sicheren Betrieb des Energieversorgungssystems bei einem sehr hohen Anteil verteilter Erzeugungsanlagen sicherstellen soll. Dies betrifft insbesondere die TSO-DSO Interaktion, die Erbringung von Systemdienstleistungen sowie Maßnahmen zur Erhöhung der Resilienz bei Störfällen bzw. Angriffen. Es werden Demoprojekte umgesetzt.

Die einzelnen Aspekte weisen einen sehr unterschiedlichen Zeithorizont auf: So sind Weiterentwicklungen der Regelung verteilter Erzeuger relativ zeitnah realisierbar. Demgegenüber stellt die Entwicklung gänzlich neuer Konzepte wie z. B. zellulärer Systemstrukturen eine Aufgabe dar, die mehrere Jahrzehnte umfassen dürfte und in all ihren Facetten heute noch nicht abschließend eingeschätzt werden kann.

■ ART DER FORSCHUNG

Die o. g. Forschungsthemen umfassen alle Kategorien, von der Vorlauftforschung (z. B. zelluläre Konzepte) über angewandte Forschung bis hin zu Pilot- bzw. Demoprojekten mit zeitnaher/ökonomischer Umsetzung. Der Schwerpunkt der Themen ist jedoch in die Kategorie angewandte Forschung einzuordnen.

AG 1-2. Systemstruktur für stabile Stromnetze

■ MOTIVATION

Die Energiewende erfordert eine fundamentale Veränderung und Verstärkung des Energieversorgungssystems und damit auch der Netzinfrastruktur. Es werden Entscheidungen über hohe Investitionssummen

mit Auswirkungen über mehrere Jahrzehnte getroffen. Dabei besteht teilweise eine große Unsicherheit über die zukünftige konkrete Versorgungsaufgabe. Dabei ist auch die Einbettung des deutschen Energieversorgungssystems in das europäische Umfeld und Möglichkeiten einer internationalen Harmonisierung zu berücksichtigen. Eine stabile und zuverlässige Stromversorgung das Rückgrat einer funktionierenden modernen Wirtschaft und Gesellschaft. Die zukünftige Struktur des elektrischen Energieversorgungssystems soll verschiedenen, teilweise konkurrierenden Zielen genügen. Dazu gehören:

- Stabilität/Zuverlässigkeit/Resilienz
- Leistungsfähigkeit/Integration erneuerbarer Energien/notwendige Regelbarkeit
- Akzeptanz durch die Bevölkerung/Umweltfreundlichkeit (z. B. bei Trassenführung)
- Gesamtwirtschaftlichkeit für alle relevanten Stakeholder (z. B. Netzbetreiber, Anlagenbetreiber, Endkunden etc.) bezüglich Kapital- und Betriebskosten
- Robustheit gegenüber Veränderungen in der Zukunft (Zukunftssicherheit/Planbarkeit)

■ FORSCHUNGSINHALTE

Die folgenden Forschungsinhalte sind jeweils für sich, aber insbesondere auch in Kombination bzw. Wechselwirkung zu verstehen:

- Entwicklung eines Bewertungssystems für das oben genannte Zielspektrum.
- Entwicklung von Methoden zur Generierung sowie Bestimmung von zukünftigen Versorgungsszenarien:
 - Szenarien zur Beschreibung der zukünftigen Versorgungsaufgabe (z. B. zeitliche und räumliche Abhängigkeiten, Erzeugerverhalten, Lastverhalten, Marktorganisation (z. B. zonal/nodal pricing), regulatorische Ausgestaltungen, Wirkungsmechanismen, ...)
 - Berücksichtigung von Einflusszenarien (Wetter, IKT-Sicherheit, etc.) und zukünftiger Weiterentwicklungen (z. B. Digitalisierung, Prognoseverbesserungen)
 - Abbildung von Unsicherheiten möglicher Transformationspfade (Bandbreite der Langfristszenarien)

- Entwicklung, Analyse/Bewertung, Optimierung und Demonstration optimierter Netzstrukturen auf Basis von Handlungsoptionen (Konzepte, Modellierung, Realisierung) für die veränderte Versorgungsaufgabe mit stark variierender Leistungsflüsse von Netzteilnehmern (z. B. EE-Anlagen, Prosumer):
 - Neue Betriebsmittel (z. B. selbstgeführte HGÜ, supraleitende Betriebsmittel, intelligente/regelbare/leistungselektronische Transformatoren, ...) sowie neue Bau- und Verlegeverfahren
 - Veränderte und veränderliche Netztopologien (z. B. DC Netze, Vermischungsgrad, zelluläre Systemansätze, Microgrids, ...) im regionalen/nationalen/europäischen Kontext
 - Integration neuer schutz- und leittechnischer Lösungen (Sensorik, Digitalisierung, Smart Meter, Plug&Automate etc.)
 - Regelungs- und Betriebsführungsverfahren mit optimierter Architektur inkl. Verfahren der Zustandserfassung/-schätzung/-prognose, Wirk- und Blindleistungsmanagement, netzbildender Regelungsverfahren, Mechanismen der Bereitstellung von Systemdienstleistungen etc.
 - Nutzung von Leistungsflexibilitäten (z. B. Speicher, Elektromobilität, P2G, DSM, Sektorenkopplung,...) z. B. als Alternative zur Netzverstärkung
- Modellierung, Simulation, Methoden, Optimierung, Algorithmen, Werkzeuge
 - für die Optimierung der Systemstruktur (akteurs- und spannungsebenen-übergreifend) und deren Transformationspfade entsprechend der verschiedenen, teilweise konkurrierenden Zielkriterien (Sensitivitäten/Unsicherheiten/Probabilistiken) mit verschiedenen Bewertungsmechanismen (z. B. No-Regret-Maßnahmen) und
 - zur Bewertung verschiedener Stabilitätsaspekte (Frequenz-, Spannungs- und Polradwinkelstabilität, Selektiver Fehlererkennung/Schutzsystem) insbesondere in wechselrichterdominierten Netzen
 - zur Bewertung verschiedener Einflüsse auf die Resilienz/Stabilität/Zuverlässigkeit (z. B. extreme Wetterereignisse, Verflechtung mit IKT-Netzen mit unterschiedlichen IKT-Architekturen (z. B. Cyber Security), Sektorkopplung

(Infrastrukturabhängigkeiten), Angriffsszenarien auf kritische Infrastrukturen)

- mit der Anwendung für Studien, strategische und operative Investitions- und Planungsbedarfe für die Systementwicklung und -modernisierung mit verschiedenen Zeithorizonten bis hin zum gesamten Transformationspfad der Energiewende z. B. bis 2050
- Analyse von und Lösungsansätze für veränderte Rahmenbedingungen (rechtlich, regulatorisch, technisch), Methoden zur Identifikation optimierter Rahmenbedingungen (z. B. Gestaltung eines geeigneten Ordnungs- und Anreizrahmens für die Netzentwicklung, Empfehlung bzgl. der Abgrenzung von technischen Mindestanforderungen und markt-basierten Anreizen und Rahmenbedingungen für Systemdienstleistungen)

■ ERGEBNISSE

Ziel ist die Bestimmung einer zukünftigen Systemstruktur, welche den oben genannten Kriterien in der gewünschten Gewichtung genügt. Diese Systemstruktur und deren Stabilität lässt sich nach definierten Methoden bestimmen und die wesentlichen Elemente sind in Simulationsstudien bis hin zu Demonstratoren getestet und bewertet. Die Analyse und Testphase wird in den nächsten 5–10 Jahren abgeschlossen sein. Wichtige Ergebnisse sind die entwickelten und getesteten Modelle, Algorithmen und Werkzeuge, welche in der Praxis eingesetzt und weiterentwickelt werden.

■ ART DER FORSCHUNG

Einzel- Kooperations- und Verbundprojekte im Rahmen einer Themenplattform mit definierten Schnittstellen zur Einordnung der Zielstellungen und Verwertung von Ergebnissen, Grundlagenforschung, anwendungsnahe F&E sowie Demonstratoren

AG 1–3. Modellierung und Systemanalyse

Das Thema umfasst die Methodik, die zur Bewertung der Systemstabilität genutzt werden soll. Die Simulation und die Analyse des komplexen Energiesystems ist schon heute kaum zu bewältigen: Die Bewertung der Stabilität wird durch die Transformation des Systems und die Digitalisierung noch komplexer. Ebenso sind Resilienz-kriterien des Systems zunehmend wichtig, weil der liberalisierte Energiemarkt eine sukzessive Optimierung

des Energiesystems zur Folge hat. Die notwendige hohe Verfügbarkeit der Versorgung muss gewährleistet sein, sie lässt mittels systemanalytischen Verfahren bewerten.

■ MOTIVATION

Die Stabilität der Energieversorgung hängt entscheidend von der Zuverlässigkeit des Stromnetzes ab. Durch die zunehmende Verflechtung mit den Kommunikationsnetzen und die Integration fluktuierender Erzeuger wird die gewohnte Stabilität in der Versorgung zunehmend kritischer. Die Querschnittsthemen umfassen:

- Stabilitätsbegriff (Identifikation und Definition) und Bewertungsmethodik
- Rolle der leistungselektronischen Komponenten
- Modelle und Simulationsverfahren zur Stabilitätsanalyse und Schutzkonzepten

■ FORSCHUNGSINHALTE

Die Forschungsinhalte können wie folgt gegliedert werden:

Stabilitätsdefinition

- Transiente und statische Stabilität, Spannungs-, Frequenz und Polradwinkelstabilität, Winkelstabilität im Wechselstromnetz
- Kriterien und Bewertung von Systemzustandsgrößen für die Stabilitäts-erkennung
- Systemverhalten in Netzen mit zunehmenden Anteil an leistungselektronischen Erzeugern und reduzierten Schwungmassen im System
- DC-Netzstrukturen und AC/DC gekoppelte Systeme und deren Stabilitätsbegriff
- Kriterien für die Bewertung der Kommunikationsinfrastruktur und der inhärenten Sicherheit des Systems (Eigenschaften von Synchronmaschinen/Umrichtern)

Modelle und Simulation:

- Simulation, Methoden, Optimierung, Algorithmen, Werkzeuge für die Optimierung der Systemstruktur (akteurs- und spannungsebenenübergreifend) und deren Transformationspfade entsprechend der verschiedenen, teilweise konkurrierenden Zielkriterien (Sensitivitäten/Unsicherheiten/Probabilistiken)

mit verschiedenen Bewertungsmechanismen (z. B. No-Regret-Maßnahmen)

- Echtzeitmodellierung von Netzen und Validierung
- Bewertung von Stabilitätsaspekten (Frequenz-, Spannungs- und Polradwinkelstabilität, Selektiver Fehlererkennung/Schutzsystem) insbesondere in wechselrichterdominierten Netzen
- Hochperformance Simulation von Verbundnetzen (HPC-Architekturen)
- Frequenzreaktive Systeme
- Transiente Stabilität in Verbund- und Teilnetzen
- Dynamische adaptive Spannungsregelung
- Probabilistische Methoden, Szenarienrechnung und Risikomanagement
- mit der Anwendung für Studien, strategische und operative Investitions- und Planungsbedarfe für die Systementwicklung und -modernisierung mit verschiedenen Zeithorizonten bis hin zum gesamten Transformationspfad der Energiewende z. B. bis 2050

■ ERGEBNISSE

Das Ziel der Forschungsaktivitäten ist die Entwicklung neuer Verfahren zur simulativen Untersuchung von Stabilitätskriterien im zukünftigen Stromnetz. Die Simulationsmodelle sollen anhand praxisnaher Experimente im Labor und in Demonstratoren validiert werden.

■ ART DER FORSCHUNG

Der Schwerpunkt der Themen ist jedoch in die Kategorie angewandte Forschung einzuordnen.



AG 2 ANLAGEN- UND STROMRICHTERTECHNIK

AG 2-1. Innovationen bei Netzbetriebsmitteln und Anlagentechnik

Innovative Betriebsmittel bzw. Innovationen bei schon bestehenden Betriebsmitteln sind eine wichtige, wenn nicht sogar notwendige Ergänzung zu netzplanerischen und betrieblichen Konzepten, um die Ziele hohe Verfügbarkeit, Effizienzsteigerung, Umweltfreundlichkeit und Kostenoptimierung zu erreichen und erneuerbare und/oder dezentrale Energieanlagen in Energieversorgungsnetze besser und kostengünstiger einzubinden zu können.

Zur Neu- und Weiterentwicklung von innovativen Netzbetriebsmitteln werden, neben der Technologieentwicklung selbst, neue Ansätze für die Weiterentwicklung von Designtools, Modellierung, Simulation, Mess- und Prüftechnik sowie der experimentellen Überprüfung und Langzeitdemonstration benötigt.

Die hier diskutierten Inhalte umfassen Nieder-, Mittel- und Hochspannungsanwendungen, sowohl für AC- als auch DC-Systeme. Im Fokus stehen urbane und industrielle Netze sowie Netzsegmente, die stark durch die Einbindung erneuerbarer Energieanlagen belastet sind.

■ MOTIVATION

Insbesondere im Mittel- und Niederspannungsnetz ändern sich die Anforderungen an die eingesetzten Betriebsmittel durch zusätzlichen Aufgaben, die sich aus der zunehmenden Einspeisung aus regenerativen Energiequellen in diese Netze ergeben.

Innovative Netzbetriebsmittel tragen zu einem sicheren und kostengünstigen Netzbetrieb bei, bei gleichzeitiger Steigerung der Netzkapazität und der Verfügbarkeit sowie Zuverlässigkeit der Versorgung. Durch den Einsatz innovativer Betriebsmittel können die Grenzen der bisherigen Netzbetriebsführung und Netzplanung verschoben und erweitert werden. Zudem können neuartige Konzepte in der Schutz und Leittechnik unterstützt und gar erst ermöglicht werden.

■ FORSCHUNGSINHALTE

Die Forschungsinhalte sind sehr breit gestreut und umfassen neue Technologien, die Weiterentwicklung bestehender Technologien und Konzepte sowie neue, technologieübergreifende Lösungsansätze zur Unterstützung innovativer Betriebsmittel wie z. B. Halbleitermaterialien für Schaltelemente, supraleitende Bänder und passive Bauelemente.

Neue Technologien

- Optimierung bestehender Netzstrukturen und Betriebsmittel, z. B. zur Erzielung wirtschaftlicher Konkurrenzfähigkeit
 - Supraleitende Betriebsmittel (inkl. Kühlinfrastruktur)
 - Erschließung neuer Anwendungen und Kombinationen bestehender Einzelkomponenten (Freileitung, Kabel, Schaltgeräte, Strombegrenzer, Transformatoren, Stromrichter, Messtechnik etc.)
- Universale Schaltkonzepte für AC+DC Anwendungen
 - Mechanische Schaltkonzepte
 - Leistungselektronische Schaltkonzepte
 - Hybride Schaltkonzepte
- Stromrichtertechnik für Energieversorgungsnetze
 - Neue Topologien und Redundanzkonzepte Erhöhung der Verfügbarkeit, Robustheit, Zuverlässigkeit und des Wirkungsgrades
 - Erbringung von Systemdienstleistungen z. B. durch Kommunikationsanbindung

THEMEN | AG 2

AG 2-1. Innovationen bei Netzbetriebsmitteln und Anlagentechnik

AG 2-2. Schutz- und Leittechnik in dezentralen Energiesystemen

AG 2-3. Stromrichter für zukünftigen Netzbetrieb

AG 2-4. Interaktion von Stromrichtern mit dem Energieversorgungsnetz

AG 2-5. Zukünftiger Netzbetrieb

Weiterentwicklung bestehender Technologien und Konzepte

- Gas- und Luftisolierte Schaltanlagen
 - Klimaneutrale Schaltanlagentechnologien und Isolationssysteme
 - Auswirkung von Störfällen und Vermeidung bzw. Reduzierung der Auswirkung von Störlichtbögen (AC/DC), Überspannungsschutz etc.
 - Kontaktiertechniken
 - Einsatz neuer Übertragungstechnologien, neue Isolationsmaterialien für DC-Kabel, Einsatz von Zwischenverkabelung (GIL, Supraleitung,...), Entwicklung von Garnituren
 - Verbesserung der Wärmeabführung in Erdkabelbettungen möglichst auf natürlich-passive Weise durch modifizierte Bettungsmaterialien und einer systematischen Befeuchtung und Haltung
- #### Neue technologieübergreifende Lösungsansätze
- Allgemein anwendbare Filterkonzepte (z. B. für die temporäre Anbindung von Inselnetzen oder Bildung von virtuellen Inselnetzen)
 - Neue Anwendungen auch in Verbindung mit anderen Betriebsmitteln wie z. B. RONT, Transformatoren, Stromspeicher, Schaltanlagen, Schutz- und Leittechnik
 - Energy Harvesting (Schwarzstartfähigkeit, Nutzung von Abwärme etc.)
 - Personenschutz und Schutz vor Überströmen im Fehlerfall (z. B. EHS bei Wartung und Montage, Auswirkung von Störfällen etc.)
 - Steigerung der Komponentenverfügbarkeit durch neue Monitoring- und Wartungsansätze
 - Unkonventionelle Strom- und Spannungsmessung

- „Condition Monitoring“ und/oder „Predictive Maintenance“
- Betriebsmittel mit angepasster Lebensdauer (Obsoleszenz)
- Konzepte für eine effiziente und kostengünstige Wartung
- Schnelle Spannungsstabilisierung auch im Fehlerfall (Kurzzeitunterbrechungen)
- Erdungskonzepte

Akzeptanz und rechtliche Fragestellungen

- Entwicklung neuer Testverfahren
- Einführung von neuen Versicherungsmodellen
- Rechtliche und finanzielle Regelungen zum Einsatz von Demonstratoren und Prototypen

■ ERGEBNISSE

Das Ziel der Forschungsaktivitäten ist die Entwicklung neuartiger Technologien für die zuverlässige Verwendung in Netzbetriebsmitteln und das Aufzeigen neuer Lösungsansätze in der Schutztechnik und der Netzführung. Bei den Betriebsmitteln ist für erste Ergebnisse mit einem Forschungshorizont von einigen Jahren zu rechnen. Die Umsetzung von ganzheitlichen Lösungsansätzen im Zusammenspiel mit der Schutz- und Leittechnik wird mehr als 5 Jahre in Anspruch nehmen.

■ ART DER FORSCHUNG

Grundlagenforschung, Feld- und Langzeitdemonstrationen

- zu neuen Technologien und neuen Ansätzen der Schalt-, Übertragungs-, Schutz- und Messtechnik
- zur Zustandsbewertung und Versagensvorhersagbarkeit von Betriebsmitteln

Demonstration der Wirksamkeit, Effizienz und Zuverlässigkeit von innovativen Betriebsmitteln unter realen Bedingungen in Feldtests über einen längeren Zeitraum.

AG 2 – 2. Schutz- und Leittechnik in dezentralen Energiesystemen

Der Wandel der Energieversorgung vom zentralisierten System hin zu einem dezentralen Versorgungssystem mit Erzeugern und Verbrauchern auf nahezu allen Spannungsebenen stellt die Schutz- und Leittechnik vor neue Herausforderungen. Während in der Vergangenheit die vertikale Energieverteilung mit einem weitgehend unidirektionalen Leistungsfluss das dominierende Versorgungskonzept darstellte, werden durch den Zubau von (erneuerbare) Energieerzeugern insbesondere im Verteilnetz horizontale Versorgungsstrukturen mit bidirektionalen Leistungsflüssen über die Spannungsebenen hinweg geschaffen. Zudem bewirkt die Umstellung auf leistungselektronisch dominierte Einspeisung eine grundsätzliche Veränderung im Kurzschlussverhalten und im gesamten Regelverhalten in den Verteilnetzen.

■ MOTIVATION

Durch den Einsatz neuartiger Verfahren und Komponenten im Bereich der Schutz- und Leittechnik soll auch in zukünftigen dezentralen Versorgungsstrukturen ein sicherer Netzzustand gewährleistet sein und Fehler-situationen zuverlässig erkannt und beherrscht werden. Die heute geltenden grundlegenden Anforderungen an Schutzsysteme wie Selektivität, Zuverlässigkeit und Schnelligkeit müssen in Zukunft weiterhin gegeben sein bzw. durch F&E kontinuierlich verbessert werden.

■ FORSCHUNGSINHALTE

1. Erforschung neuer Technologien und Komponenten für wechsel- und gleichstrombasierte Energieversorgungsnetze
- Entwicklung neuartiger Schaltkonzepte wie z. B. DC-Schalttechnologien oder universelle AC+DC Hybridschaltanlagen mit dem Fokus der
 - Verbesserung der Schalt- und Reaktionszeiten bei erhöhten Netzdynamiken.
 - Kostensenkung und Zuverlässigkeitssteigerung der DC-Schalttechnologien in DC-basierten Netzen wie z. B. HGÜ.
- Erforschung neuartiger selektiver Schutzkonzepte

- zur Detektion von Störlichtbögen im DC-Netz (Lokalisierung und Unterdrückung).
- zur Kurzunterbrechung und Wiederanfahrstrategien für DC-Systeme.
- bei begrenzter Kurzschlussleistung.
- zur Inselnetzerkennung und -beherrschung bei dezentral organisierten Netzverbänden.
- Erforschung/Weiterentwicklung neuer und bestehender Mess- und Monitoringkonzepte u. a. zur
 - Verbesserung der Präzision, Zuverlässigkeit und Geschwindigkeit zur Integration schneller Netzakteure in die Schutz- und Leittechnik.
- Erarbeitung von Prüfkonzepten für neuartige Komponenten wie z. B.
 - Erwärmungsprüfungen von Betriebsmitteln bei Dauerströmen.
 - EMV-Prüfkonzepte zur Validierung der Störfestigkeit.
 - Experimentelle Überprüfung der Kurzschlussfestigkeit verschiedenster Betriebsmittel.
- Erarbeitung von „Hardware-in-the-loop“ Tests von Regelungsmodellen und Modellumrichtern zur
 - Echtzeit-Anwendung entwickelter Schutz- und Regelungskonzepte an Modellumrichtern.
 - Abbildung des Drehstrom-Verbundsystemverhaltens in Modellnetzen: Untersuchung des AC- und DC-Systemverhaltens im Fehlerfall und der Wechselwirkungen zwischen den Systemen.
 - Erprobung von Schutz- und Leittechnikkonzepten in realen Netzen bzw. in realitätsnahen Labornetzen.
- 2. Untersuchung der Wechselwirkungen zwischen den Akteuren und dem Netz.
- Einfluss der DC-Schutzmechanismen auf das AC-Netz (z. B. Spannungsbandunterschreitung auf AC-Seite durch DC-Schutzkonzepte).

- Auswirkungen von technologiebedingten Ableitströmen auf den stabilen Netzbetrieb und die Schutzsysteme durch umrichterbasierte Anlagen.
 - Untersuchung der durch die Leistungselektronik verursachten (leitungsgebundenen) Störeinstrahlungen (EMV) auf die Schutzsysteme und Entwicklung von Lösungsansätzen zur weiteren Reduktion der Störaussendungen und zur Steigerung der Robustheit der Netzbetriebsmittel ggü. Störeinstrahlungen.
 - Untersuchung von Resonanz- und Schwingeffekten zwischen Umrichtern, Regelung und Netz bei verschiedenen Frequenzen und Erforschung von Technologien zur Detektion und Beherrschung derselben.
 - Untersuchung der Kurzschlussstromthematik in umrichterdominierten Netzen und des Beitrags von DEA am Kurzschlussstrom sowie die Erarbeitung von Bewertungsmethoden zur Netzplanung und zur Definition von technischen Anschlussbedingungen.
3. Erarbeitung der Anforderungen und Weiterentwicklung zukünftiger Netzleittechniksysteme.
 - Erforschung und Verbesserung von neuen und bestehenden Methoden zur Lastflussanalyse und Zustandssimulation dezentraler Versorgungsstrukturen.
 - Konzepte/Entwicklung/Demonstration verteilter Automatisierungssysteme.
 - Vorhersagealgorithmen zum Netzverhalten und Präventionsstrategien zur intelligenten Vermeidung von Fehlern/Havarien.
 - Optimierung bestehender Netzleittechniksysteme und -methoden wie SCADA mit intelligenten Automatisierungssystemen (z. B. HEO – Höhere Entscheidungs- und Optimierungsfunktionen).
 - Erarbeitung von „Controller-in-the-loop“ Testmethoden.
 4. Erarbeitung der Anforderungen an zukünftige IKT im Kontext Leittechnik.
 - Erarbeitung und Erforschung von Fail-Safe Strategien durch Redundanzkonzepte und autarke Betriebsstrategien bei IKT-Ausfall.

- Erarbeitung und Erforschung einer flächendeckenden, echtzeitfähigen IKT Verfügbarkeit.
- Sicherheitsaspekte im überregional vernetzten Leittechniksystem.

■ ERGEBNISSE

Die Ergebnisse der Forschungsaktivitäten sind verbesserte oder neue Schalt- und Schutzelemente sowie Leittechnikkonzepte, die auf die Anforderungen der zukünftigen Netze abgestimmt sind, mit einem Zeithorizont von bis zu 5 Jahren. Zudem definieren die Aktivitäten neue Anforderungen an diese Elemente resultierend aus den Bedürfnissen von zukünftigen, teilweise auch hybriden, Verteilungsnetzen.

■ ART DER FORSCHUNG

- Grundlagenforschung zum Verhalten umrichterdominierter Verteilnetze und dessen Auswirkung auf Schutzstrukturen.
- Grundlagenforschung zu neuen Komponenten der Schalt- und Sicherheitstechnik.
- Angewandte Forschung zur Kooperation von DC und AC-Netzen, mit der besonderen Betrachtung der Schutz- und Leittechnikanforderungen.
- Forschungsvorhaben der angewandten Forschung in Verbindung mit Pilot- und Demonstrationsprojekten.

AG 2 – 3. Stromrichter für zukünftigen Netzbetrieb

Mit der Neuorientierung des Energieversorgungssystems gewinnen Stromrichter weiter an Bedeutung. Von der Einspeisung regenerativ erzeugter Energie ins Verteil- und Übertragungsnetz über die Kopplung zwischen AC- und DC-Netzen, die Spannungswandlung in DC-Netzen bis hin zu einer Vielzahl von flexiblen Verbrauchern sind Stromrichter unverzichtbar. Durch ihre weite Verbreitung und die Möglichkeit, zukünftig Systemdienstleistungen verschiedenster Art bereitstellen zu können ergeben sich neue, höhere Anforderungen an die Stromrichter und deren Komponenten.

■ MOTIVATION

Mit der flächendeckenden Durchdringung von Stromrichtern werden diese unverzichtbar für den stabilen Betrieb zukünftiger Energienetze. Entscheidend für die

Akzeptanz von Stromrichtern als wesentlicher Bestandteil der Netzinfrastruktur sind deren Verfügbarkeit und Kosten im Vergleich zu den aktuell verfügbaren konventionellen Technologien. Sie werden Systemdienstleistungen, wie z. B. Spannungs- und Frequenzregelung, übernehmen und mit dem Netz interagieren. Hierbei rücken der Wirkungsgrad, die Lebensdauer und die Lebenszykluskosten der Stromrichter in den Vordergrund. Durch die mehrfache Umwandlung der Energie, zum Beispiel bei DC-DC-Wandlern oder beim Laden und dem Betrieb von Elektroautos, ist die Effizienz des Stromrichters von entscheidender Bedeutung. Dies kann durch neuartige Leistungshalbleiter, verbesserte Aufbau- und Verbindungstechnik und optimierte passive Komponenten erreicht werden. Des Weiteren stellen die Systemdienstleistungen neue Anforderungen an die Stromrichter wie z. B. erhebliche Überlastfähigkeit, höhere Spannungs- und Stromreserve und Vorhersage der Restlebensdauer.

■ FORSCHUNGSINHALTE

Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der Stromrichtertechnik für den zukünftigen Netzbetrieb gliedern sich in die Schwerpunkte Stromrichterkomponenten, Implementierung von Systemdienstleistungen, Stromrichtersysteme und Engineering Tools.

- Stromrichterkomponenten
 - Verbesserung der Effizienz von Leistungshalbleitern z. B. auf Basis von Si, SiC, GaN, Graphenen, Diamant und der dazu notwendigen Herstellungsprozesse und Materialien,
 - Forschung an neuartigen und verbesserten passiven Bauelementen und deren Materialien und Herstellungsprozessen (z. B. Schaltungsträger, Kondensatoren, Induktivitäten, Steckverbinder), wobei insbesondere auch Anforderungen durch schnellere Leistungshalbleiter berücksichtigt werden müssen,
 - Erhöhung der Leistungsdichte und damit Reduktion von Gewicht und Bauvolumen durch Integration von z. B. Leistungshalbleitern, Controllern, Sensorik, Kommunikationstechnik und passiven Komponenten,
 - Neue Aufbau- und Verbindungstechniken, z. B. für höhere Temperaturen und Temperaturzyklen, um die kurzzeitige Überlastfähigkeit im Netzbetrieb zu ermöglichen, und Reduktion der parasitären Induktivitäten zur Erhöhung der Schaltfrequenz,

- Neue Entwärmungstechnologien zur Erhöhung der Leistungsdichte,
- Umwelt- und Ressourcenschutz bei der Herstellung und Reduktion des Einsatzes knapper Rohstoffe und Prozesschemikalien,
- Reparaturfreundlichkeit und Recyclingfähigkeit von Bauelementen und Baugruppen.
- Implementierung von Systemdienstleistungen
 - Neuartige, verbesserte und präzise Messwert- erfassung für die Bereitstellung von System- dienstleistungen, z. B. Frequenz- und Spannungs- messung,
 - Funktionale Sicherheit, erhöhte Resilienz für sicherheitsrelevante Anwendungen von Strom- richtern z. B. in Fahrzeugen, Industrieprozessen und el. Netzen,
 - Condition Monitoring für Stromrichter (z. B. Zustandsschätzung, Zustandsprognose von kritischen Komponenten und Vorhersage der Restlebensdauer) für Ferndiagnose und zustandsorientierte Wartung,
 - Verbesserung der Störfestigkeit und Reduktion elektromagnetischer Emissionen, insbesondere auch in Zusammenhang mit der Integration von Kommunikationstechnik,
 - Reduzierung von Interaktionen zwischen Stromrichtern (z. B. Leistungspendelungen, Schwingungen und Resonanzen) und Belastung von Schutzleitern bzw. Neutralleitern.
- Stromrichtersysteme
 - Neue Stromrichterkonzepte, -topologien und deren Regelung zur Verbesserung der Energie- effizienz (z. B. resonante Hochleistungsumrichter, Mehrpunktumrichter, multiterminalfähige Stromrichter, hybride Systeme, Stromrichter mit elektronischer Kurzschlussstrombegrenzung),
 - Konzeptionelle Ansätze zur Kostensenkung unter Berücksichtigung der Lebenszykluskosten (z. B. Plattformkonzepte, Modularität und Skalierbarkeit),

- Vereinfachte Installation, Erweiterbarkeit von Systemen und deren Kommunikationsinfrastruktur (z. B. „Plug and Play“, automatische, optimierte Parametrisierung und System-Update-Fähigkeit),
- Erfassung und Analyse von Störungen und Schädigungsprozessen vor- bzw. nachgelagerter Systeme durch Auswertung der gemessenen elektrischen Größen,
- Neuartige Testverfahren zur Bestimmung der Lebensdauer des Stromrichters (z. B. durch niederfrequente Temperaturhübe, Einfluss der Luftfeuchte auf Vergussmaterialien).
- Engineering Tools
 - Weiterentwicklung von Tools und Modellen zur Simulation von Baugruppen und Systemen, insbesondere Multiphysics-Simulationen zur Reduktion von parasitären Effekten und thermischen Optimierung,
 - Forschung an verbesserten Halbleitermodellen für schnellere und genauere Halbleitersimulationen insbesondere im Stromrichtermaßstab,
 - Weiterentwicklung der Messtechnik für Bauelemente und Systeme z. B. für extrem schnell schaltende Leistungshalbleiter bei sehr geringen Schaltverlusten.

■ ERGEBNISSE

Die Forschungsaktivitäten führen zu neuartigen und verbesserten Stromrichterkomponenten, die zusammen mit neuen Regelungsstrategien und Stromrichtersystemen den Systemwirkungsgrad deutlich verbessern. Eine Erhöhung der Lebensdauer bei besserer Stromrichter- ausnutzung ermöglicht eine höhere Verfügbarkeit im Netzbetrieb und die zuverlässige Bereitstellung von erweiterten Systemdienstleistungen. Hierfür notwendige Anforderungen an die Komponenten und die Messwert- erfassung werden erarbeitet. Schon in den ersten drei Jahren werden neue Stromrichterkonzepte mit höherer Effizienz, Modularität und Skalierbarkeit erwartet. Innerhalb von fünf Jahren ist mit effizienteren Strom- richterkomponenten und der Bereitstellung von System- dienstleistungen für einen verbesserten Netzbetrieb und innerhalb von zehn Jahren mit neuartigen Leistungs- halbleitern zu rechnen.

■ ART DER FORSCHUNG

In den Bereich der Grundlagenforschung fallen neuartige Stromrichterkomponenten, deren Zustandsschätzung im Betrieb und der Umweltschutz in deren Herstellung. Angewandte Forschung ist notwendig in der Verbesserung bestehender Stromrichterkomponenten, der Implementierung von Systemdienstleistungen, der Entwicklung neuer Stromrichtersysteme und der Bereitstellung neuer Engineering Tools. Hierfür sind Pilot- und Demonstrations- projekte für den erweiterten Einsatz im Netzbetrieb notwendig.

AG 2 – 4. Interaktion von Stromrichtern mit dem Energieversorgungsnetz

Die Kosten für geregelte Stromrichter fallen weiterhin. Regenerative Energien werden zunehmend genutzt und über Stromrichter an das elektrische Verteil- oder Übertragungsnetz angeschlossen. Hochspannungs- Gleichstrom-Übertragungsstrecken binden Offshore- Windenergie in das Übertragungsnetz ein, weitere werden den effizienten Energietransport an Land über längere Strecken ermöglichen. Leistungselektronik ermöglicht innovative Inselnetze und optimiert Bord- netze in Fahrzeugen, Schiffen und Flugzeugen. Damit spielen Stromrichter eine zunehmende Rolle in ver- schiedensten Netzformen und entscheiden in Zukunft in hohem Maße mit über stabilen und sicheren Netzbetrieb. Dieses Thema ist eng mit vielen anderen Themenschwer- punkten vernetzt, z. B. mit den Aspekten Stabilität, HGÜ- Integration und Flexibilisierung des Energiesystems.

■ MOTIVATION

Deutschland ist einer der Technologieführer in diesem Umfeld und muss diese Position verteidigen, um Heraus- forderungen zu meistern und nationale – aber auch internationale – Märkte zu bedienen. Die Nutzung von Stromrichtern kann unter unterschiedlichsten Bedin- gungen zu unerwünschten Oszillationen, in Extremfäl- len mit Komponentenzerstörung, bis hin zu lokalen Netzinstabilitäten führen. Forschung und Entwicklung analysieren und beseitigen diese negativen Auswirkungen.

Stromrichter und ihre Regelung sind nichtlinear und zeit- variant. Ihre Parameter und die ihrer Filter sind nicht immer genau bekannt, in der Regel sogar alterungsabhängig. Dennoch sollen Stromrichter unterschiedlicher Hersteller in allen denkbaren Fällen und unter allen denkbaren

Randbedingungen problemlos mit dem Energieversorgungsnetz zusammenarbeiten und dessen Stabilität und Effizienz erhöhen – und dies auf besonders kostengünstige Weise. Im Moment ist die Resilienz von Stromrichtern am Netz nur in Ansätzen erforscht. Mit zunehmender Durchdringung ist es zielführend, die Resilienz der Stromrichter und damit auch die Resilienz der Energieversorgung insgesamt zu stärken.

Langfristig sollen sich Stromrichter und Netze gegenseitig stärken: Stromrichter sind dann mit geringem Planungsaufwand direkt in beliebigen Netzen nutzbar. Zugehörige Prüfverfahren für Stromrichtersysteme sowie Netzanschlussrichtlinien sind so gestaltet, dass die Möglichkeiten von Stromrichtern bis an ihre Grenzen genutzt werden können. Dadurch wird sowohl für Hersteller als auch für Anwender Planungs- und Betriebssicherheit gewährleistet.

■ FORSCHUNGSINHALTE

Forschung und Entwicklung gliedern sich in vier Säulen mit jeweils mehreren zentralen Aspekten, die Untersuchungen zur Problemanalyse und zur Problemlösung kombinieren.

- Erforschung und Behebung von Ursachen für Netzininstabilitäten
 - Bedingt durch Resonanzen im Netz – „klassischer Ansatz“: Verfahren zur automatischen Netzcharakterisierung werden mit Regelungsverfahren kombiniert, um Anpassungen an den Netzzustand und damit Stabilität unter allen denkbaren Bedingungen zu gewährleisten
 - Bedingt durch das Schalt- und Regelungsverhalten von Stromrichtern selbst: Die gegenseitige Beeinflussung von Stromrichtern und deren Regelung in sehr kurzen Zeitabschnitten bis hinunter zu einzelnen Schalthandlungen führt in ungünstigen Fällen zur Netzininstabilität
- Bereitstellung angepasster Werkzeuge
 - Mess- und Auswertemethoden, z. B. zur Identifikation und Analyse von Netzen
 - Zeit- bzw. frequenzbereichsübergreifende Simulationsmethoden
 - Testwerkzeuge zur Bewertung der Stromrichter-Netz-Wechselwirkung

- Sicherstellung einer systemdienlichen Interaktion von Stromrichtern mit dem Netz: Hier werden die technischen Grundlagen aufgegriffen und weiterentwickelt, die im Zusammenspiel mit anderen Themenschwerpunkten eine Gesamtlösung liefern
 - Zukünftige Netze werden fließend zwischen den Extremen „Starres Netz“ und „Inselnetz“ wechseln – die Rolle der Stromrichter muss sich von einer netzspeisenden zu einer netzerhaltenden Betriebsweise verändern. Neben den technischen Lösungen sind auch regulatorische Aspekte zu integrieren, damit Stromrichter gemeinsam stabil und resilient funktionieren
 - Neue Netzformen wie z. B. Gleichspannungsnetze sowie zugehörige Stromrichterlösungen werden auf Basis bestehender Lösungen erforscht, weiterentwickelt und bewertet. Solche Netze praxisnah zu beurteilen und zu optimieren bevor sie ggf. zum Einsatz kommen, sichert eine nachhaltige Netzentwicklung
 - Aspekte der Schutz- und Leittechnik, vor allem im Umfeld von erneuerbaren Energien und Elektromobilität, stellen Anforderungen an die Stromrichter und ihre Betriebsweise
 - Entwicklung von Anforderungen an alle Netzanschlussnehmer (Verbraucher, Erzeuger und Speicher), vor allem auf Stromrichterbasis, zur Sicherstellung von Netzstabilität und Spannungsqualität im jeweiligen Umfeld
- Ganzheitliche Systemoptimierung
 - Viele Arbeiten beschränken sich bisher auf heute in Deutschland übliche Netzformen und Netzeigenschaften. Ganzheitliche Lösungen, die auch unter schwierigen Bedingungen gültig bleiben, berücksichtigen auch ungewöhnliche Netzformen und Netzzustände
 - Bereits vorliegende Detailoptimierungen werden in ihrer Wechselwirkung untereinander und mit Bezug auf Kosten und Aufwand bewertet und kombiniert, um so aufwandsarm nachhaltige Lösungen zu erarbeiten

■ ERGEBNISSE

Die Interaktion von Stromrichtern untereinander und mit dem jeweiligen Netz wird so gestaltet, dass

zuverlässiger und nachweislich stabiler Betrieb unter allen Bedingungen garantiert ist. Insbesondere die Stabilität des Stromnetzes wird sichergestellt.

Detailuntersuchungen von Stromrichtern in unterschiedlichen, herausfordernden Betriebsszenarien ergeben hersteller- und anwenderübergreifende Handlungsanweisungen für stabilen und sicheren Netzbetrieb mittels resilient konzipierter Stromrichter und deren Steuerung und Regelung. Innerhalb von drei bis fünf Jahren nach Start der Forschungsarbeiten gibt es erste belastbare, durch Simulation und Messungen überprüfbare Aussagen zu den verschiedenen Ursachen für Instabilität in unterschiedlichen Netzen. Weitere zwei bis vier Jahre führen zu Lösungen und deren schrittweise Übernahme in gesicherte Erkenntnisse, Normen und Netzanschlussbedingungen. Parallel dazu wird die grundsätzliche Überlebens- und Anpassungsfähigkeit von Stromrichtern in Netzen durch kombinierte Maßnahmen in den Bereichen Schaltungstopologie, Filtertechnik, Regelungstechnik sowie mit Hilfe von Monitoring-Technologien deutlich verbessert. Auch hier werden relevante Fortschritte innerhalb von etwa fünf Jahren erwartet – technologische Fortschritte und fallende Kosten gerade im Bereich der Leistungshalbleiter und Digitaltechnik lassen jedoch kontinuierliche Verbesserungen über einen langen Zeitraum hinweg erwarten.

■ ART DER FORSCHUNG

Die Erforschung der direkten Ursachen von Netzininstabilitäten ist zwischen Grundlagenforschung und angewandter Forschung einzuordnen. Gleiches gilt für die Entwicklung angepasster Werkzeuge, z. B. zur ganzheitlichen Optimierung. Die ganzheitliche Optimierung und Konsolidierung selbst ist der angewandten Forschung zuzuordnen, die betrachteten Aspekte gehören zu einer höheren technologischen Ebene und setzen die Lösung grundlegender Probleme als gegeben voraus. Eine ganzheitliche, praxisrelevante Untersuchung benötigt Anlagen oder Versuchseinrichtungen mit einer hohen Zahl von modifizierbaren Stromrichtersystemen. Hier sind umfassende, auch hersteller- und anwenderübergreifende Pilot- und Demoprojekte zielführend.

AG 2 – 5. Zukünftiger Netzbetrieb

Deutschland verfügt über ein gut ausgebautes Übertragungs- und Verteilungsnetz für elektrische Energie. Die Leitungslängen betragen ca. 35.000 km (Höchstspannung), 77.000 km (Hochspannung), 479.000 km (Mittelspannung) und 1,123 Mio. km (Niederspannung). Darüber hinaus existieren zwei

Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragungsleitungen (HGÜ) auf Thyristorbasis nach Dänemark und Schweden. Für die Übertragungsnetze werden Netzentwicklungspläne erstellt, in denen der Ausbau der Höchstspannungsebenen sowie neuer selbstgeführter Hochspannungs-Gleichstromtrassen definiert wird. Der zukünftige Netzbetrieb unterliegt abhängig vom Verhältnis von konventioneller und fluktuierender regenerativer Erzeugung fortlaufend veränderten Anforderungen. Hieraus ergeben sich Themen und Anforderungen sowie neue technische Ansätze der zukünftigen Netzbetriebsführung in Verteilnetzen ab der 110-kV-Hochspannungsebene abwärts. Dies hat auch Auswirkungen auf die höheren Spannungsebenen.

■ MOTIVATION

Für den Netzbetrieb ergeben sich abhängig vom Umbau der Erzeugungsstrukturen fortlaufende Anpassungs- und Änderungsbedarfe mit unterschiedlichen Innovationstiefen und Zeithorizonten. Eine bessere und flächendeckende Integration der dezentralen Erzeugung bei gleichbleibender Versorgungssicherheit muss erreicht werden. Hierfür ist u. a. eine Erschließung neuer Funktionalitäten von Erzeugungsanlagen, Lasten und Betriebsmitteln sowie die datentechnische Einbindung und Nutzung relevanter Informationen dieser Komponenten erforderlich. Dafür sind innovative Ansätze bei der Übernahme von Systemdienstleistungen durch Erzeugungsanlagen und Lasten notwendig.

Betriebsmittel unterliegen aufgrund der Erzeugungsstrukturen einer stark schwankenden Belastung. Durch schnell steigende elektrische Bedarfe, wie z. B. durch die Elektromobilität, treten veränderte Lastprofile mit hohen Dauerbelastungen und zeitlichen Verschiebungen der Lastspitzen auf. Dieser Herausforderung kann kurzfristig nicht durch Netzausbau begegnet werden, hierfür sind innovative Maßnahmen zur Steuerung und Regelung von Lastprofilen erforderlich. Wegen der insgesamt steigenden elektrischen Last müssen zusätzliche Maßnahmen zur Sicherstellung der Versorgungssicherheit, wie z. B. automatisierte Netzstationen, geplant, realisiert und im Netzbetrieb getestet werden. Eine koordinierte Interaktion zwischen Verteilungs- und Übertragungsnetz, die flächendeckende Erbringung von Systemdienstleistungen sowie einer verbesserten Resilienz der elektrischen Energieversorgung verbessert die Verfügbarkeit.

■ FORSCHUNGSINHALTE

Lösungsansätze zur Realisierung zukünftiger Anforderungen für den Netzbetrieb:

1. Definition von Anforderungen an den zukünftigen Netzbetrieb
 - Welche Verteilung (bzgl. Ort/Spannungsebene/ Leistung) von netzbildenden und einspeisenden Anlagen, sowie explizit regelbaren Anlagen wird benötigt?
 - Welche Minimalanforderung an eine Steuer-/ Regelbarkeit bzw. an eigenständige/ autarke Regelung der Anlagen/Teilnetze sind zu stellen?
 - Welche Anforderungen ergeben sich für die Netzbetriebsmittel, die Netzleittechnik und die Erzeugungsanlagen?
 - Herausforderungen durch Sektorkopplung und Flexibilisierung des Gesamtsystems
2. Verbesserte Netzintegration von Erzeugungsanlagen
 - bei flächendeckendem Einsatz von Erzeugungsanlagen mit Stromrichtern
 - bei flächendeckender fluktuierender Erzeugung und Energiespeichern
 - Online-Abbildung variabler Lastflüsse bei fluktuierender Erzeugung
 - Prognosesysteme auf Anlagenebene
3. Einfluss der Elektromobilität
 - Ladebedarfe, Ladeinfrastruktur, Netzausbau, Nutzung der Batteriekapazitäten
 - Schnittstellen zur Ladesteuerung (Hausanschluss, Ortsnetz, Ladeinfrastruktur)
4. Integration von Netz-/Last-/Erzeugungsmanagement/Energiespeichern sowie Blindleistungsmanagement von Erzeugern und Lasten
 - Schnittstellen Hard- und Software
 - Durchgängig fernsteuerbare Schalteinrichtungen
 - Konzept zur Kopplung von Netz-/Last- und Erzeugungsmanagement
5. Verbesserte Erbringung von Systemdienstleistungen
 - Intelligente Niederspannungs-Leistungsschalter für Netzstationen
 - Bereitstellung von Eigenschaften zur Frequenz- und Spannungsregelung und zur Schwarzstartfähigkeit, verbesserte Versorgungsqualität
 - Methoden zur Charakterisierung von Netzabschnitten und Netzgebieten
6. Steuerbarkeit und Automatisierung von Netzbetriebsmitteln und Erzeugungsanlagen, verbesserte Resilienz und Zuverlässigkeit (z. B. auch Ausfall der Kommunikation)
 - zukünftige Einbettung von Microgrids, Inselnetzen und zellularen Netzen
 - Netzbetrieb ohne rotierende Generatoren
 - Einbindung von DC-Netzen
 - Durchgängige Steuerbarkeit von dezentralen Erzeugungsanlagen
 - Fernsteuerbarkeit von Betriebsmitteln und Erzeugungsanlagen
 - Beitrag zum Netzwiederaufbau durch verbliebene Inselnetze
7. Optimierung der Betriebsführung, Erhöhung der Zuverlässigkeit und Verringerung von Betriebsmittelausfällen/Fehlerraten, Stabilitätsrechnungen
 - Optimierung von Struktur, Betriebsmitteln und Anlagen im Netz
 - Einbindung innovativer Netzbetriebsmittel, Konzepte für Netz-Fernsteuerung
 - Messdatengestützte gezielt geplante Instandhaltung, Zustandsüberwachung durch Diagnostik
 - Neue Verfahren zur Fehlersuche in allen Spannungsebenen
 - Wechselwirkung Betrieb und Planung zukunftsicherer Verteilnetze

8. Durchgängiger Datenaustausch und Netzmonitoring auf der Hoch-, Mittel- und Niederspannungsebene
 - Angepasste Schutz- und Leittechnik zur Einbindung dezentraler Energien
 - Bessere und durchgängige technische Vernetzung innerhalb des Verteilnetzes sowie von Verteil- und Übertragungsnetz
 - Online-Vorausberechnung von Fehlerszenarien im Verteilnetz bei dezentralen Erzeugungsanlagen mit fluktuierender Leistungsbereitstellung
 - Horizontal-Datenaustausch zwischen den Verteilnetzbetreibern
9. Schnittstelle zum HöS-Netz: Auswirkungen der Verbesserungen in $\leq 110\text{kV}$ -Ebene auf die Anforderungen an die HöS-Ebene
 - Neue Anforderungen an die Kopplung von Verteil- und Übertragungsnetz
 - Neue Anforderungen an regulatorische Rahmenbedingungen

■ ERGEBNISSE

Energiepolitische Zielstellungen mit der vollständigen Netzintegration volatiler regenerativer Erzeugungsanlagen werden erreicht. Dazu wird innerhalb der nächsten fünf Jahre ein zuverlässiger und resilienter Netzbetrieb bei hoher Netzdurchdringung mit dezentralen und überwiegend über Stromrichter gekoppelten Erzeugungsanlagen erforscht und entwickelt. Im Zeithorizont bis 10 Jahre werden Ergebnisse für einen teilautomatisierten Netzbetrieb mit großflächiger Einbindung dezentraler Erzeugungsanlagen erarbeitet.

■ ART DER FORSCHUNG

Es werden die Vorlaufforschung (Grundlagenforschung), angewandte Forschung und Pilot- bzw. Demoprojekte zur Validierung von Forschungsansätzen und -ergebnissen erforderlich sein. Als Instrumente werden Einzel-, Kooperations- und Verbundprojekte im Rahmen einer Themenplattform mit definierten Schnittstellen zum Austausch mit anderen Forschungsprojekten und der Verwertung von Ergebnissen vorgeschlagen.



AG 3 HGÜ UND AC/DC INTEGRATION

AG 3 – 1. Netzberechnungsmethoden für die AC/DC-Integration

In diesem Schwerpunkt werden die besonderen Anforderungen an die Untersuchung mittels leistungselektronischer Umrichter gekoppelter AC- und DC-Netze herausgestellt und Lösungsansätze bzw. Erweiterungen für konventionelle Verfahren entwickelt und demonstriert. Aufgrund der Relevanz für die Netzplanung, den Netzausbau und den Netzbetrieb handelt es sich um ein Querschnittsthema.

■ MOTIVATION

In konventionellen AC-dominierten Netzstrukturen ist ein Arbeiten ohne belastbare Netzberechnungsmethoden undenkbar und seit vielen Jahrzehnten Stand der Technik. Es liegen fundierte und im Detail validierte Konzepte für die Behandlung von komplexen Netzstrukturen für augenblicksorientierte (EMT) und periodenorientierte (RMS) Zeitbereichssimulationen und Lastflussberechnungen vor.

Diese Methoden können jedoch nicht direkt bzw. teilweise überhaupt nicht auf die durch den Einsatz von leistungselektronischen Umrichter (z. B. HGÜ und MGÜ) entstehenden gemischten Übertragungs- und Verteilnetzstrukturen übertragen werden. Dieses liegt in der grundsätzlich anderen Wirkungsweise der Umrichter im Netzverbund begründet.

Aus diesem Grund müssen die besonderen Anforderungen von Umrichter-dominierten Misch- und DC-Systemen herausgestellt und neue Lösungsansätze bzw. Erweiterungen der konventionellen Verfahren entwickelt und demonstriert werden. Damit zukünftig ein großer Personenkreis mit validierten Methoden die Herausforderungen der AC/DC-Integration lösen kann, ist die Erarbeitung von Prüfkriterien für die verschiedenen Netzberechnungsmethoden für die offline- und realtime-Realisierung zu erarbeiten.

Zielsetzung ist die Erarbeitung von Modellen und Methoden, die für verschiedene Anwendungsperspektiven gültig sind und sowohl in Hardware wie auch in Software implementiert werden können. Hierbei reicht der Fokus von der Umrichter-nahen Entwicklung bis hin zu energie-wirtschaftlicher Fragestellungen.

■ FORSCHUNGSINHALTE

- Identifikation neuer Systemeinflüsse, die mit konventionellen Methoden nicht behandelt werden können
 - Besonderheiten der aktiv geregelten vorwiegend MMC-basierten Netzverbindingssysteme (z. B. HGÜs und MGÜ)
 - Konsequenzen für Umrichter-basierte gekoppelte Teilnetze
- Kritische Reflektion der Einsatzfähigkeit und adäquate Erweiterungen von konventionellen Netzberechnungsansätzen
 - Stationäre Lösungsverfahren (z. B. Lastfluss- und Kurzschlussstromberechnungen, Berücksichtigung von Zielfunktionen)
 - RMS
 - EMT
 - Adäquate Kopplung der verschiedenen Methoden
- Kritische Reflektion des Stands-der-Technik sowie Entwicklung adäquater Netzreduktionsverfahren für Umrichter-dominierte Netze
- Ableitung von Anforderungen an Simulationsmodelle für die verschiedenen Netzberechnungsmodi hinsichtlich

THEMEN | AG 3:

AG 3 – 1. Netzberechnungsmethoden für die AC/DC-Integration

AG 3 – 2. Netzbetrieb und -regelung

AG 3 – 3. Netzkomponenten

AG 3 – 4. Netzschutz und Netzleittechnik in AC/DC-Netzen

AG 3 – 5. Netzplanung und -design

- Umfang und Detaillierungsgrad für verschiedene Untersuchungszwecke
- Prüfkriterien für die Validierung und Abnahme von Simulationsmodellen (sowohl für Offline-Simulationen als auch für Realtime-HIL-Anwendungen)
- Definition von Schnittstellen und Prozessen für den Austausch von Black-Box-Modellen (unabhängig von spezifischen Netzberechnungsprogrammen)
- Erweiterung des Stabilitätsbegriffs
 - Genaue Definition inklusive allgemeiner Nomenklatur
 - Abgrenzung bestehenden Definitionen
 - Einzusetzende Untersuchungsmethodik

■ ERGEBNISSE

Entsprechend der Ausführungen entstehen neue validierte Konzepte mit zugehörigen Validierungsstrategien für verschiedene Netzberechnungsmethoden, die Basis für die Netzplanung, den Netzausbau und den Netzbetrieb sind. Darüber hinaus wird eine fundierte Methoden für die Untersuchung bis hin zur Stabilitätsbewertung für die AC/DC-Integration und den Umrichter-Betrieb entwickelt, die die Basis für Netzstabilisierungsmaßnahmen und Zertifizierungsprozesse darstellen können. Die Ergebnisse lassen sich mittelfristig in die industrielle Anwendung überführen.

■ ART DER FORSCHUNG

Alle aufgeführten Aspekte bilden die Basis für eine nachhaltige Netzplanung, einen zielgerichteten Netzausbau sowie einen sicheren Netzbetrieb und sind damit der angewendeten Forschung zuzuordnen. Kernaspekte können durch applikationsnahe Pilotanwendungen abgesichert werden.

AG 3 – 2. Netzbetrieb und -regelung

Erforschung und Entwicklung von Methoden und Funktionen für Betrieb und Regelung von AC/DC-Netzen unter besonderer Berücksichtigung von Systemeffizienz und Systemsicherheit.

■ MOTIVATION

Dank der Flexibilität der DC-Technologie bietet sich zur weitflächigen Einbindung erneuerbarer Energiequellen die Entwicklung von Drehstromnetzen zu integrierten AC/DC-Netzen bis hin zu reinen DC-Netzen an. Für die erfolgreiche Energiewende wird so die Verfügbarkeit geeigneter Methoden und Funktionen für Betrieb und Regelung von AC/DC-Netzen unabdingbar. Diese Inhalte stehen in engem Zusammenhang mit den Themen der anderen vier Themenblättern.

■ FORSCHUNGSINHALTE

Die Inhalte können wie folgt gegliedert werden und beziehen sich sowohl auf integrierte Punkt-zu-Punkt DC-Verbindungen als auch auf DC-Netze mit mehreren Terminals.

Optimierte AC/DC-Betriebsführung

Die sich dank eines AC/DC-Netzes neu ergebenden Freiheitsgrade der Leistungsflussregelung zur insgesamt besseren Ausnutzung der Gesamtinfrastruktur sind zu erfassen. Geeignete Kriterien der Optimierung werden erforscht und die Randbedingungen der optimalen Leistungsflussberechnung angepasst. Dabei sind praktische Aspekte wie z. B. die Koordination unter den Regelzonen, Blindleistungsmanagement, Netzbezirken oder die Reduktion von Kreisflüssen zu berücksichtigen. Relevante Unterthemen ergeben sich weiterhin in der Netzautomatisierung, Netzzustandserkennung – State Estimation, Anwendung innovativer Regelungsverfahren, Einbindung von DC auf verschiedenen Spannungsebenen in Übertragungs- und Verteilnetzen sowie bezüglich des

betrieblichen Einflusses von Mischleitungssystemen abschnittsweise realisiert durch Freileitung, Kabel oder GIL.

Sicherer Betrieb von AC/DC-Netzen

Die bekannte N-1 Sicherheitsanalyse ist hinsichtlich ihrer Eignung für AC/DC-Netze zu untersuchen und entsprechend weiter zu entwickeln. Dabei sollen neue und durch Netzregelung und leistungselektronische Umrichter ermöglichte Sicherheitskonzepte erforscht werden. Als Teil der Regelbarkeit bieten sich einerseits präventiv-korrektive Maßnahmen an, um auch bei einem Fehler temporär den Weiterbetrieb zu sichern, andererseits kurative Maßnahmen, um nach einer Störung schnell einen sicheren Weiterbetrieb zu gewährleisten. Die Erarbeitung von Konzepten für Schutzzonen mit vorgegebenen Fehlerklärungsmechanismen ist hierbei von Interesse. Seitens der elektrotechnischen Seite sind Einflüsse von Umrichter-Technologien und Topologien sowie die Leitungstechnologie relevanter Forschungsgegenstand für Konzepte zur Erzielung einer hohen Versorgungssicherheit. Ebenfalls zu den Untersuchungsgegenständen zählen das Wiederanfahren der Umrichter, der Netzwiederaufbau, die Interoperabilität verschiedener Umrichter und das kommunikationsbedingte Zeitverhalten der Sicherheitskonzepte.

Stabilität von AC/DC-Netzen

Verfahren zur Analyse der Stabilität in Drehstromnetzen sind bekannt. Deren Anwendbarkeit auf AC/DC-Netze oder reine DC-Netze ist jedoch kritisch zu hinterfragen. Stabilitätskriterien für Kleinsignalverhalten, Leistungspendelungen oder Spannungsregelungen sind für AC/DC-Netze zu untersuchen. Die durch die Umrichter gegebenen Möglichkeiten der Stabilisierung des Gesamtsystems sind wichtiger Forschungsgegenstand.

■ ERGEBNISSE

Entsprechend obiger Einteilung entstehen neue Methoden und Funktionen für effizienten Betrieb, Sicherheit und Stabilität von AC/DC-Netzen. Die Ergebnisse sind für Betrieb und Regelung zwingend notwendig und lassen sich mittelfristig in die Anwendung überführen.

■ ART DER FORSCHUNG

Für die methodische und konzeptionelle Ausgestaltung obiger Themen und gerade auch bei systemischer Betrachtung von AC/DC-Netzen oder reinen DC-Netzen

sind anwendungsnahe Forschung und Vorlaufforschung notwendig. Diese kann je nach Fortschrittsstadium durch Pilotanwendungen ergänzt werden.

AG 3 – 3. Netzkomponenten

■ MOTIVATION

Der Einsatz der DC-Technologie in Übertragungs- und Verteilnetzen erfordert neue Netzbetriebsmittel und Netzbetriebsmittel mit angepassten Eigenschaften. Durch die DC-Technologie treten im Vergleich zu Netzkomponenten in reinen AC-Netzen andersartige Betriebsbeanspruchungen auf. Diese müssen beim Design und der Prüfung der Netzbetriebsmittel berücksichtigt werden, da ansonsten die geforderte hohe Zuverlässigkeit des Gesamtsystems nicht erreicht werden kann. Auslegung, Prüfung und Betrieb von Netzkomponenten für AC/DC- und reine DC-Netze stehen in engem Zusammenhang mit den Themen der anderen 4 Themenblätter.

■ FORSCHUNGSINHALTE

Festlegung der Prüfanforderungen für DC-Netzkomponenten

Für das Gesamtsystem sind Methoden und Verfahren zu entwickeln, die eine Ableitung von Prüfanforderungen an Einzelkomponenten erlauben:

- EMV (Elektromagnetische Verträglichkeit)
Die Anforderungen an die elektromagnetische Verträglichkeit ist sowohl aus Komponenten- als auch aus Systemsicht erforderlich. Weiterhin sind Betrachtungen zur Spannungsqualität (z. B. Oberschwingungen, Flicker) für die Entwicklung neuer Netzkomponenten erforderlich.
- Isolationskoordination
Es sind Methoden für die DC-seitige Isolationskoordination der Gesamtanlage sowie der Komponenten in DC-Schaltanlagen und Stromrichterstationen mit festen, flüssigen und gasförmigen Isolationsystemen zu entwerfen. Weiterhin sollen Methoden zur experimentellen Validierung der Isolationskoordination entwickelt werden. Im Ergebnis liefert die Isolationskoordination die im Betrieb der Anlage AC- und DC-seitig auftretenden Spannungsbeanspruchungen, insbesondere für Betriebsfälle, die nicht dem Normalbetrieb entsprechen.

- Betriebliche Beanspruchungen einschließlich Verhalten im Fehlerfall:
Die Kenntnis des Verhaltens der Netzkomponenten im Betrieb, einschließlich der relevanten Fehlerfälle ist elementar wichtig für Netzplanung und Netzbetrieb. Aus diesem Grunde sind Prüfanforderungen insbesondere auch aus Fehlerbetrachtungen abzuleiten, z. B. Kurzschlussströme.

Gleichzeitig muss durch die Prüfanforderungen die Dauer-Beanspruchung der Komponenten abgesichert werden, um für die Anwender die Sicherheit eines langjährigen Betriebs der Gesamtanlage zu ermöglichen.

Entwicklung von Prüfverfahren und Methoden für DC-Netzkomponenten

Auf Basis der Prüfanforderungen an die einzelnen Netzkomponenten sind Prüfverfahren, Prüfmethode und Prüfprozedere abzuleiten, die einerseits aus praktischer Sicht ausführbar sind und gleichzeitig die gewünschte Aussage liefern.

Die Entwicklung der DC-Netzkomponenten zielt auf die Erfüllung der funktionalen Anforderungen unter Berücksichtigung aller betriebsbedingten Beanspruchungen. Hierzu zählen neben der Erfüllung der Prüfanforderungen auch die Berücksichtigung aller im Laufe des Betriebs auftretenden Alterungseffekte. Relevante Netzkomponenten sind z. B.

- DC-Kabeltechnologie (Kabel, Kabelmuffen, Endverschlüsse)
- DC-GIL (z. B. Isoliergas, Fertigungs- und Legetechnologie, Endverschlüsse)
- AC/DC- und DC/DC-Umrichter zur Kopplung von Netzen mit unterschiedlichen Spannungen
- DC-Schaltgeräte
- Drosseln, Isolatoren,

Wartungs- und Diagnosekonzepte für alle Komponenten eines DC-Systems

Für alle wesentlichen Komponenten von DC-Anlagen sind Diagnoseverfahren und -konzepte, z. B. Teilladungsdetektion bei DC-Systemen, zur Bestimmung des Zustandes und der Zuverlässigkeit erforderlich. Hierzu müssen in geeigneter Form Schadens- und

Ausfallsmechanismen für die unterschiedlichen Betriebszustände und Netzkomponenten untersucht und geeignete Diagnoseverfahren zur Detektion von Schäden entwickelt werden. Darauf aufbauend muss eine geeignete Basis zur Bestimmung von Ausfallwahrscheinlichkeiten entwickelt werden. Daraus abgeleitet müssen Wartungskonzepte für die einzelnen Netzkomponenten erarbeitet werden, die eine Basis für ein Zertifizierungskonzept der Gesamtanlage darstellen können. Diese haben wiederum Rückwirkungen auf das Design einzelner Komponenten aber auch den Betrieb und die Gesamtanlage.

■ ERGEBNISSE

Die Kenntnis über das Verhalten im Netz ist elementar für die Integration neuer Netzkomponenten. Somit sind Betrachtungen besonders für dynamische Vorgänge notwendig.

Die Ableitung von Prüfanforderungen für die einzelnen Netzkomponenten sind Voraussetzung für die Entwicklung der Netzkomponenten, die mittelfristig abgeschlossen sein muss. Begleitend zur Komponentenentwicklung muss die Entwicklung von Diagnoseverfahren und Wartungskonzepten mit dem Ziel einer Zertifizierung der Gesamtanlage erfolgen.

■ ART DER FORSCHUNG

Die Art der Forschung reicht von anwendungsnaher Forschung, z. B. im Bereich der Entwicklung von Netzkomponenten bis hin zu Pilot- und Demonstrationsprojekten.

AG 3 – 4. Netzschutz und Netzleittechnik in AC/DC-Netzen

Dieser Themenschwerpunkt beinhaltet die Erstellung von Anforderungen für den Netzschutz bei AC- sowie DC-seitigen Fehlervorkommnissen. Hierbei sollen Konzepte für den Betrieb sowie notwendiger Leittechnik für verschiedene Anwendungsfälle adressiert werden.

■ MOTIVATION

Durch die Fortschritte in der Umrichtertechnik wird das Anwendungsfeld für AC/DC-Netze zunehmend erweitert, so dass auch komplexere Netzstrukturen wie z. B. DC-Multiterminal-Systeme und vermaschte

AC/DC-Netze zukünftig möglich sind. Für den sicheren Betrieb dieser neuen Netzstrukturen ist die Entwicklung von angepassten Schutzkonzepten bei Fehlervorkommnissen sowie eine koordinierte Leittechnik für den jeweiligen Einsatz zwingend erforderlich. Für den AC/DC-Netzschutz müssen fehlerhafte Teilbereiche zuverlässig detektiert, lokalisiert und geklärt werden. Für den sicheren Betrieb von AC/DC-Systemen spielen hierfür insbesondere Schnelligkeit und Selektivität von Schutzsystemen und -konzepten eine dominierende Rolle.

Zusätzlich ist bei der Konzeptionierung der Schutz- und Leittechnik auf eine Koordination von DC- und AC-Netzschutz zu achten, um eine Abstimmung zwischen AC- und DC-Schutz zu erzielen. Perspektivisch sind koordinierte Schutzkonzepte für AC/DC-Netze zu entwickeln. Hieraus leiten sich Anforderungen an die eingesetzten Komponenten (z. B. Umrichter und Schutzgeräte) ab.

■ FORSCHUNGSINHALTE

Die AG hat u. a. die Notwendigkeit der Entwicklung von Schutzkonzepten und neuen Ansätzen für die gesamte Netzleittechnik für vielfältige Anwendungsfälle identifiziert, welche innerhalb von Forschungsaktivitäten adressiert werden sollten. Die Anwendungsfälle für AC/DC-Systeme gelten hierbei unabhängig von der Spannungsebene sowohl im Verteilnetz als auch im Übertragungsnetz. Insbesondere sind Vorkommnisse zu betrachten, die zu einem gestörten Betrieb führen können wie z. B.

- Ausfall eines Poles oder mehrerer Pole
- Kurzschlüsse oder Erdschlüsse im AC/DC-System
- Transiente Ereignisse (z. B. Überspannungen)

In diesem Zusammenhang werden folgende Analysen und Entwicklungen als notwendig erachtet:

- Entwicklung von Schutzkonzepten für AC-Netze mit hohem Anteil an Leistungselektronik (z. B. Umrichter, SVC)
- Entwicklung angepasster Schutzstrategien für AC/DC-Systeme. Hierzu zählen insbesondere folgende Aspekte
 - AC/DC-Schutzkoordination
 - Analyse des Einflusses von DC-Schutzstrategien auf den AC-Schutz

- Analyse des Einflusses von AC-Schutzlösungen auf den DC-Schutz
- Koordination von Schutzstrategie & Umrichter-Regelung
- Analyse des Einflusses von Netzschutz und -leittechnik auf die Systemstabilität
- Analyse von Interoperabilität (technologisch, topologisch) zwischen AC/DC-Systemen und DC-Systemen
- Identifikation und Analyse des Einflusses von Umrichtertechnologien und -topologien auf den jeweiligen Netzschutz
- Identifikation und Analyse des Einflusses von Leitungstechnologien (Kombination Kabel, GIL, Freileitung) auf den jeweiligen Netzschutz

- Konzeptionierung und Entwicklung von Methoden zur Wiederherstellung des Netzbetriebes nach Fehlervorkommnissen
- Entwicklung von Methoden zur Koordination von Netzschutz und -leittechnik
- Konzeptionierung und Entwicklung neuer Architekturen für Netzleitsysteme wie z. B.
 - Neuartige Messverfahren
 - Datenaufbereitung in der Netzleitstelle
 - Notwendige Kommunikations- und Austauschprotokolle sowie -schnittstellen
 - Höhere Entscheidungs- und Optimierungsfunktionen
 - Kommunikationstechnik, -zuverlässigkeit und -bedarf

- Analyse neuer Ansätze für Schutzgeräte und -funktionen

■ ERGEBNISSE

Das Ziel der Forschungsaktivitäten ist die Entwicklung von Schutzkonzepten und -verfahren, die eine Lösung für bisher nicht beantwortete Fragestellungen aktueller Netzausbau-problematiken bieten und somit eine

Entwicklung o. g. AC/DC-Systeme, DC-Systeme und DC-Multiterminal-Systeme sowie DC-Netze beschleunigen. Die neuen Architekturen für Netzleittechnik bieten die optimale Plattform für die Umsetzung der Ergebnisse. Die Ergebnisse lassen sich mittelfristig in die Anwendung überführen.

■ ART DER FORSCHUNG

Alle o.g. Analysen und notwendige Entwicklungen sind der angewandten Forschung zuzuordnen. Zur zeitnahen Validierung und Umsetzung der Ergebnisse sind entsprechende Demoprojekte erforderlich.

AG 3 – 5. Netzplanung und –design

Ableitung von Planungskriterien für hybride AC/DC-Netze und reine DC-Netze sowie eine mögliche Transition von AC zu AC/DC-Netzen. Entwicklung von Methoden zur Bestimmung optimaler Netztopologien und Netzauslegungen für AC/DC-Netze.

■ MOTIVATION

Durch technologische Fortschritte, Kostendegressionen und veränderte Übertragungs- und Verteilungsaufgaben wird DC-Technologie zunehmend in bestehende Netze integriert und könnte zukünftig eine Alternative zu AC-Netzen darstellen. Anwendungen wie Punkt-zu-Punkt-Verbindungen existieren aufgrund ihrer Steuerbarkeit und vorteilhaften Transporteigenschaften bereits in Übertragungsnetzen. Darüber hinaus sind Netze denkbar, die ausschließlich mit Gleichstrom betrieben werden. Neben Multiterminal-Netzen auf der Übertragungsebene kann die DC-Technologie auch in der Verteilnetzebene Anwendung finden.

Hierfür ist zu hinterfragen ob, bei der Planung von AC/DC-Netzen die bisher zugrunde gelegten dimensionierenden Faktoren und Szenarien für die Komponentendimensionierung und Netzstrukturwahl beibehalten werden können. Darüber hinaus sind Methoden und Kriterien für eine sichere, zuverlässige und kostengünstige Auslegung von AC/DC-Netzen erforderlich.

■ FORSCHUNGSINHALTE

Die aufgeführten Forschungsinhalte stehen in enger inhaltlicher Verbindung zu den weiteren Themenblättern der Arbeitsgruppe HGÜ und AC/DC-Integration und sind – falls erforderlich – teilweise kombiniert zu betrachten.

Die nachfolgenden Forschungsinhalte sind für AC-Netze bei Integration einzelner DC-Komponenten, für hybride AC/DC-Netzstrukturen und für reine DC-Netze sowohl in der Übertragungsnetz- als auch in der Verteilnetzebene unter Berücksichtigung der jeweiligen spezifischen Anforderungen an die Systeme zu untersuchen.

Überprüfung und Erweiterung von Planungskriterien und Planungsgrundsätzen

Für die Planung von AC/DC-Netzen ist die Anwendbarkeit bestehender Planungskriterien zu hinterfragen. Es ist zu überprüfen, inwiefern dimensionierende Faktoren und Szenarien für die Komponentendimensionierung und Netzstrukturwahl beibehalten bzw. angepasst werden sollten. Diese Betrachtungen umfassen u. a.:

- Auslegungsrelevante Situationen und Netznutzungsfälle. Beispielhaft sind mögliche Anpassungen des (N-1)-Kriteriums für den Ausfall von DC-Komponenten oder den Ausfall der Kommunikationsinfrastruktur zu untersuchen. Auch könnten neue, durch die Regelbarkeit von Umrichtern ermöglichte Sicherheitskonzepte Berücksichtigung finden. In diesem Zusammenhang sollten auch Auswirkungen der Einsatzstrategien von HGÜ-Verbindungen auf die Netzauslegung betrachtet werden.
- Stationäre Grenzwerte wie Strom- und Spannungsgrenzwerte sowie kurzfristig tolerierbare Überschreitungen von Grenzwerten, welche z. B. durch die Regelbarkeit von Umrichtern beeinflusst werden.
- Stabilitätskriterien, auch unter Berücksichtigung der Wechselwirkungen zwischen Umrichterregelungen und Schutzkonzepten.
- Die Bestimmung und Anwendbarkeit kurzschlussbezogener Kenngrößen, welche durch das Kurzschlussverhalten neuer DC-Komponenten beeinflusst werden. Dies erfordert die Entwicklung von Berechnungsmethoden und die Er-/Überarbeitung von Richtlinien, die durch die neuen Charakteristika der DC-Technologie im Fehlerfall resultieren.
- Erweiterung, Entwicklung von Schutz- und Erdungskonzepten und deren Auslegung, die über eine Koordination von AC- und DC-Schutz bis zu einem gemeinsamen AC/DC-Schutzkonzept reichen.
- Beeinflussung und Wechselwirkungen zwischen AC- und DC-Systemen, z. B. für hybride Leitungen (AC/DC, Teilverkabelung mit DC Kabel oder DC-GIL)

- Die Versorgungszuverlässigkeit des Systems und der Komponenten. Dies umfasst neben Anforderungen an neue DC-Komponenten auch eine Betrachtung der Zuverlässigkeit der für den Betrieb notwendigen Informations- und Kommunikationstechnik.

Zur Bewertung der zuvor genannten Aspekte sind Berechnungsmethoden und Modelle zu erweitern bzw. entwickeln, die die geforderten Kenngrößen für AC/DC-Netze ermitteln können.

Anforderungen an Netzkomponenten und Netzkunden

Durch veränderte Netzstrukturen und Betriebsweisen können sich auch Änderungen in den Anforderungen an Netzkomponenten und Netzkunden ergeben. Diese müssen für Netzkomponenten mit den zuvor aufgeführten Bewertungskriterien in der Planung abgestimmt und ggf. geeignet angepasst werden. Hierbei sind Grenzwerte für Ströme, Spannungen, elektromagnetische Felder etc. zu definieren, aber auch Vorgaben für das Verhalten der Komponenten/Regelungen bei Störungen zu erarbeiten. Für Netznutzer (Erzeugungsanlagen und Verbraucher) sind die geforderten Netzanschlussbedingungen in AC/DC-Netzen, welche auch in der Planung berücksichtigt werden, zu überarbeiten. Es sollten zum einen Grenzwerte für Netzzrückwirkungen definiert, aber auch Vorgaben für das Verhalten der Komponenten am Netzanschlusspunkt im gestörten und ungestörten Betrieb formuliert werden.

Bestimmung sicherer, zuverlässiger und kostengünstiger AC/DC-Netzstrukturen

Für die Planung und Auslegung von AC/DC-Netzen stellt sich die Frage, welche Netzformen (z. B. vermaschte Strukturen, Ring-/Strahlennetze, Punkt-zu-Punkt-Verbindungen) für den jeweiligen Anwendungsfall zu bevorzugen sind und wie die Komponenten dimensioniert werden sollten. Neben einer Planung neuer Netze ist insbesondere die Integration von DC-Komponenten in bestehende AC-Netze sowie eine Transition von AC- zu DC-Technologie zu adressieren. Exemplarische Untersuchungsfälle sind hier u. a.

- die Integration von (Multiterminal-) HGÜs/MGÜs in bestehende AC-Netze,
- die Kopplung von AC-Netzen (z. B. HS- oder MS-Netze) durch DC-Komponenten sowie

- der Bau reiner DC-Netze, z. B. für einzelne Verteilnetze oder in Form eines Multiterminal-Netzes auf Übertragungsnetzebene.

Insbesondere stellen sich hier die Fragen, für welche Anwendungsfälle ein Übergang zu DC-Komponenten sinnvoll ist und wie/ob ein schrittweiser Übergang möglich ist. Für die Bestimmung zuverlässiger und kostengünstiger Netzstrukturen sowie möglicher Transitionswege bieten sich Grundsatz- und Ausbauplanungsverfahren an.

■ ERGEBNISSE

Entsprechend obiger Einteilung werden bestehende Planungsgrundsätze überprüft und für AC/DC-Netze ergänzt, um sicherzustellen, dass die geplanten Netze sicher und zuverlässig betrieben werden können. Für Bewertungskriterien die mit aktuellen Ansätzen nicht bestimmt werden können, werden Modelle und Berechnungsmethoden zur sachgerechten und praxisnahen Bestimmung in der Netzplanung entwickelt.

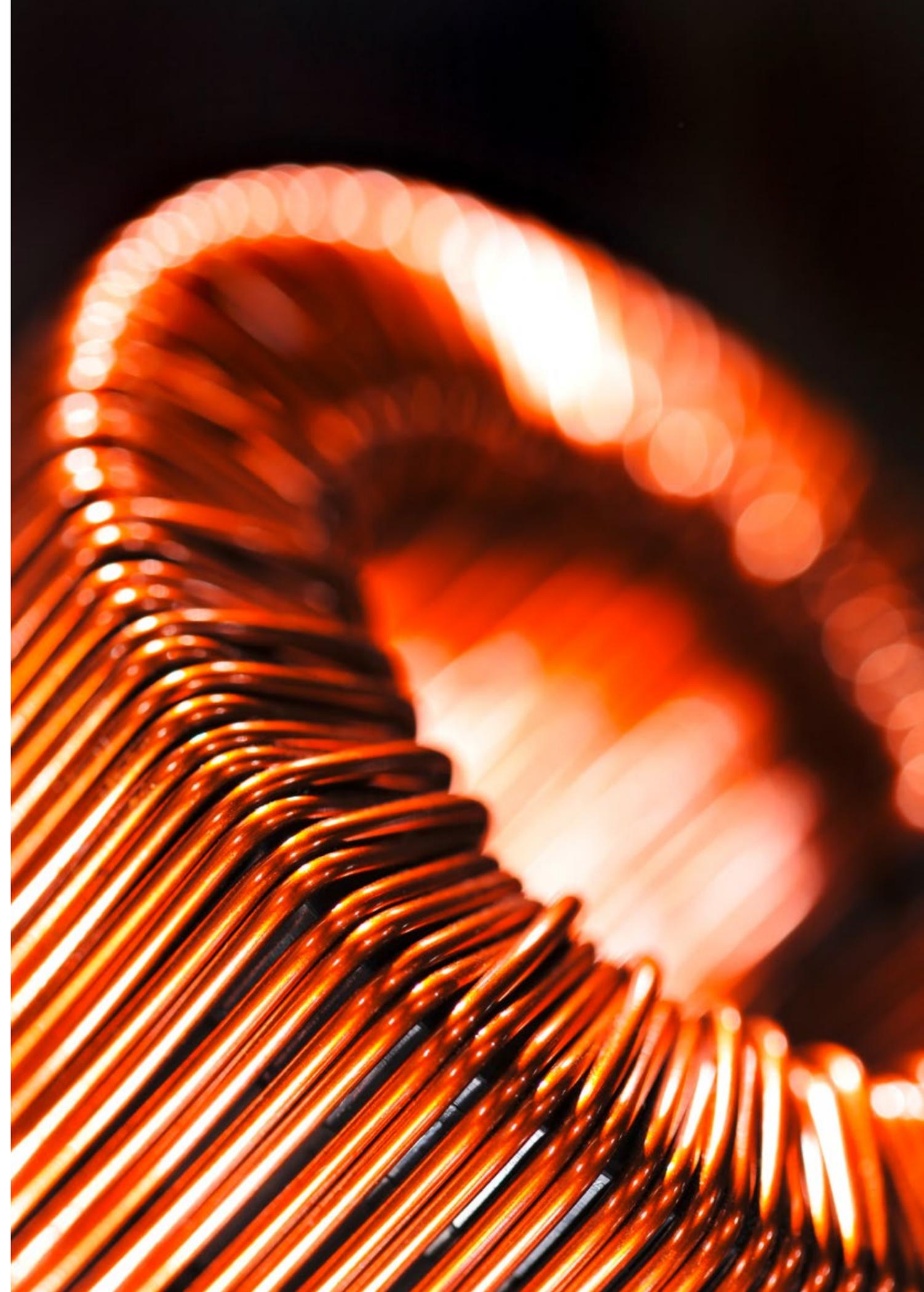
Darüber hinaus werden netzplanerische Anforderungen an Netzkomponenten und Netznutzer abgeleitet, die bspw. in Netzanschlussbedingungen berücksichtigt werden können.

Weiterhin werden Simulations- und Optimierungsmethoden entwickelt, die eine Planung und Dimensionierung von AC/DC-Netzen ermöglichen und Aussagen über Kosten- und Zuverlässigkeit unterschiedlicher Netzkonzepte ermöglichen.

Die Ergebnisse sind mittelfristig in die industrielle Anwendung überführbar.

■ ART DER FORSCHUNG

Die aufgeführten Aspekte bilden die Basis für eine nachhaltige Netzplanung und einen zielgerichteten Netzausbau und sind damit der anwendungsnahen Forschung zuzuordnen. Einzelne Aspekte können durch Pilotanwendungen in der Praxis getestet und validiert werden.



AG 4 FLEXIBILISIERUNG DES ENERGIESYSTEMS

AG 4-1. Demand Side Management

gezielte Steuerung und zeitliche Verlagerung der Stromnachfrage von elektrischen Verbrauchern

■ MOTIVATION

Die Entwicklung der Energiebereitstellung im elektrischen Versorgungssystem von zentralen konventionellen Kraftwerken hin zu dezentralen erneuerbaren Energieerzeugern stellt den Netzbetrieb vor neue Herausforderungen. Einerseits besteht eine räumliche und zeitliche Diskrepanz zwischen dezentraler erneuerbarer Erzeugung und lokalem Energiebedarf, andererseits überlagert sich die Unschärfe bei der Abschätzung der Netzlast zusätzlich mit der Unschärfe bei der Erzeugungsvorhersage. Zur langfristigen Sicherstellung des stabilen Systembetriebs und der Erreichung der Ausbauziele für Erneuerbare Energien sind genügend Flexibilitätstechnologien notwendig, die Energie kurz- und langfristig verschieben bzw. zwischenspeichern können. Demand Side Management Maßnahmen können insbesondere zur Deckung des Kurzzeitspeicherbedarfs herangezogen werden, die durch die zeitliche Verschiebung von Erzeugungs- und Lastspitzen eine Flexibilitätstechnologie darstellen.

■ FORSCHUNGSINHALTE

Eine Einteilung in folgende drei Bereiche zukünftiger Forschungs- und Entwicklungsschwerpunkte ist zweckmäßig.

1. Schnittstellen und Standardisierung

Die Schnittstellen zwischen dem elektrischen Netz und der Verbraucherebene stellen die Voraussetzung für die vollständige Nutzung der vorhandenen Flexibilitäten dar. Vor diesem Hintergrund müssen der Datenaustauschbedarf und die notwendigen Formate für das ganzheitliche System definiert und standardisiert werden, die die Bedingungen und Anforderungen auf Netz- und Verbraucherebene berücksichtigen. Um für die darauf aufbauenden technischen Lösungen positive Kosten- und

Skaleneffekte zu erschließen, sind hierbei auch die Möglichkeiten einer internationalen Harmonisierung und interoperabler, kompatibler Schnittstellen zu untersuchen.

2. Marktprodukte

Zur Nutzung von Demand Side Management als Flexibilitätsoption sind Untersuchungen zur Ermittlung des volkswirtschaftlich und technisch optimalen Marktdesigns für die netz- bzw. energiewirtschaftliche Organisation der Flexibilitäts-/DSM-Erbringung erforderlich, die u. a. unterschiedliche Möglichkeiten wie eine zentrale Steuerung, eine anreizbasierte Regelung aber auch Konzepte wie den Peer-to-Peer Handel analysieren. Hier ist insbesondere die Entwicklung von kurzfristigen Marktprodukten von Bedeutung, mit denen schnelle Leistungsbereitstellungen ermöglicht werden.

3. Technische Betriebsführungssysteme und adaptierte Verbraucher und Systemkomponenten

Im Rahmen der technischen Betriebsführung der DSM Maßnahmen ist zwischen dem Industriesektor und dem privaten Haushaltssektor zu unterscheiden. Auf Industrie-ebene müssen die Entwicklungen zur Energieeffizienz und zur Industrie 4.0 mit der Entwicklung und den Potentialen des Demand Side Managements gekoppelt werden. Aber auch die technologische Adaption industrieller Verbraucher und Prozesse für den dynamischen und intermittierenden Betrieb, Abrechnungssysteme für den Nachweis der erbrachten Flexibilitätsleistungen sowie Sicherheitsaspekte, um die Lösungen einerseits gegen Angriffe zu härten und andererseits eine zuverlässige Stromversorgung im Krisen- und Fehlerfall sicherzustellen sind wichtige FuE-Schwerpunkte in diesem Bereich. Die Entwicklung hin zu PV-Solarstromspeicherkonzepten und eine Zunahme der E-Mobilität führen zu einer stetigen Zunahme des Demand Side Management Potentials im privaten Sektor. Um die Potentiale zu heben, müssen Forschungsschwerpunkte bei der Nutzerakzeptanz, den Anreizsystemen, dem Datenmanagement und der gesamtheitlichen Betriebsführung gesetzt werden. Aus Sicht des Gesamtsystems stellen zelluläre Ansätze, die durch DSM einen lokalen

THEMEN | AG 4:

AG 4-1. Demand Side Management

AG 4-2. Energiespeicher in Stromnetzen zur Flexibilisierung des Energiesystems

AG 4-3. Gesamtsystem

AG 4-4. Rahmenbedingungen für die Flexibilisierung des Energiesystems

AG 4-5. Sektorkopplung

Bilanzausgleich ermöglichen, ebenfalls eine Möglichkeit dar, das System stabil zu betreiben und sollten innerhalb der Forschung thematisiert werden.

4. Evaluation in Feldtests

Die entwickelten Ansätze zu den Schnittstellen, DSM in der Industrie, DSM im privaten Sektor müssen innerhalb von Feldtests evaluiert werden, die die unterschiedlichen Anwendungsfälle und Branchen berücksichtigen.

■ ERGEBNISSE

- Definition und Standardisierung von Schnittstellen zwischen Netz- und Verbraucherebene, die eine Umsetzung von DSM ermöglicht und planbar macht,
- Marktdesignvorschläge für die netz- bzw. energiewirtschaftliche Organisation der DSM-Erbringung
- Kopplung von DSM-Maßnahmen mit Industrie 4.0 und Energieeffizienzmaßnahmen führt zur gesamtheitlichen Systemoptimierung, die auch den Anforderungen aus dem elektrischen Netz entspricht,
- Koordinationsverfahren und Steuerungsalgorithmen zur Nutzung der vorhandenen und stetig zunehmenden Flexibilitätspotentiale im privaten Sektor

■ ART DER FORSCHUNG

1. – Vorlaufforschung, angewandte Forschung
2. – Angewandte Forschung
3. – Angewandte Forschung, Pilot- bzw. Demoprojekt

AG 4-2. Energiespeicher in Stromnetzen zur Flexibilisierung des Energiesystems

Ziel des Einsatzes von Energiespeichern ist die Flexibilisierung der Energieversorgung und ein ressourceneffizienter, kostengünstiger Netzbetrieb. Dazu dient die Erforschung neuer Einsatzgebiete von Speichern und deren Auswirkung auf das Gesamtversorgungssystem.

Erforderlich ist auch die Ertüchtigung der Speichersysteme hierfür, insbesondere die Arbeiten zur Kostenreduktion der Speichertechnologien bezüglich ihrer Materialien, Herstellungsprozesse und Systemtechnik.

■ MOTIVATION

Durch den Einsatz von Energiespeichern ist eine zeitliche Entkopplung von Energieangebot und Energiebedarf möglich. Der aktuelle technische Reifegrad ermöglicht bereits den Einsatz, wobei die Entwicklung von Geschäftsmodellen oft noch durch zu hohe Gesamtkosten, ungünstige regulatorische Rahmenbedingungen und unklare Anforderungen gehemmt wird. Auch Fragen zur wirtschaftlichen Betriebsführung von Speichern sind noch zu klären.

Neben Li-Ionen-Batterien sollten auch andere und neue Technologien (Redox-Flow, Post-Lithium, Wasserstoff, Druckluft- und Pumpspeicherkraftwerke), die in Zukunft einen signifikanten Anteil bei stationären Speichern für die Energieverschiebung im Bereich von mehreren Stunden bis Tagen haben können, betrachtet werden. Auch der Einsatz als zentrale Speichersysteme für die jahreszeitliche Langzeitspeicherung ist zu berücksichtigen.

Durch Forschung zur Verbesserung von Kostenstrukturen, der Analyse neuer Einsatzmöglichkeiten durch optimierte Systemkonzepte, Prüfung und Empfehlungen für Rahmenbedingungen für die Netzintegration, Ideenbildung und Erforschung von neuartigen sektorkoppelnden Hybridkonzepten sowie Aufzeigen von Optimierungsparametern soll die Verbreitung von Speichern begleitet und ihr potentieller Nutzen beschleunigt erschlossen werden.

■ FORSCHUNGSINHALTE

1. Maßnahmen zur Optimierung von Kostenstrukturen
 - Kostenreduzierende Fertigungsverfahren von Systemen
 - Funktionsintegrierte Speicherkonzepte zur Gewichts- bzw. Volumenoptimierung

- Intelligente Produktionskonzepte für Batterien und Batteriespeicher (Industrie 4.0)
 - Konzepte zur Verbesserung der Reaktionsfähigkeit der Produktion auf verschiedene Kundenanforderungen, „Production on Demand“
 - Harmonisierung und Standardisierung
 - Internationalisierung der Produkte mittels vereinheitlichter Beschreibung von externen und internen Schnittstellen (sowohl IKT- als auch elektr. Leistungsschnittstellen)
 - Vereinheitlichung von Teilkomponenten (insb. Test- und Prüfverfahren sowie Sicherheitsanforderungen)
 - Technische Optimierung und Verbesserung der Effizienz von Speichersystemen
 - Anwendungen für den Einsatz von Second-Life-Batterien, auch unter Berücksichtigung von stofflicher und komponentenbasierter Wiederverwendung
 - Optimierung der Betriebsführung von Speichern zur Maximierung des mit Speichern zu erwirtschaftenden Gewinns über deren Lebensdauer
 - Optimierung der Speichersystemtechnik zur Lebensdauererhöhung und zur Wiederverwendbarkeit im Second-Life-Bereich
 - Effizienzsteigerung und Weiterentwicklung großtechnischer Demonstrationsanlagen von Elektrolyseuren, Power-to-Hydrogen
2. Netzdienliche Integration von Flexibilitäten
- Erforschung von Verfahren zur Steigerung der Systemresilienz durch Energiespeicher: Teilnetze und Einzelsysteme im Krisen- oder Fehlerfall sicher weiterbetreiben (Regelungstechnik, Betriebsführung, Auslegung, regulatorische Rahmenbedingungen, usw.)
 - Entwicklung von verlässlichen und langfristig gültigen Anforderungen des 100%-EE-Netzes an die Energiespeicher
 - Informationstechnische Anbindung der Speicher an Smart Grids, Schwarmintelligenzmodelle, Human-Machine Interfaces
- Speichersysteme für Netzdienstleistungen sowie die Integration von Zusatzfunktionen
 - Mehrfachnutzungskonzepte und die dazu gehörenden Auslegungsregeln
 - Forschung zum Energiemarktdesign
 - Einfluss des energiewirtschaftlichen und regulatorischen Rahmens auf den betriebs- und volkswirtschaftlichen Nutzen von Speichern sowie Regeln für den fairen Marktzugang
 - Entwicklung der Energiemärkte in Bezug auf dezentrale Speicherlösungen u. a. zur Ertüchtigung von beliebigen Netzknoten zur Schnellladung von Elektrofahrzeugen
 - Regelwerke zur Einbindung von Energiespeichern der Elektromobilität in die Stromnetze
 - Nutzung von Elektrofahrzeugen als Kurzzeitspeicher (Strategien und Systemintegration)
 - Hybride Energiespeicherkonzepte und prozessintegrierte Speicher in der Industrie
 - Technische Anforderungen an Speicher durch neuartige Nutzungsmodelle in Quartieren
3. Zuverlässigkeit und Sicherheit von Energiespeichern
- Verbesserte Bestimmung des SOC unter hochdynamischen Lastverhältnissen
 - Verbesserte Bestimmung des SOH:
 - zur Erhöhung der Betriebszuverlässigkeit und Bestimmung des Speichermarktwerts
 - zum Verständnis von Alterungsprozessen und der daraus folgenden Ableitung von Methoden zur Lebensdauervorhersage und Qualifizierung
 - Methoden zum Gewinn von Sicherheit, beispielsweise durch Strukturbauteile oder innovative Qualifizierungsmethoden für Batteriespeicher
 - Verfahren und Regularien zur Sicherheits-, Funktions- und Leistungsbewertung während und nach der Herstellung

- Neuartige Systemtopologien zur Lebensdauererhöhung unter steigenden systembezogenen Energiedichten in Hochenergiespeichern (z. B. innovative Kühlkonzepte)
4. Grundlagenforschung und angewandte Forschung
- Nachhaltige Alternativsysteme zu Lithium
 - Entwicklung neuartiger Redox-Flow-Speicher mit hohem Wirkungsgrad, hoher Energiedichte, hoher Langzeitstabilität und geringen Kosten (sowohl Redoxchemie als auch Stack)
 - Systemintegration von Batteriezellen der nächsten Generation (post-Li-Technologien)
 - Weiterentwicklung von Materialien zur Wasserstoffspeicherung (LOHCs, Metallhydride)
 - Ertüchtigung vorhandener Kavernenspeicher für die Wasserstoffspeicherung und Erhöhung des möglichen Anteils von Wasserstoff in vorhandenen Gasnetzen

■ ERGEBNISSE

Als Ergebnis der Forschungsaktivitäten werden kostenoptimierte und sichere Speichertechnologien verfügbar, die ihren Einsatz u. a. auch in neuartigen Systemzusammenstellungen finden.

Weiterhin erfolgt durch neues Wissen und Systemlösungen die Beseitigung technischer, regulatorischer und ökonomischer Hindernisse für die optimierte Speicher-Systemintegration.

Neue Technologien werden durch Systemforschung zur Marktreife befördert werden.

Der Zeithorizont beträgt dabei etwa 5 Jahre.

■ ART DER FORSCHUNG

1. – Grundlagenforschung und Vorlaufforschung und Demonstratoren
2. – Grundlagenforschung und Vorlaufforschung.
3. – Grundlagenforschung, Vorlaufforschung und angewandte Forschung
4. – Grundlagenforschung und angewandte Forschung

AG 4 – 3. Gesamtsystem

Ganzheitliche Bewertung und Optimierung des Einsatzes von Flexibilitäten im Stromnetz

■ MOTIVATION

Konventionelle Kraftwerke werden im Rahmen der Energiewende zunehmend durch Erneuerbare Energieanlagen (EE-Anlagen) ersetzt. Nichtsdestotrotz soll auch in Zukunft unter diesen veränderten Rahmenbedingungen der Preis für Strom bezahlbar bleiben. Dieses Ziel kann nur durch eine Flexibilisierung des Stromsystems erreicht werden. Der wesentliche Grund hierfür ist die oftmals nur bedingt prognostizierbare bzw. steuerbare Einspeisung fluktuierender EE-Anlagen, welche Netzprobleme hervorrufen kann. Ein Werkzeug zur effizienten Behebung dieser Probleme stellen eine Vielzahl unterschiedlicher Flexibilisierungsoptionen dar, wie z. B. ansteuerbare Lasten oder Speicher.

Der Bedarf an Flexibilisierung hängt maßgeblich von dem jeweils untersuchten Betrachtungsgebiet ab (z. B. Spannungsebene, Versorgungsgebiet eines Netzbetreibers oder das gesamte ENTSOE-Gebiet) und muss somit immer in Abhängigkeit hiervon erfolgen. Der Einsatz von Flexibilitäten im Stromnetz, wie z. B. der Einsatz elektrischer Batterien, wirkt sich jedoch in der Regel nicht nur lokal innerhalb eines Gebietes, sondern auch auf andere Netzgebiete und ggf. sogar andere Sektoren, wie den Wärme-, Kraftstoff- und Gassektor, aus. Beispielsweise entlastet die Zwischenspeicherung von Photovoltaikstrom zur Mittagszeit in Verteilnetzen auch überlagerte Stromnetze. Somit ist es für eine kostenoptimale Umsetzung der Energiewende in Deutschland (und darüber hinaus) erforderlich, den Einsatz von Flexibilitäten stets ganzheitlich zu bewerten und zu optimieren.

Dies ist in der Praxis allerdings oftmals nicht ohne weiteres möglich. Grund hierfür ist, dass sich an der Energiewende heutzutage eine hohe Anzahl von Akteuren beteiligen. Allein das deutsche Stromnetz wird von mehr als 800 verschiedenen Netzbetreibern bewirtschaftet. Und da die hieraus resultierende Vielzahl von Interessen ggf. im Spannungsfeld mit den volkswirtschaftlichen Herausforderungen der Energiewende stehen können, ist es notwendig eine geeignete Methodik und Datengrundlage für eine ganzheitliche Optimierung zu schaffen.

■ FORSCHUNGSINHALTE

Eine volkswirtschaftliche Optimierung des Einsatzes verschiedener Flexibilitätsoptionen bedarf der Analyse großflächiger Regionen wie z. B. das gesamtdeutsche Stromnetz. Dies erfordert in der Regel Untersuchungen auf Simulationsbasis. Für die Untersuchungen sind Datensätze notwendig, auf Basis derer die relevanten Regionen in einem ausreichend hohen Detaillierungsgrad abgebildet werden können. Schlussendlich können Feldversuche zur Validierung der gewonnenen Erkenntnisse beitragen.

Ziel der Untersuchungen ist es Handlungsempfehlungen abzuleiten, um das bestehende Energieversorgungssystem in Deutschland einem aus volkswirtschaftlicher Sicht kostenoptimale System anzunähern.

Eine Einteilung in folgende vier Bereiche zukünftiger Forschungs- und Entwicklungsschwerpunkte ist zweckmäßig:

1. Erzeugung von Datensätzen

Wichtig bei der Erzeugung der Datensätze zur ganzheitlichen Bewertung von Flexibilität ist, dass alle Regionen, welche durch den Einsatz der Flexibilität beeinflusst werden, hinreichend genau modelliert werden können, um so die Analysen in Punkt 2 „Ganzheitliche Bewertung von Flexibilität“ zu ermöglichen. Generell sind bei den Analysen reale Netz-, Erzeugungs- und Verbrauchsdaten vorzuziehen. Es besteht jedoch auch die Möglichkeit zur Generierung (möglichst realitätsnaher) synthetischer Datensätze, sollten reale Daten nicht vorliegen. Es werden nicht nur Datensätzen für die Elektrizitätssektor sondern auch für den Wärme- und ggf. Kraftstoff- und Gassektor benötigt.

2. Ganzheitliche Bewertung von Flexibilität

Die Datensätze aus dem ersten Punkt „Erzeugung von Datensätzen“ können im zweiten Schritt genutzt werden, um den Einsatz von Flexibilität aus technischer sowie aus wirtschaftlicher Sicht ganzheitlich zu bewerten. Dies bedarf der Entwicklung von Simulationsmodellen, welche in der Lage sein müssen netzebenen- und sektorenübergreifende Analysen zu ermöglichen sowie entstehende Kosten aus Sicht verschiedener Akteure abzubilden. Die Analysen sollen dazu beitragen den Flexibilitätsbedarf zu ermitteln und einen optimalen Mix an Flexibilität im Stromnetz und Wärmenetz bzw. die Anforderungen an deren Schnittstelle zu identifizieren, welcher zu einem kostenoptimalen Energieversorgungssystem in Deutschland auf Basis Erneuerbarer Energien führt.

3. Überprüfung der Flexibilität anhand von Feldversuchen

Zur Validierung der Erkenntnisse aus Punkt 2 „Ganzheitliche Bewertung von Flexibilität“ bedarf es an Feldversuchen. Diese sollten realitätsnah und wenn möglich unter Partizipation von Industriepartnern durchgeführt werden. Ziel der Feldversuche ist es die Auswirkung des Einsatzes von Flexibilität in einem Netzgebiet auf andere Netzgebiete bzw. Sektoren zu erfassen und zu bewerten. Beispielsweise kann die vermehrte Blindleistungseinspeisung von Photovoltaikanlagen in Niederspannungsnetzen zukünftig einen relevanten Einfluss auf Ströme und Spannungen in Netzen höherer Spannungsebenen haben.

4. Optimierung des Gesamtsystems

In einem abschließenden Schritt gilt es dann, Strategien und Methoden für eine volkswirtschaftliche und technische Optimierung des Gesamtsystems zu erarbeiten, zu evaluieren und exemplarisch anzuwenden. Neben der Berücksichtigung unterschiedlichster Technologielösungen und der Anforderungen des stabilen Netzbetriebs (inkl. Sicherheitsstrategien, Resilienz Aspekte usw.) beinhaltet die Optimierung auch ein wissenschaftlich fundiertes optimales Energiemarktdesign (inkl. Systemdienstleistungsmarkt, Netzentgeltgestaltung, Steuern usw.), um die richtigen Anreize für die technische Umsetzung zu setzen. Neben dem deutschen Verbundnetz sollten auch internationale Netze betrachtet werden, um die Methodik daran zu prüfen, um durch internationale Harmonisierung positive Kosteneffekte auch für Deutschland zu erschließen und als Beitrag für deutsche Exporttechnik (sowohl Gerätetechnik wie auch Engineeringdienstleistungen).

■ ERGEBNISSE

1. Datensätze (Netze, Erzeugung und Verbrauch) zur ganzheitlichen Bewertung des Einsatzes von Flexibilität im Stromnetz. (Zeithorizont 2022)
2. Optimaler Mix an Flexibilität im Strom- und Wärmenetz, sowie Ableitung von Anforderungen an die zur Flexibilisierung eingesetzten Technologien. (Zeithorizont 2025)
3. Validierung der Erkenntnisse durch Feldversuche. (Zeithorizont 2025)
4. Optimierungsmethoden für die technische Gestaltung des Flexibilitätsesinsatzes im Netz sowie ein entsprechendes technisch und

volkswirtschaftlich optimierendes Energiemarktdesign (Zeithorizont 2025)

■ ART DER FORSCHUNG

1. – Vorlaufforschung
2. – Angewandte Forschung, Pilot- bzw. Demoprojekt

AG 4 – 4. Rahmenbedingungen für die Flexibilisierung des Energiesystems

Politische, regulatorische, finanzielle, technische und gesellschaftliche Rahmenbedingungen für die Flexibilisierung des (multimodalen) Energiesystems

■ MOTIVATION

Der Wandel des elektrischen Energieversorgungssystems von zentralen konventionellen Kraftwerken zu dezentralen erneuerbaren Energieerzeugern stellt Netze und Märkte vor neue Herausforderungen. Einerseits besteht eine räumliche und zeitliche Diskrepanz zwischen dezentraler erneuerbarer Erzeugung und lokalem Energiebedarf, andererseits überlagert sich die Unschärfe bei der Abschätzung der Netzlast zusätzlich mit der Unschärfe bei der Erzeugungsvorhersage. Eine gezielte Flexibilisierung des (multimodalen) Energiesystems unter Berücksichtigung von Synergien und Kopplung verschiedener Sektoren und Akteure stellt einen vielversprechenden Ansatz zur langfristigen Sicherstellung des stabilen Systembetriebes dar. Hierfür ist es jedoch zwingend notwendig, ergänzend zu den technischen Voraussetzungen (u. a. bzgl. Sektorenkopplung, Energiespeichern, etc.), geeignete Rahmenbedingungen zu schaffen, die eine (langfristige) Flexibilisierung des Energiesystems ermöglichen.

■ FORSCHUNGSINHALTE

Die Flexibilisierung des Energiesystems kann etwa durch eine zeitliche Verschiebung des Energiebedarfes auf der Kundenseite erreicht werden (Demand Side Management). Durch den Einsatz von Speichertechnologien kann darüber hinaus der physikalische Energieaustausch von der Kundenseite aufgrund der lokalen Erzeugung bzw. des lokalen Bedarfs mit dem Energienetz zeitlich entkoppelt werden. Zusätzlich kann eine netzorientierte Betriebsweise Potentiale bieten, durch eine lokal aufeinander abgestimmte Erzeugung und Verbrauch, die Netzbelastung zu reduzieren. Darüber hinaus stellt die Kopplung verschiedener Energienetze und Sektoren (u. a. Elektrizität,

Gas, Wärme, Verkehr) eine weitere mögliche Option dar, mit der technische und wirtschaftliche Synergien (z. B. Speicherkosten, gekoppelte Erzeugung) genutzt werden können. Hierbei sollten derzeit etablierte Konzepte, etwa hinsichtlich der Ausgestaltung von Netzstrukturen der unterschiedlichen Energienetze und Rollenverteilungen, auf ihre Zukunftsfähigkeit geprüft werden.

Insbesondere in den folgenden Bereichen ist dabei eine Analyse bestehender und eine Ausgestaltung zukünftiger Rahmenbedingungen unerlässlich:

1. Marktstrukturen und finanzielle Anreize

Um das Angebot und die Nutzung von Flexibilisierungsoptionen zu ermöglichen, bedarf es der Entwicklung eines "level playing fields", das gleiche Voraussetzungen für alle Flexibilisierungsoptionen bietet (u. a. Steuern/Umlagekonzepte, Multi-Vendor Möglichkeiten, technische Standardisierung seitens der Energie und IT Infrastrukturen). Dazu gilt es die heutige Gestalt der Energiemärkte auf ihre Eignung zu analysieren und ggf. zu erweitern, um geeignete Vermarktungsmöglichkeiten zu schaffen (z. B. lokale Märkte). Hierbei sollten alle beteiligten Sektoren, mit derzeit z.T. diametral unterschiedlichen Marktdesigns, gemeinschaftlich betrachtet und hinsichtlich eines Zusammenspiels, bis hin zur Etablierung neuer, ggf. multimodaler Märkte und Abrechnungskonzepte und -systeme, weiterentwickelt werden. Diese müssen durch die entsprechenden Nutzergruppen weiterhin handhabbar und technisch und wirtschaftlich zumutbar sein. Gleichzeitig sollten die Implikationen eines Markt-Redesigns auf die technischen Systeme stets mitberücksichtigt werden. Dies betrifft insbesondere die Frage in wie weit heute etablierte Finanzierungs- und Abgabenmodelle für den Unterhalt und Betrieb zukünftig noch notwendiger Infrastruktur (z. B. Netze) gestaltet werden können (z. B. Netzentgelte). Um die Schaffung neuer Flexibilisierungsoptionen zu ermöglichen, ist zu prüfen, welche Hürden abgebaut und welche Entwicklungen durch geeignete Anreize unterstützt werden müssen. Dabei ist stets darauf zu achten, dass eine mittel- bis langfristige Perspektive bezüglich der Finanzierung von Flexibilisierungsoptionen notwendig ist, um Investitionen in diese zu ermöglichen. Gleichzeitig stellt sich die Frage welche unterschiedlichen zeitlichen Planungshorizonte hierbei gleichzeitige Berücksichtigung finden müssen.

2. Rollenverteilung & Regulatorik

Die heutigen regulatorischen Vorgaben müssen im Zuge der Ausgestaltung möglicher Flexibilisierungsoptionen

geprüft und ggf. angepasst werden. Durch die Kopplung verschiedener Sektoren gilt es, hierbei die historisch parallel entstandenen Strukturen sowohl hinsichtlich regulatorischer Vorgaben aber auch der Rollen einzelner Akteure zu berücksichtigen. Gleichzeitig gilt es, Konzepte zum Anreiz und der Gewährleistung einer Investitionssicherheit bezüglich der Etablierung von Flexibilisierungsoptionen zu entwickeln. Darüber hinaus bietet die Regulierung die Möglichkeit gegen kurzfristig entstehende und ggf. kontraproduktive "Incentives", die z. B. Investitionshemmnisse bedingen, wie etwa ein Rückbau von Netzinfrastrukturen (z. B. Gas vs. Power to Heat), gegenzusteuern. Um die (langfristige) Zusammenarbeit der verschiedenen Akteure (z. B. Marktteilnehmer, Netzbetreiber, Regulierer) zu ermöglichen, bedarf es der Entwicklung geeigneter Rahmenbedingungen unter gleichzeitiger Prüfung und Weiterentwicklung bestehender Konzepte und Rollenverständnisse (z. B. Netzbetreiber vs. Markt).

3. Gesellschaftliche & politische Rahmenbedingungen

Um Flexibilisierungsoptionen unter Einbezug der Kunden zu ermöglichen, ist es notwendig, geeignete Rahmenbedingungen im gesellschaftlichen und politischen Umfeld zu schaffen, um z. B. langfristige Planungssicherheiten bei Investitionen zu ermöglichen. Es bedarf darüber hinaus der (Weiter-)Entwicklung von Methoden zur frühzeitigen Berücksichtigung von Akzeptanzfragestellungen (Technologieakzeptanz, Sankt-Florians-Prinzip) und der zielführenden Information durch Flexibilisierungsoptionen tangierter Gruppen. Gleichzeitig gilt es, nichttechnische Einflüsse und gesellschafts-politische Strömungen und Wünsche (z. B. Wunsch nach Autarkie) in den technischen und konzeptionellen Ausgestaltungen zu berücksichtigen.

■ ERGEBNISSE

- Wirksame Anreize für die weitere Schaffung von Flexibilisierungsoptionen
- Zukünftige Marktstrukturen für die multimodale Nutzung von Flexibilisierungsoptionen inklusive Preisbildungsmechanismen
- Geeignete Abrechnungskonzepte und -systeme für multimodale Energienetze unter Berücksichtigung von Flexibilisierungsoptionen
- Finanzierungsoptionen für den Unterhalt und Betrieb von Netzstrukturen und Assets im multimodalen flexiblen Energiesystem

- Regulatorischer Rahmen für gekoppelte Sektoren vor dem Hintergrund der Flexibilisierung

- Methoden zur Berücksichtigung nichttechnischer Randbedingungen und Einflussfaktoren

■ ART DER FORSCHUNG

1. – Angewandte Forschung, Pilot- bzw. Demoprojekt
2. – Angewandte Forschung, Pilot- bzw. Demoprojekt
3. – Angewandte Forschung

AG 4 – 5. Sektorkopplung

Synergetische Verknüpfung des Stromnetzes mit anderen Energieinfrastrukturen und -medien durch koordinierten Energieaustausch

■ MOTIVATION

Die entschlossene Verfolgung der Ausbau- und Integrationsziele für Erneuerbare Energien in Deutschland und weltweit birgt neue Herausforderungen für die Stabilität und Zuverlässigkeit des elektrischen Energieversorgungssystems. Zukünftig werden durch die charakteristische Einspeisevolatilität regenerativer Erzeuger einerseits, sowie durch die Integration neuer Technologien, Rollen und Funktionen im Energieversorgungssystem andererseits Ausgleichsmechanismen notwendig sein, die bei einer exklusiven Betrachtung des Stromnetzes nicht wirtschaftlich-optimal bereitgestellt werden können. Zudem sind die politischen Zielvorgaben zur Reduktion der Treibhausgasemissionen in Deutschland um 80 bis 95 % bis zum Jahr 2050 nur erreichbar, wenn nicht nur der Stromsektor, sondern auch der Wärme- und Transportsektor stark dekarbonisiert werden.

Die Anwendung von Energiewandlungstechnologien zur planungs- und betriebstechnischen Verknüpfung des Stromnetzes mit anderen Energieinfrastrukturen und -medien verspricht diesbezüglich ein hohes Flexibilitäts- und CO₂-Einsparpotential. Durch die uni- bzw. bidirektionale Wandlung von Elektroenergie und die dadurch mögliche gesamtheitliche Optimierung der Energieversorgung können Synergieeffekte erschlossen und mit dem Ziel eines technisch-wirtschaftlichen Optimums nutzbar gemacht werden. Weiterhin kann dadurch der bislang geringe Anteil der Erneuerbaren Energien im Wärme- und Kraftstoffsektor erhöht werden.

■ FORSCHUNGSINHALTE

Eine Einteilung in folgende vier Bereiche zukünftiger Forschungs- und Entwicklungsschwerpunkte ist zweckmäßig:

1. Technische und ökonomische Optimierung/Entwicklung von Wandlungstechnologien

Wandlungstechnologien als Schnittstellen zwischen den Infrastrukturen und Energiespeichern jedweder Trägerform sind Schlüsselkomponenten für eine zukünftige Anwendung sektorkopplender Mechanismen. Daraus resultieren vor allem Entwicklungstätigkeiten zur Erhöhung von Wirkungsgrad, Leistungsdichte und Lebensdauer sowie zur Kostenreduktion bestehender Technologien. Neben Untersuchungen zur Verwendung günstigerer Materialien sind großskalige bzw. serientaugliche Produktions- und Herstellungsverfahren für Power-to-Gas/Liquids/Chemicals-Anlagen zukünftig von besonderem Interesse. Weiterer FuE-Bedarf besteht hinsichtlich der Ertüchtigung dieser Technologien für das fluktuierende Leistungsangebot bei der Reststromnutzung aus EE in Form verbesserter Teillastwirkungsgrade. Doch auch dezentrale Kleinsysteme sollen im Forschungsfokus stehen.

2. Gesamt-infrastrukturelle Modellierungs- und Planungsmethoden

Durch eine Berücksichtigung sowohl bestehender als auch geplanter Infrastrukturen für die Sektoren Wärme, Gas, Chemie und Mobilität bei der Strukturplanung von Stromnetzen können Energiewandlungs- und Speichermechanismen bereits frühzeitig als Flexibilitätspotentiale identifiziert und berücksichtigt werden. Wirtschaftlich nicht-optimale Ausbaupfade werden dadurch vermieden. Fokus der noch notwendigen FuE-Arbeiten ist deshalb vor allem die Erforschung von einheitlichen Modellierungswerkzeugen und -verfahren für die hinreichend genaue Abbildung der Komponenten, ihrer Funktionen und Wechselwirkungen (u. a. Dynamik und Schnittstellen) als notwendige Voraussetzung für die ebenfalls noch zu schaffenden neuen Planungs- und Optimierungsverfahren.

3. Synergetische sektorübergreifende Betriebsführung unter technischen und wirtschaftlichen Zielstellungen

Die operative Nutzbarmachung von Synergieeffekten erfolgt durch die Integration sektorübergreifender Energieflüsse im Rahmen der Systemführung. Hierbei können bestehende und geplante Versorgungsinfrastrukturen (z. B. Wärme, Gas, Wasserstoff, Kraftstoffe), der Mobilitätssektor und auch ein aktives Management

des Verbrauchs unterschiedlicher Energieformen (z. B. im Rahmen von Industrie 4.0) dazu beitragen, die Netzstabilität und die Integration volatiler Erneuerbarer Energie weiterhin zu gewährleisten bzw. zukünftig zu erhöhen. Ziel soll eine wirtschaftlich optimale Auslastung und ein netzdienlicher Einsatz verfügbarer Ressourcen durch ein ganzheitliches Energiemanagement sein. Dazu sind einerseits geeignete Optimierungsverfahren notwendig, die eine optimale Betriebsführung über alle Sektoren garantieren und dadurch sowohl örtliche und topologische als auch zeitliche Flexibilität beschreibbar und bewertbar machen. Andererseits bedarf es zusätzlich Pilot- und Demonstrationsprojekte zur Verifizierung und Validierung theoretischer Untersuchungen im praktischen Maßstab.

4. Rahmenbedingungen, Anforderungen und Machbarkeitsuntersuchungen

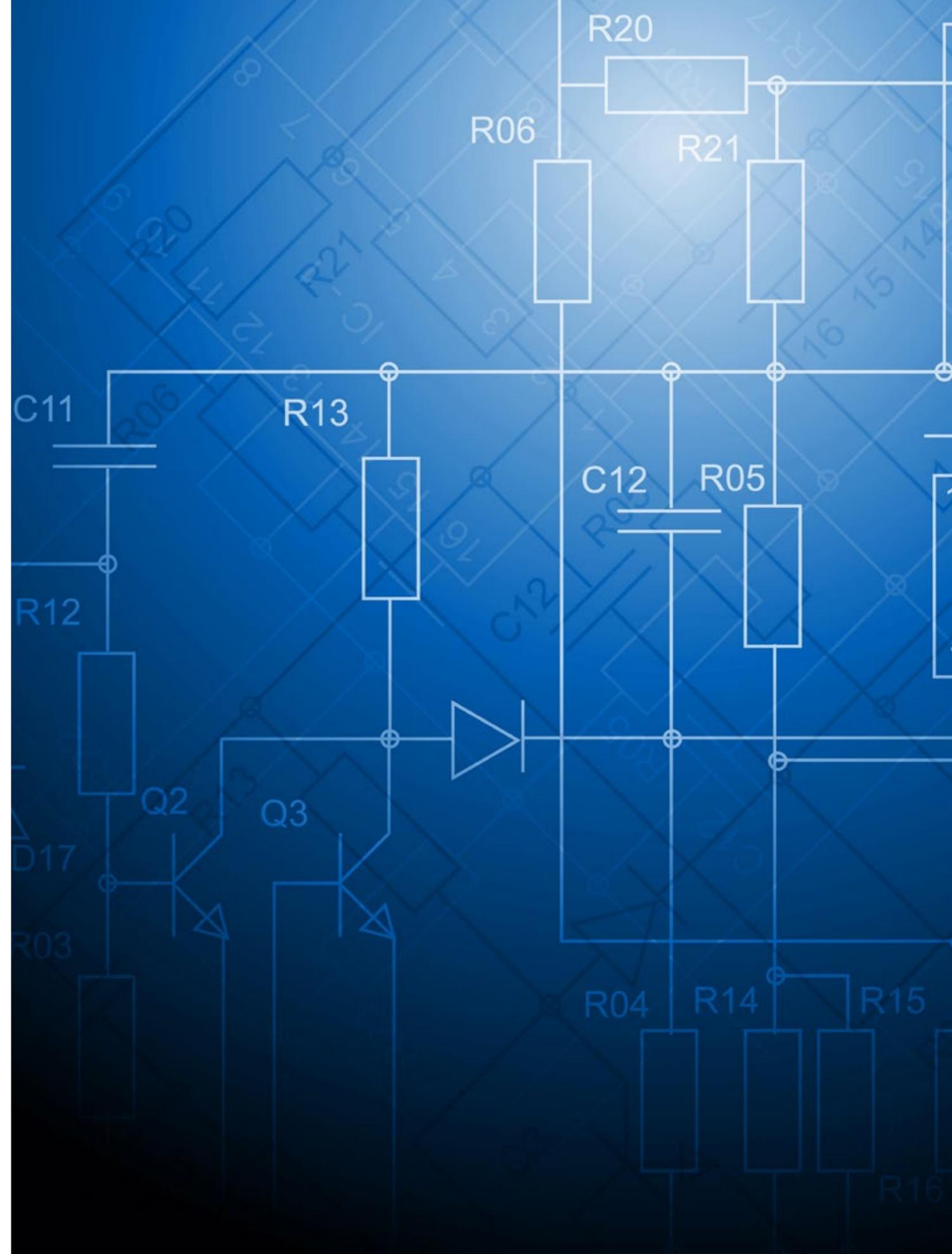
Um den „Wert“ der Flexibilität durch Sektorkopplung insgesamt abschätzen zu können sind ganzheitliche und themenübergreifende Betrachtungen notwendig, die sich u. a. mit den ökonomischen/ökologischen Rahmenbedingungen, technischen/wirtschaftlichen Leitfäden, Akzeptanzfragen und der theoretischen sowie praktischen Machbarkeit eines sektorübergreifenden Energiesystems befassen. Die Schaffung einer gemeinsamen Datengrundlage für das deutsche bzw. europäische Versorgungsnetz kann diesbezüglich zur Abschätzung von Entwicklungspfaden beitragen.

■ ERGEBNISSE

1. Entwicklung und Weiterentwicklung effizienter Wandlungstechnologien (Zeithorizont 2025)
2. Methoden und Verfahren für großskalige bzw. serientaugliche Produktions- und Herstellungsverfahren (Zeithorizont 2025)
3. Modellierungswerkzeuge zur Integration alternativer Infrastrukturen (Zeithorizont 2020 bis 2022)
4. Planungsmethoden für eine optimale Auslegung der gesamtheitlichen Versorgungsinfrastruktur unter Berücksichtigung alternativer Energieträger (engl. Multi Energy System, MES) (Zeithorizont 2022)
5. Betriebsführungskonzepte für ein sektorübergreifendes Energiesystem mit dem Ziel einer synergetischen Optimierung (Zeithorizont 2025)
6. Demonstratoren und Pilotanlagen von MES (Zeithorizont 2025)

■ ART DER FORSCHUNG

1. – Vorlaufforschung, angewandte Forschung, Pilot- bzw. Demoprojekt
2. – Angewandte Forschung
3. – Angewandte Forschung, Pilot- bzw. Demoprojekt
4. – Angewandte Forschung



AG 5 DIGITALISIERUNG UND IKT

AG 5 – 1. Automatisierung und Energiemanagement

Mit Automatisierung und Energiemanagement sind hier IKT-basierte Technologien gemeint, die Anlagen der Energieversorgung steuern oder regeln, ohne dass menschliche Eingriffe erforderlich sind.

■ MOTIVATION

Der Einsatz dezentraler Energieerzeugungsanlagen und die konsequente Umsetzung der Sektorenkopplung zwischen Strom aus regenerativen Quellen und den Sektoren Mobilität und Wärme erhöht die Anzahl der aktiv auf Netzzustände reagierenden Komponenten im Netz um viele Größenordnungen. Gleichzeitig sinkt durch den breiten Einsatz von Wechselrichtern und Umrichtern in Verbrauchs- und Erzeugungsanlagen die dem Netz zur Verfügung stehende Momentanreserve durch rotierende Massen, die zukünftig durch technische Maßnahmen erbracht werden muss. Eine manuelle Erfassung, Überwachung und Regelung aller relevanten, größeren und kleinen netzaktiven Stromnetzteilnehmer ist mit den herkömmlichen Methoden der Netzleitung und des Netzbetriebs nicht mehr möglich. z. B. in der marktgetriebenen grünen BDEW Ampelphase bedarf es automatisierter Verfahren und Methoden, um den Energiehandel mit vielen Teilnehmern umzusetzen (virtuelle Kraftwerke, virtuelle Großverbraucher). In Ampelphasen instabiler Netzzustände müssen alle Komponenten zur Stabilisierung des Netzes beitragen, ohne das Gesamtsystem zum Schwingen zu bringen (Frequenzstabilität, Spannungsqualität, Phasenwinkel).

Die Ziele der Energieeffizienz durch Integration stehen teilweise in Konkurrenz zur Entflechtung und Regulierung der Energiewelt in der bisherigen Ausgestaltung. Regulierungslücken und gesetzlicher Änderungsbedarf

für Konzepte mit hohem Einfluss auf den Erfolg der Energiewende müssen in den Projekten mit diskutiert und betrachtet werden. Insbesondere durch die Gleichzeitigkeitsfaktoren von Anwendungen der Elektromobilität und der Gebäudewärme, aber auch durch regenerative Solarerzeugung, kommt es zukünftig in den Verteilnetzen zunehmend zu Leistungsempfässen. Durch intelligente Abstimmung der Großverbraucher oder Erzeuger in den Verteilnetzebenen kann die Energieversorgung sicher gestellt werden, ohne gegen bestehende Netzstandards zu verstoßen bei gleichzeitiger Optimierung des Netzausbaubedarfs¹. Hierbei muss insbesondere in den öffentlichen Netzen der diskriminierungsfreie Netzzugang aller unabhängig von der Entfernung zum Netzanschluss berücksichtigt werden².

■ FORSCHUNGSINHALTE

Selbstlernende und selbstoptimierende Algorithmen zur automatischen Einbindung von Stromnetzteilnehmern in Energie- und Lastmanagementsystemen werden untersucht und entwickelt („Plug&Play“-Fähigkeit von Netzkomponenten und Netzteilnehmern), u. a. auf Basis von Multiagentensystemen. Beginnend bei lokalen Energiemanagern (CEM³) wird die durchgängige informationelle Vernetzung von Systemen von der Geräteebene bis zur Netzleitebene erforscht und Methoden zur effizienten Kommunikation und Regelung entwickelt.

Basierend auf den Netzzustandsdaten werden Verfahren zur Automatisierung von Netzteilnehmern (z. B. Demand Side Management), Betriebsführungsstrategien (Produktionsmanagement energieintensiver Herstellungsprozesse) und Betriebsmitteln entwickelt. Zum automatisierten Lastmanagement in Verteilnetzen und Liegenschaften werden diskriminierungsfreie Methoden zur Lastzuweisung entwickelt. Auch Methoden zur automatischen Früherkennung von Netzausbaubedarf werden konzipiert.

¹ volkswirtschaftlich tragfähige Umsetzung der Energiewende; durch Management werden Lastengpässe überwunden bei gleichzeitiger Energiebedarfssicherstellung durch Flexibilisierung von z. B. Elektrofahrzeugladepunkten und Gebäudewärmebereitstellung mit Pufferspeicher.

² Netzneutralität

³ CEM: Engl. „Customer Energy Management“ – Energiemanagement hinter dem Netzanschlusspunkt unter der Hoheit des Liegenschaftsverwalters

THEMEN | AG 5

AG 5 – 1. Automatisierung und Energiemanagement

AG 5 – 2. Datenanalyse

AG 5 – 3. Dienstplattformen und Geschäftsmodelle

AG 5 – 4. IKT-Sicherheit und Resilienz IKT-basierter Systeme

■ ERGEBNISSE

Das Ziel der Forschungsaktivitäten ist die Entwicklung, Erforschung und Analyse von Verfahren, Methoden und Algorithmen zur Automatisierung sowie zum Energie- und Leistungsmanagement entlang aller Netzebenen unter Einbeziehung der Sektorenkopplung Wärme/Mobilität, der Letztverbraucher, dezentraler Energieerzeugung (zeitabhängige Verfügbarkeit von Energieträgern) und den Netzbetriebsmitteln (Realisierbarkeit der aktuellen Marktaktivitäten). Im kurzfristigen Zeithorizont (Verwertungshorizont 3–10 Jahre) liegt der Entwicklungsschwerpunkt auf der Digitalisierung der Verteilnetzebene. Mittel- und Langfristig wird die Kaskadierung von Energie- und Lastmanagementsystemen über alle Netzebenen notwendig (Verwertungshorizont 10–20 Jahre). Sowohl horizontaler Datenaustausch (besonders in den niederen Spannungsebenen) als auch die vertikale Integration der Leit- und Automatisierungstechnik über alle Spannungsebenen hinweg wird betrachtet.

■ ART DER FORSCHUNG

Vorlauftforschung (Grundlagenforschung)

- Systemanalyse und Technikfolgenabschätzung – Einfluss von Automatisierung und Energiemanagement auf das elektrische Energieversorgungssystem (Märkte, Dienstleister, Stromnetze)
- Netzdienliche Sektorenkopplung, Modellierung dezentraler Systeme und zentrale / dezentrale Steuerung der Lasten

Angewandte Forschung

- Durchgängige Vernetzung VNB-Geräteebene/ Industrie (Automatisierung) bis in die Stromnetze hinein; Interoperabilität zwischen Systemen und „Automatisierungswelten“; Integrations- und Umsetzungspfade (manuell – teilautomatisiert – vollautomatisiert);
- Methoden und Verfahren zur Datenerfassung, Datenverarbeitung sowie Steuerung und Regelung von dezentralen Erzeugern und Verbrauchern

- Anbindung an das Netz, die Märkte und die Systemdienstleister (Building und Home Automation, Quartiersmanagement, Energiemanagementsystem)
- Kommunikation für Realtime Analytics des Verbraucherzustands

Pilot- bzw. Demoprojekt

- Energie- und Lastmanagement in selbstorganisierten Plug&Play-fähigen Stromnetzen im öffentlichen und privaten Sektor mit hohen Anteilen dezentraler Energieerzeugung und Sektorenkopplung zur Umsetzung der oben entwickelten Methoden
- Resiliente digitalisierte Ortsnetze

AG 5 – 2. Datenanalyse

In Energiesystem fallen immer mehr Daten an, in vielen heterogenen Formaten, verschiedenen Zeitintervallen. Außerdem werden externe Daten verwendet, um Funktionen im Energiesystem zu bedienen. Alle Verfahren, um diese Daten zu analysieren, um daraus Informationen oder Wissen für weitere Prozesse zu generieren, fallen unter das Thema Datenanalyse.

■ MOTIVATION

Zur Erreichung der Klimaschutzziele 2050 der Bundesregierung ist ein weiterer Ausbau von regenerativen Energieerzeugungsanlagen unumgänglich. Gegenwärtig liegt die Hauptherausforderung in der vollständigen Integration (ohne Abregelungen) der erneuerbaren Energien. Es scheint, eine flexiblere und fast automatisierte Netzführung auf der Verteilnetzebene erforderlich zu sein. Die hierfür notwendigen Informationen werden bislang nicht auf allen Spannungsebenen erfasst und es existieren für die zukünftig zu erfassenden Daten zum Teil noch keine erweiterten Echtzeit-Analysewerkzeuge, sodass die Erkenntnisse/ das Wissen über den aktuellen Systemzustand bzw. die Betriebsmittelauslastung, besonders im Verteilnetz nicht genutzt werden können. Die Erkenntnisse bzw. das gewonnene Wissen sollen für eine optimierte, vorausschauende und sektorenübergreifende

Systemführung der Energieversorgung eingesetzt werden.

Für den Energiesektor müssen neue Methoden, Verfahren und Algorithmen entwickelt bzw. angepasst werden, die eine Verarbeitung und Analyse der Informationen in Echtzeit ermöglichen. Konzepte zur dezentralen Datenhaltung und die daraus folgende Zugänglichkeit der Informationen müssen ebenso berücksichtigt werden wie die sichere Datenkommunikation bei der Zusammenführung von Analysedaten. Zudem sind die existierenden Standards und Normen des Energiesektors einerseits sowie der IT andererseits miteinander abzugleichen, um Inkompatibilitäten oder Blindstellen aufzudecken und Schnittstellen-/Harmonisierungskonzepte zu erstellen. Etwaige Widersprüche oder Lücken in der Standardisierungslandschaft sind dann in den bewährten Normungs- und Standardisierungsprozess einzuspielen.

■ FORSCHUNGSINHALTE

Interoperable Datenmodelle und Schnittstellenprotokolle

- Ziel: Sektoren- und Geschäftsprozessübergreifender Informationsaustausch
- Themenbeispiele:
 - Kopplung/Harmonisierung der Datenmodelle
 - Methoden und Verfahren zur Evaluierung von Semantikunterschieden unterschiedlicher Datenmodelle bzw. Protokolle (Informationsgüte und Portierbarkeit von Informationen mit mehreren Datenmodellen)
 - Datenmodelle für eine automatisierte Integration von Asset Management-Informationen

Datenhaltungs- und Datenqualitätsmanagementkonzepte

- Ziel: Automatisiertes und durchgängiges Datenqualitätsmanagement sowie die Gewährleistung der Informationsverfügbarkeit für alle Akteure
- Themenbeispiele:
 - Methoden/Konzepte und IT-Werkzeuge für ein durchgängiges Datenqualitätsmanagement
 - Data Ownership, Konzepte zur Erteilung „temporärer“ Datennutzungsrechte, Verrechnungsmodelle für Erteilung von Datennutzungsrechten

- Verteilte Datenhaltungskonzepte (z. B. Blockchain) mit Sicherstellung der Resilienz und der sicheren Übertragung
- Regulatorische Rahmenbedingungen/ Datenschutzkonzepte

Echtzeitanalyse und -datenverarbeitung

- Ziel: Ermittlung und Bewertung von Systemzuständen des Energiesystems sowie einzelner Betriebsmittel. Vorhersage von System- bzw. Betriebsmittelzuständen für eine optimierte Systemführung sowie zur Überbrückung von Kommunikationsstörungen/ fehlerhaften Informationen aus dem Feld
- Themenbeispiele:
 - Entwicklung von neuen Kennzahlen/-größen für ein sektorenübergreifendes Energiesystem – Data Mining, Maschinelles Lernen
 - Kontinuierliche Echtzeit-Analyse von Datenströmen mit und ohne Zeitsynchronität der Informationen
 - Dynamische Simulationsmodelle zur Vorhersage von Systemzuständen (Digitaler Zwilling) und zur Überbrückung von Kommunikationsstörungen bzw. fehlerhaften Informationen
 - Auf künstlicher Intelligenz basierte Verfahren und Methoden zur Netzführung und Netz-zustandserkennung

Vorausschauende Instandhaltung

- Ziel: Frühzeitige Erkennung von vorzeitiger Alterung/ Verschleiß von Betriebsmitteln sowie zum Vorbeugen von vorzeitigen Betriebsmittelausfällen und einer besseren/verlässlicheren Planbarkeit der Instandhaltung
- Themenbeispiele:
 - Methoden/Verfahren und Algorithmen zur vorausschauenden Instandhaltung von unterschiedlichen Betriebsmittelarten (Maschinelles Lernen)
 - Methoden/Verfahren und Algorithmen zur Identifikation von Abhängigkeiten zwischen unterschiedlichen Messgrößen, um bereits verfügbare Informationen für eine vorausschauende

Instandhaltung einzusetzen (Soft-Sensorik, künstliche neuronale Netze/ Deep Learning)

■ ERGEBNISSE

Das Ziel der Forschungsaktivitäten ist die Entwicklung, Erforschung und Analyse von Verfahren, Methoden und Algorithmen

	Bezeichnung	Zeithorizont
1	Interoperable Daten- und Schnittstellenmodelle	bis 5 Jahre
2	Methoden, Konzepte und IT-Werkzeuge für ein Datenqualitätsmanagementsystem	5–7 Jahre
3	Methoden, Konzepte und IT-Werkzeuge für eine sektorenübergreifende Echtzeitdatenanalyse	5–7 Jahre
4	Kennzahlensysteme für die Primär- und Sekundärtechnik für ein vorausschauendes Instandhaltungsmanagement	5–7 Jahre
5	Input für die Standardisierung und Normierung	fortlaufender Prozess
6	Neue Geschäftsmodelle – Data Services	3–5 Jahre

■ ART DER FORSCHUNG

- Grundlagenforschung: nach bisherigen Stand der Forschung sind keine Forschungsinhalte erkennbar
- Angewandte Forschung
- Pilot- bzw. Demonstratorprojekte

AG 5 – 3. Dienstplattformen und Geschäftsmodelle

Die Zusammenführung von vernetzten Systemen zur Generierung höherwertiger Dienste, die neuen Geschäftsmodellen zu Grunde liegen, benötigen Dienstplattformen, insbesondere auch, um Unternehmen eine schnelle Umsetzung neuer digital basierter Geschäftsmodelle zu erlauben, ohne die komplette Infrastruktur selber aufbauen zu müssen. Die Energieversorgung hat dabei spezielle Anforderungen.

■ MOTIVATION

Der Einsatz dezentraler Energieerzeugungsanlagen und eine konsequente Umsetzung der Sektorkopplung zwischen Strom-, Wärme- und Gasnetzen sowie E-Mobilität bei gleichzeitigem „Unbundling“ der Geschäftsfelder erhöht die Anzahl der an technischen und wirtschaftlichen Prozessabläufen beteiligten Geschäftspartnern, Rollen sowie die Anzahl der von diesen durchzuführenden technischen Operationen und geschäftlichen Transaktionen drastisch. Durch die Volatilität erneuerbarer Energieerzeugung steigen gleichzeitig die Anforderungen an die zeitliche Auflösung der durchzuführenden technischen Operationen und Geschäftsprozesse z. B. für die Abrechnung zwischen beteiligten Partnern und Kunden. Eine Grundvoraussetzung für den zukünftigen operationalen und geschäftlichen Betrieb ist dabei die lückenlose Erfassung und Dokumentation sowohl der technischen Operationen als auch der zugehörigen Geschäftsabläufe. Hierbei müssen zunehmend technische Operationen und geschäftliche Transaktionen in Realzeit abgewickelt, miteinander vernetzt und über verschiedene Geschäftspartner hinweg darstellbar und operationalisierbar sein. Die fortschreitende Instrumentierung der Geschäftsfelder über internettechnologiegestützte Dienstplattformen, die miteinander interagieren, ist zwar eine gute Basis für die weitere Digitalisierung im Energiesektor und im Bereich intelligenter Stromnetze, reicht aber bei Weitem nicht aus.

Neue Geschäftsmodelle benötigen offene Plattformen, u. a. auch zur einfachen Integration von Microservices.

Derzeit werden serviceorientierte Ansätze eher punktuell aber nicht über den gesamte Geschäftsprozess über alle Geschäftspartner hinweg integrativ betrachtet. Im Zuge der Effizienzsteigerung technisch-wirtschaftlicher Prozesse im Rahmen der „Digitalisierung“ ist aber eine zunehmende Vernetzung und Automatisierung sowohl der technischen Operationen als auch der Geschäftsprozesse über die beteiligten Geschäftspartner hinweg insbesondere im Bereich gekoppelter Sektoren in intelligenten Energiesystemen zwingend erforderlich, um auf Dauer im internationalen Geschäft wettbewerbsfähig zu sein.

■ FORSCHUNGSINHALTE

Im Rahmen der Forschung zur Digitalisierung des technischen und geschäftlichen Betriebs von Energiesysteminfrastrukturen mit besonderem Fokus auf die Stromnetze sollen Konzepte, Methoden und technische Frameworks für Dienstplattformen entwickelt werden,

mit denen sowohl die für den technischen Betrieb notwendigen Operationen als auch die zugehörigen geschäftlichen Transaktionen miteinander integriert und über die verschiedenen Geschäftspartner hinweg automatisiert und lückenlos dokumentiert werden können. Dabei soll die gesamte Bandbreite der Operationen und Prozessschritte von der Registrierung von Kunden und Partnern zur Nutzung von Diensten, über die Plug & Play Installation von hierfür notwendigen intelligenten Feldgeräten und Anlagen bis hin zur automatisierten Registrierung der Geräte und der darauf folgenden diskriminierungsfreien Nutzung bzw. Bereitstellung von Energie- und Flexibilitätsprodukten abgedeckt werden. Für die Dokumentation und Abrechnung ist dabei die Bereitstellung und Nutzung von Energie- und Flexibilitätsprodukten feingranular und lückenlos inklusive der dazugehörigen technischen Operationen auf den jeweiligen Geräten und im Zusammenspiel der verschiedenen Dienstleister zu erfassen. Hierbei müssen auch Fehlersituationen und das gesamte Spektrum von komplexen Cyberangriffen im Sinne eines resilienten Systems automatisiert behandelt und behoben werden können.

Im Sinne der Datensparsamkeit sowie des Gebots der Privatheit persönlicher Daten muss wissenschaftlich dabei geklärt werden, welche Daten für den operationalen und geschäftsmäßigen Betrieb erforderlich sind, von welchen Geschäftspartnern wie lange benötigt werden und wo gespeichert werden müssen und wie der Dateneigentümer die Kontrolle über die Verwendung behält. Dabei ist der gesamte Daten-Life-Cycle von der Erzeugung bis zur Löschung digital automatisierbar zu gestalten.

Durch die Analyse der erfassten operationalen Daten und Geschäftsabläufe können existierende Prozesse sowohl auf technischer als auch auf Geschäftsprozessebene optimiert sowie zur weiteren Optimierung notwendige Erweiterungen der Dienstleistungsinfrastrukturen identifiziert werden. Die Analyse dieser Daten bietet auch Potential zur Beratung von Kunden zur Optimierung ihres Portfolios. Für solche Anwendungen müssen neue intelligente Verfahren zur Analyse sehr großer Datenmengen (Stichwort „Big Data“) auf Basis neuer Ansätze aus dem Bereich der künstlichen Intelligenz z. B. unter Nutzung von „Deep Learning“-Ansätzen erforscht und für die Anwendung im Bereich von smarten Energiesystemdienstleistungen erschlossen werden.

Des Weiteren ist zusätzliche Forschung zur Ergänzung der bereits existierenden Dienste notwendig, um die durchgängige Digitalisierung insbesondere im Bereich der Quervernetzung verschiedener Energiesektoren

voranzutreiben. Dazu müssen neue verteilte Dienstleistungsarchitekturen, deren integrative Schnittstellen sowie zu ergänzende Dienstleistungsfunktionalitäten betrachtet werden.

■ ERGEBNISSE

Das Ziel der Forschungsaktivitäten ist die Entwicklung von Konzepten, Methodik und grundlegenden IT-Frameworks, mit denen sowohl die für den resilienten technischen Betrieb notwendigen Operationen als auch die zugehörigen geschäftlichen Transaktionen über die verschiedenen Geschäftspartner im Energiedienstleistungsbereich hinweg sektorübergreifend lückenlos automatisiert und dokumentiert werden können. Die Ergebnisse können dann in Kombination mit bereits existierenden und neuen Dienstleistungsplattformen eingesetzt werden, um operationale Betriebs- und Geschäftsprozesse im Sinne einer vollständigen Digitalisierung möglichst effizient, interoperabel und durchgängig digital zu gestalten.

■ ART DER FORSCHUNG

Vorlauftforschung (Grundlagenforschung)

- Entwicklung von Konzepten und Methoden zur verteilten Speicherung operationaler Daten und zugehöriger Geschäftsmodell Daten sowie zur Instrumentierung dieser Daten in Dienstleistungsübergreifenden vernetzten Betriebs- und Geschäftsprozessen für Energiesystembezogene Dienstleistungsformen (z. B. „Blockchain“ basiert)
- Wissenschaftliche Ausarbeitung von Konzepten zur Sicherstellung von Datensparsamkeit, Privatheit und Sicherheit der Daten in solchen verteilten Speicherinfrastrukturen
- Konzeption und Entwicklung lernfähiger Verfahren zur Vorhersage kritischer Entwicklungen im System und zur Vermeidung von Fehlern

Angewandte Forschung

- Prototypische Umsetzung der entwickelten Methodik in Frameworks, die sich flexibel in bestehende und neue zu implementierende Dienstleistungsinfrastrukturen einbinden lassen
- Konzeption von Architekturen, Methoden und Verfahren zur Integration der Frameworks in bestehende oder neue Dienstleistungsinfrastrukturen

Pilot- bzw. Demoprojekt

- Implementierung und Evaluation der Konzepte an ein oder mehreren Dienstleisterübergreifenden Fallbeispielen

AG 5–4. IKT-Sicherheit und Resilienz IKT-basierter Systeme

Unter IKT-Sicherheit/Cybersecurity werden hier Maßnahmen verstanden, die die wesentlichen Schutzziele (u. a. Vertraulichkeit, Verfügbarkeit und Integrität) der IKT-basierten Systeme sicherstellen. Schwerpunkt liegt dabei auf Maßnahmen, die verhindern, dass sich negative Auswirkungen auf das Energiesystem ergeben.

Unter Cyberresilienz wird die Fähigkeit des digitalisierten Energiesystems verstanden, IKT-unterstützt nach auftretenden größeren Fehlern (etwa nach erfolgreichen Hackerangriffen) zügig wieder in den Normalzustand zurückzufinden.

■ MOTIVATION

In den letzten Jahren haben sich die Anforderungen an den Betrieb von Stromnetzen u. a. durch die zunehmende Einspeisung von Strom aus regenerativen Energieträgern verändert. Dies führt zu einer wachsenden Systemkomplexität der Stromnetze und -märkte, die in zunehmendem Maße auf den Einsatz von zuverlässigen IKT-basierter Systeme angewiesen ist. Dies geht von eingebetteten Systemen im Feld (z. B. in Umrichtern, Schutz) über Stationsautomatisierung und Netzleitsystemen bis zur Businessbene und die Kommunikation zwischen den Systemen.

Durch den Einsatz von IKT-basierten Systemen können neue Risiken für die kritische Infrastruktur (KRITIS) der Energieversorgung entstehen. Um einen sicheren Betrieb zu gewährleisten, sind Maßnahmen zu realisieren, die die Vertraulichkeit, Integrität und Verfügbarkeit von Informationen und Informationstechnik schützen. Die speziellen Anforderungen der Domäne Energieversorgung (u. a. Echtzeit, Kritikalität, verteiltes System) erfordert sowohl Adaption bekannter Verfahren für die Security von IKT-basierten Systemen als auch neue Ansätze für die Erreichung zuverlässiger und robuster Systeme. Zur Umsetzung der Cybersecurity von Operation Technologies, verteilten- und „Internet of Things“ (IoT)-Systemen sind noch viele Fragen ungeklärt. Auch ist in der Energieversorgungsdomäne noch kaum untersucht, welchen Beitrag die Digitalisierung zur Zuverlässigkeit in

einem dezentral dominierten System erbringen kann. Diese Fragen sind voraussichtlich nicht nur für das Stromnetz, sondern auch für eine Sektorkopplung relevant. Die iMSys sind jeweils in der Forschung angemessen zu berücksichtigen.

■ FORSCHUNGSINHALTE

Cybersecurity

Schwerpunkt des FuE-Bedarfes liegt dabei auf der Vermeidung oder Abschwächung von IKT-Sicherheitsrisiken durch Maßnahmen zum Schutz der Verfügbarkeit, Integrität und Vertraulichkeit der Energieversorgung. Zu untersuchen sind Fragestellungen beim Aufbau von IKT-basierten Systemen („Security by Design“ bezogen auf das Energiesystem z. B. durch formale Methoden oder Entwurf aufgrund fundamental sicheren Bausteinen) und zum Betrieb (z. B. Verfügbarkeitsanalysen, Risikoanalysen, Intrusion Detection in IoT-Systemen) sowie zum Datenschutz. Etablierte Security-Verfahren und -Maßnahmen müssen adaptiert werden, da z. B. Feldgeräte spezielle Eigenschaften haben und neue Security-Verfahren und -Maßnahmen entwickelt werden. Falls sich durch die Sektorkopplung spezielle Themen der Cybersecurity ergeben, müssen diese entsprechend untersucht werden. Die Sektorkopplung ist eine neue Herausforderung für die ebenfalls Security-Verfahren und Maßnahmen angepasst bzw. entwickelt werden müssen.

Zuverlässigkeit der Energieversorgung bzw. Cyberresilienz

Ziel sollte es sein, IKT-basierte Systeme so zu integrieren, dass die Zuverlässigkeit der Energieversorgung in Deutschland beibehalten wird. IKT-basierte Systeme sollen sowohl bei kleinen unkritischen Störungen als auch bei großen unerwarteten Störungen („detect-forecast-plan-control-analyze“) unterstützen. Außerdem werden Auslegungsmethoden und Maßnahmen benötigt, die eine stabile Energieversorgung sicherstellen, selbst wenn Teile der IKT-basierten Systeme kompromittiert sind oder ausfallen. Erfahrungen und ausgereifte Technologien aus anderen cyberphysikalischen Systemen können auf Übertragungsmöglichkeit geprüft werden. Neue Ansätze zur Erhöhung der Systemzuverlässigkeit sind zu erforschen wie z. B. Fehlererkennung, Selbstheilungsmechanismen im Fehlerfall oder Notfallmaßnahmen wie dezentral organisierter Schwarzstart unter Verwendung der Möglichkeiten der bzw. Anforderungen an die IKT (Basisverhalten; fail safe/defaultmodus; Selbstorganisation; self-X). Der Mensch als Teil der Prozesse ist ebenfalls Gegenstand zukünftiger Forschung (Human Machine Cooperation).

■ ERGEBNISSE

Das Ziel der Forschungsaktivitäten ist die Entwicklung und Erforschung von Konzepten, Methoden und Verfahren zur Verbesserung von Security, Robustheit und Resilienz von IKT-basierten Systemen in der Domäne der Energieversorgung.

Einige der Ergebnisse werden eher kurzfristig benötigt (Sicherheits-Mechanismen im Feld), andere, z. B. autonome Selbstheilungsmechanismen für Systemdienstleistungen oder Notfallmaßnahmen, sind eher für einen mittelfristigen Zeithorizont (+10 Jahre) wichtig. Diese benötigen auch deutlich größere FuE-Anstrengungen.

Der Kostenaspekt sollte bei allen Fragen berücksichtigt werden.

■ ART DER FORSCHUNG

Vorlaufforschung (Grundlagenforschung)

- grundsätzlicher Zusammenhang zwischen Systemzuverlässigkeit und Security
- Security im Feld (Verfahren, Usability, Automatisierung usw.), Resilienzverfahren (besonders bei unvorhergesehenen, seltenen und/oder unwahrscheinlichen Ereignissen) (detect-forecast-plan-control-analyse)
- Selbstheilungsmechanismen im Fehlerfall

Angewandte Forschung

- Risiken für die Energieverfügbarkeit/Systemstabilität aufgrund eingesetzter IKT-basierter Systeme
- Security by Design/Architektur
- Cybersecurity für Systeme der Energieversorgung(KRITIS)
- Anforderung aus dem Datenschutz an Security
- IoT-Security und OT-Security in der Energieversorgung
- Human-Machine-Cooperation bei Systemproblemen (u. a. Gefahr der Signalüberflutung)
- Anforderungen an Cybersecurity-Konzepte und -Maßnahmen für kritische Infrastrukturen

- Entwicklung von Kriterien für die Bewertung der Wirksamkeit von Cybersecurity-Maßnahmen

Pilot- bzw. Demoprojekt

- Security by Design -> Architektur
- ISMS bei verteilten Systemen und OT
- Methoden und IKT-Überwachungslösung zum Schutz vor Cyber-Angriffen
- Anforderung aus dem Datenschutz an Security
- Sicherheitsmechanismen schutzbedürftiger IKT-basierter Systeme
- Erprobung von Cybersecurity-Konzepten und -Maßnahmen für kritische Infrastrukturen



Bildnachweis

Titelbild: erwo1/iStock/thinkstock, AG 1: Shinyfamily/iStock/thinkstock, AG 2: mmmxx/iStock/thinkstock,
AG 3: demarco-media/iStock/thinkstock, AG 4: saicle/iStock/thinkstock, AG 5: Nordroden/iStock/thinkstock

