

ENTWICKLUNG EINER METHODE ZUR SIMULATION UND QUANTIFIZIERUNG DER RESILIENZ VON SEKTORENGEKOPPELTEN ENERGIESYSTEMEN

Paul-Hendrik HOMBERG^{1*}, Marlon KORALEWICZ², Markus ZDRALLEK²

Hintergrund und Zielstellung

Um die nationalen Klimaziele zu erreichen, ist die Sektorenkopplung ein Schlüsselement für die effiziente Integration erneuerbarer Energien und die Dekarbonisierung der Sektoren Wärme und Mobilität [1]. Durch die stetig wachsende Anzahl erneuerbarer Erzeuger im zunehmend dezentralen Stromsystem sowie durch engere Kopplung mit anderen Sektoren steigt die betriebliche Komplexität des Energiesystems erheblich, was eine Herausforderung für die Versorgungssicherheit darstellt. Gleichzeitig bietet die Sektorenkopplung auch die Chance zu einer maßgeblichen Steigerung der Resilienz, da die Möglichkeit besteht, die unterschiedlichen Zeitkonstanten von Energieübertragung/-transport und Speicherung zu nutzen, um die Flexibilität des gesamten Energiesystems zu erhöhen [2, 3].

Obwohl der Begriff der Resilienz immer häufiger verwendet wird und insbesondere im Zuge der Folgen des Ukraine-Konflikts verstärkt an Bedeutung gewinnt, ist der Begriff nicht einheitlich definiert und es besteht eine Vielzahl von Methoden, die Resilienz zu quantifizieren [4, 5]. Da sich die Mehrheit der verfügbaren Arbeiten hauptsächlich auf nicht-sektorengekoppelte Energiesysteme beschränken, wird im Folgenden eine Methodik vorgestellt, die es ermöglicht, die Resilienz von sektorengekoppelten Energiesystemen über eine Vielzahl von unterschiedlichen Szenarien, Fehlerarten und Zeiträumen zu simulieren und zu bewerten.

Methodik

Zur Quantifizierung der Resilienz in sektorengekoppelten Energiesystemen wird zunächst eine geeignete Simulationsumgebung aufgebaut. Ein zentraler Bestandteil der Simulationsumgebung ist das Netzberechnungsmodul, für welches nach einer Evaluation verschiedener kommerzieller und frei verfügbarer Software zur Netzberechnung die Open-Source-Python-Bibliothek `pandapipes` [6] ausgewählt wurde, da sie folgende Kriterien erfüllt:

- performante Berechnung von gekoppelten Strom-, Gas- und Wärmenetzen
- Schnittstelle zu weiteren Python-Anwendungen mit Zugriff auf Simulationsparameter
- Funktionserweiterung durch Änderung des Quellcodes möglich

Nach Integration des Netzberechnungsmoduls in das Gesamtmodell, welches sich aus Netzberechnungs-, Optimierungs- und Resilienzmodul zusammensetzt, wird das Systemverhalten der Energiesysteme im Normal- und im Fehlerfall simuliert und die Resilienz anhand des Verlaufs der Systemfunktion bewertet. Im Allgemeinen reagieren Systeme auf Fehler wie in Abbildung 1 illustriert. Beim Fehlereintritt bricht die Systemfunktion ein, gefolgt von einer graduellen Erholung bis hin zum Erreichen eines Gleichgewichtszustands nach Ende des Fehlers. Über den Verlauf dieser charakteristischen Resilienzkenlinie lassen sich Absorptions-, Anpassungs- und Erholungsfähigkeit bestimmen, welche den Begriff der Resilienz in dieser Arbeit aufspannen und definieren. Mittels mathematischer Methoden lassen sich Kennzahlen zu den jeweiligen Fähigkeiten quantifizieren und zu einer allgemeinen Resilienzkenzahl zusammenfassen, die das gesamte System über einen skalaren Wert beschreibt.

¹ Bergische Universität Wuppertal, Lehrstuhl für Elektrische Energieversorgungstechnik, Rainer-Gruenter-Straße, 42119 Wuppertal, +49 202 439 1386, homberg@uni-wuppertal.de, <https://www.evt.uni-wuppertal.de>

² Bergische Universität Wuppertal, Lehrstuhl für Elektrische Energieversorgungstechnik

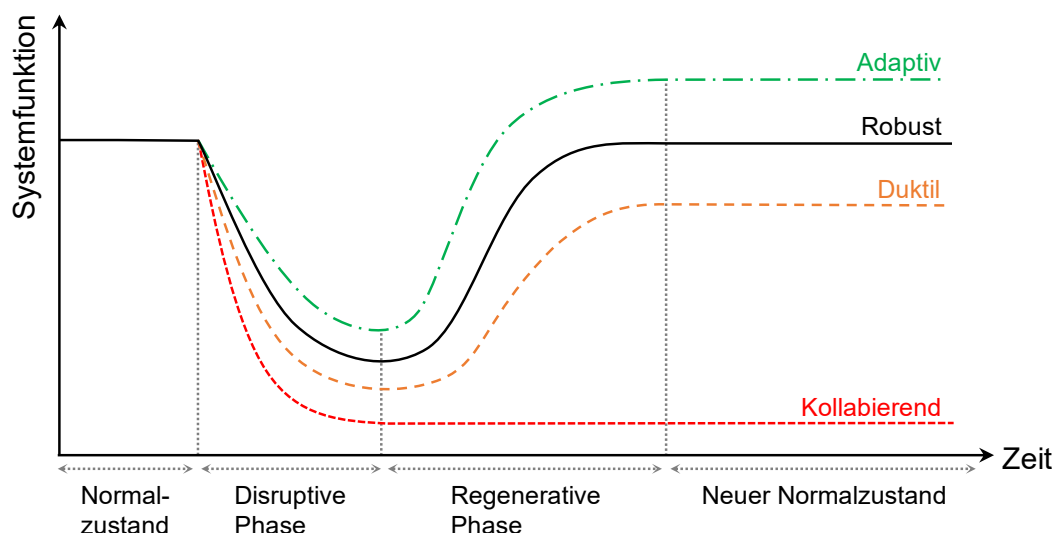


Abbildung 1: Allgemeine Systemantwort auf einen Fehler nach [4]

Ein weiterer entscheidender Aspekt der Modellierung ist die Wahl einer geeigneten Zustandsgröße zur Abbildung der Systemfunktion. Mögliche Zustandsgrößen umfassen beispielsweise die Anzahl der versorgbaren Verbraucher, Betriebsmittelauslastungen sowie Grenzwertverletzungen der jeweiligen Fluss- und Potentialgrößen der Sektoren. In der vorgestellten Methode werden die anfallenden Systemkosten als Zustandsgröße gewählt, um eine Gewichtung der Schwere der Auswirkung in den Sektoren zu ermöglichen.

Ergebnisse

Die ersten Ergebnisse zeigen, dass es möglich ist, sektorenggekoppelte Energiesysteme zu simulieren und ihre Resilienz zu quantifizieren. Dies ermöglicht einen objektiven Vergleich der Schwere der Auswirkungen verschiedener Szenarien auf ein Energiesystem und auch einen Vergleich von Energiesystemen untereinander. Darüber hinaus konnte gezeigt werden, dass die Bewertung der Resilienz anhand der Systemkosten eine sektorenübergreifende Quantifizierung der Resilienz ermöglicht.

Referenzen

- [1] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, "Klimaschutzplan 2050", <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Industrie/klimaschutzplan-2050> (Aufgerufen 18.10.2023)
- [2] acatech, Leopoldina, Akademienunion, "Zentrale und dezentrale Elemente im Energiesystem", 2020, ISBN: 978-3-8047-4060-0
- [3] V. Arabzadeh et al., "Deep decarbonization of urban energy systems through renewable energy and sector-coupling flexibility strategies", *Journal of Environmental Management*, Band 260, 2020, DOI: 10.1016/j.jenvman.2020.110090
- [4] P. Gasser et al., "A review on resilience assessment of energy systems", *Sustainable and Resilient Infrastructure*, Band 6, Nr. 5, S. 273-299, 2021, DOI: 10.1080/23789689.2019.1610600
- [5] S. Hosseini et al., "A review of definitions and measures of system resilience", *Reliability Engineering & System Safety*, Band 145, S. 47-61, 2016, DOI: 10.1016/j.ress.2015.08.006
- [6] D. Lohmeier et al., "Pandapipes: An Open-Source Piping Grid Calculation Package for Multi-Energy Grid Simulations," *Sustainability*, Band 12, Nr. 23, 2020, DOI: 10.3390/su12239899