

MODELLBASIERTE ANALYSE DER AUSLEGUNG UND DES BETRIEBS KOMMUNALER ENERGIEVERSORGUNGSSYSTEME

Thomas BEXTEN¹, Björn ROSCHER², Daniel WEINTRAUB³,
Ralf BACHMANN⁴, Ralf SCHELENZ², Manfred WIRSUM¹

Inhalt

Die Struktur der Energieversorgung in Europa befindet sich aktuell in einem starken Wandel, der vorwiegend durch den stetigen Zuwachs an regenerativen Stromerzeugungskapazitäten geprägt ist. Dies trifft im Besonderen auf die Situation in Deutschland zu, da der politisch beschlossene Ausstieg aus der Nutzung der Kernenergie und der Subventionsmechanismus des Erneuerbare Energien Gesetzes (EEG) den Zubau regenerativer Stromerzeugungskapazitäten hier fördern. Neben den Vorteilen einer klimaneutralen Stromerzeugung aus diesen Kapazitäten ergibt sich durch den resultierenden hohen Anteil an der gesamten Stromerzeugung auch eine Vielzahl an technischen, ökonomischen und gesellschaftlichen Herausforderungen. Als Antwort auf diese Herausforderungen sind derzeit verschiedene Entwicklungstendenzen im Bereich der Energieerzeugung zu registrieren. Zum einen ist eine vermehrte gekoppelte Strom- und Wärmeerzeugung in kleineren dezentralen Einheiten zu beobachten. Dies steht im Gegensatz zum bisherigen Schwerpunkt der Stromerzeugung in großen zentralen Kraftwerkseinheiten. Als potentieller Lösungsansatz für die hohe Volatilität und die geringe Prognostizierbarkeit der regenerativen Stromerzeugung befindet sich derzeit eine Vielzahl von Stromspeichertechnologien in verschiedenen Phasen der Entwicklung. Dies umfasst die Weiterentwicklung von bereits etablierten Technologien wie z.B. Batterie-Speichern und die Entwicklung neuer Speichertechnologien wie z.B. verschiedenen Power-to-Gas Konzepten.

Als Beitrag zur Bewältigung der genannten Herausforderungen und der Fortführung der beschriebenen Entwicklungstendenzen hat die RWTH Aachen das interdisziplinäre Projekt „Kommunale Energieversorgungssysteme der Zukunft“ ins Leben gerufen. Ziel dieses Projektes ist es technische, ökonomische und gesellschaftliche Lösungen für zukünftige dezentral geprägte kommunale Energieversorgungssysteme mit einem hohen Anteil regenerativer Stromerzeugung zu entwickeln. Einer der Schwerpunkte dieses Projekts ist die Entwicklung eines Simulationswerkzeugs zur Analyse der Auslegung und der Betriebsweise dieser Art von Energieversorgungssystemen, die sich vor allem durch eine Integration von volatilen regenerativen Erzeugungskapazitäten und disponiblen Energiewandlungs- und Speichersystemen auszeichnen. Das Simulationswerkzeug ist frei parametrierbar und ermöglicht die Durchführung von Analysen für verschiedene Randbedingungen und Betriebsstrategien. Die Randbedingungen umfassen dabei das zeitabhängige Leistungsprofil der Stromerzeugung aus regenerativen Erzeugungskapazitäten, das zeitabhängige Profil der lokalen Strom- und Wärmelast und die Definition der zu Verfügung stehenden disponiblen Energiewandlungs- und Speicher-Systemen. Die Betriebsstrategie definiert die übergeordnete Zielsetzung, die durch die Koppelung der volatilen regenerativen Erzeugungskapazitäten mit den disponiblen Energiewandlungs- und Speichersystemen erreicht werden soll. Dies kann beispielsweise die vollständige Autarkie des betrachteten Energieversorgungssystems oder eine Verstetigung der Interaktionen mit den übergeordneten Strom- und Wärmeversorgungsnetzen sein. Im Rahmen der Simulationsrechnung werden die resultierende Konfiguration und der zeitlich aufgelöste Einsatz aller Komponenten des Energieversorgungssystems auf Basis der definierten Eingangsparameter mit Hilfe eines stationären Simulationsmodells bestimmt. Der Fokus der Auswertung der resultierenden Ergebnisse liegt auf den disponiblen Energiewandlungs- und Speicherkomponenten.

¹ RWTH Aachen, Institut für Kraftwerkstechnik, Dampf und Gasturbinen, Mathieustraße 9, 52072 Aachen, Tel.: +49 241 80 2540, Fax: +49 241 80 22307, office@ikdg.rwth-aachen.de, www.ikdg.rwth-aachen.de

² RWTH Aachen, Chair for Wind Power Drives, Campus-Boulevard 61, 52074 Aachen, Tel.: +49 241 80 908 85, Fax: +49 241 80 928 85, info@cwd.rwth-aachen.de, www.cwd.rwth-aachen.de

³ RWTH Aachen, Institut für Strahlantriebe und Turboarbeitsmaschinen, Templergraben 55, 52062 Aachen, Tel.: +49 241 80 9540 00, Fax: +49 241 80 922 29, office@ist.rwth-aachen.de, www.ist.rwth-aachen.de

⁴ RWTH Aachen, Institute for Power Generation and Storage Systems E.ON Research Center, Mathieustraße 10, 52072 Aachen, Tel.: +49 241 80 49940, Fax: +49 241 80 49949, post_pgs@eonerc.rwth-aachen.de, www.pgs.eonerc.rwth-aachen.de

Das Simulationswerkzeug ermöglicht die Analyse der Leistungs- und Kapazitätsdimensionierungen, der Anforderungen an die betriebliche Flexibilität und der relativen Auslastung dieser Komponenten. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit Steigerungen der Flexibilität oder der Effizienz einzelner Komponenten im Kontext des gesamten Energieversorgungssystems zu bewerten.

Methodik

Das Simulationswerkzeug basiert auf einer Vernetzung verschiedener modularer stationärer Komponenten-Modelle des Energieversorgungssystems in MATLAB/Simulink und ermöglicht die Simulation des Systembetriebs mit einer zeitlichen Auflösung von einer Minute. Die Modellierung der einzelnen Komponenten erfolgt ebenfalls in MATLAB/Simulink oder durch Integration spezialisierter Simulationswerkzeuge einzelner Komponenten. Die Leistungs- und Kapazitätsdimensionierung der disponiblen Systemkomponenten erfolgt in einem iterativen Prozess. In einem ersten Schritt wird das individuelle Residuallastprofil mit Hilfe der regenerativen Leistungs- und der kommunalen Lastprofile errechnet. In Kombination mit der Definition der übergeordneten System-Betriebsstrategie erfolgt die Dimensionierung der Leistung und der Kapazitäten der disponiblen Energiewandlungs- und Speichersysteme in einem Vor-Auslegungsschritt. Auf Basis dieser Vor-Auslegung wird der Betrieb des Energieversorgungssystems für den entsprechenden Zeitraum detailliert analysiert. Die detaillierte Simulation zeichnet sich durch die Implementierung einer übergeordneten Steuerungssystematik der Komponenten aus, welche die zulässigen Leistungsgradienten und weitere Restriktionen der Komponenten wie z.B. An- und Abfahrzeiten berücksichtigt und somit eine realitätsnahe Abbildung des Betriebs der Systemkomponenten ermöglicht. Nach einer internen Überprüfung der Ergebnisse der detaillierten Simulationsrechnung wird die Leistungs- und Kapazitätsdimensionierung der Komponenten iterativ angepasst bis eine erfolgreiche Umsetzung der vorgegebenen Systembetriebsstrategie erreicht ist. Der finale Iterationsschritt stellt dann die Grundlage für die Auswertung der Ergebnisse dar.

Ergebnisse

Das Simulationswerkzeug befindet sich in einer fortgeschrittenen Entwicklungsphase. Der Fokus der aktuellen Entwicklungsarbeiten liegt auf der Automatisierung der beschriebenen Methodik. Im Folgenden sind die Ergebnisse einer vereinfachten exemplarischen Simulationsrechnung für eine Kommune mit ca. 16000 Einwohnern dargestellt, deren Verbraucherstruktur vorwiegend durch Haushalte geprägt ist. Als regenerative Erzeugungskapazitäten stehen ein Windpark mit acht 3-MW_{el}-Windenergieanlagen und 1200 Photovoltaikanlagen mit einer modularen Leistung von 5 kW_{el-peak} zur Verfügung. Das Windprofil und das Profil der solaren Einstrahlung entsprechen Durchschnittswerten eines Standorts im Großraum Aachen. Als Betriebsstrategie soll eine Verstetigung des Strombezugs bzw. der Stromabgabe in das übergeordnete Netz in 15-Minuten-Intervallen realisiert werden. Als disponible Komponenten stehen eine 2-MW_{el}-Gasturbine, ein 600-kW_{el}-Elektrolyseur und ein skalierbarer Batterie-Speicher zur Verfügung. Die Gasturbine wird partiell zur Abdeckung einer konstanten Wärmelast eingesetzt.

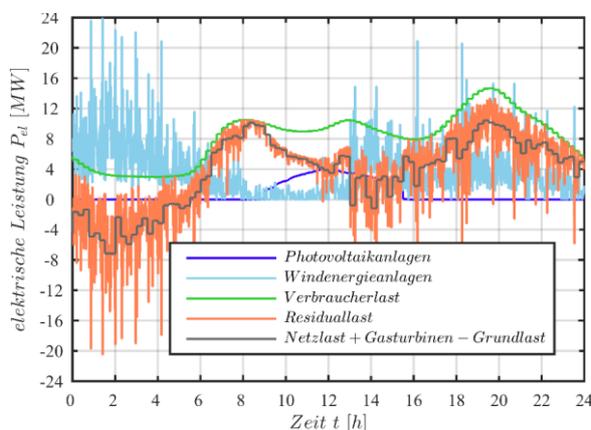


Abbildung 1: Verlauf der verschiedenen Lasten für einen exemplarischen Zeitabschnitt.

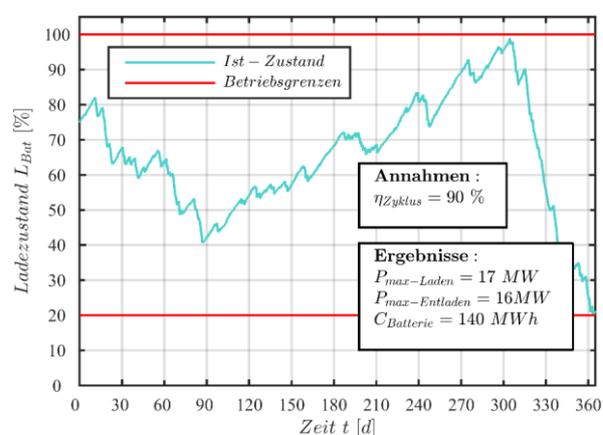


Abbildung 2: Resultierende Auslegung des Batterie-Speichers und der Verlauf des Ladezustandes im betrachteten Referenzzeitraum.