

# **SIMULATIONSMODELLE ELEKTRISCHER GEBÄUDEINSTALLATIONEN ZUR UNTERSUCHUNG VON SPANNUNGSQUALITÄTSPROBLEMEN**

**Mateo LIPPICH GOLOBART\*<sup>1</sup>, Joachim PRZIBYLLA<sup>1</sup>, Rolf WITZMANN<sup>1</sup>**

## **Motivation**

Der Wandel unseres Energiesystems von hauptsächlich fossilen zu erneuerbaren Energieträgern führt zu einer stetig wachsenden Anzahl leistungsstarker Prosumer, wie Ladeeinrichtungen für Elektrofahrzeuge, Photovoltaikanlagen, Batteriespeichersystemen und Wärmepumpen. Die Integration einer Vielzahl solcher Geräte in Niederspannungsverteilungsnetzen kann einen erheblichen negativen Einfluss auf die Spannungsqualität haben. Die Grenzwerte der einzelnen Spannungsqualitätsmerkmale sind in der DIN EN 50160 vorgegeben und deren Einhaltung ist für einen stabilen Netzbetrieb elementar. Das Forschungsprojekt *U-Quality* [1] untersucht die Auswirkung der oben genannten Geräteklassen, sowie deren Betriebsweisen, auf die Spannungsqualität in Niederspannungsverteilungsnetzen. Neben Feldmesskampagnen und Laborversuchen spielen Simulationen von zukünftigen Netznutzungsszenarien eine wichtige Rolle in dieser Forschungsfrage. Für die Simulationen in Bezug auf Spannungsqualitätsmerkmale, dabei besonders die Spannungsunsymmetrie, ist daher die Bildung möglichst allgemeingültiger und valider Netzmodelle notwendig.

Die Untersuchungen im Projekt *U-Quality* beschränken sich dabei nicht auf Modelle von Niederspannungsverteilungsnetzen im üblichen Detailgrad, also von der Ortsnetzstation zu den einzelnen Netzverknüpfungspunkten (Hausanschlusskästen). Sie werden auch auf die elektrischen Gebäudeinstallationen von Wohngebäuden ausgeweitet. Dafür wurden verschiedene Simulationsmodelle von elektrischen Gebäudeinstallationen erstellt, die die tatsächlichen Gegebenheiten möglichst realitätsnah abdecken sollen.

## **Grundlagen der Modelle**

Elektrische Gebäudeinstallationen sind, ebenso wie Niederspannungsverteilungsnetze, stark heterogen und unterscheiden sich hauptsächlich in der Anzahl der Stromkreise, in der Länge der Stromkreise, sowie der Art der Sicherungstechnik und der verlegten Leitungen. Diese Parameter hängen wiederum im Wesentlichen von der Gebäudestruktur und dem Baujahr ab.

### **Gebäudestrukturen**

Die Gebäudestruktur bestimmt die Anzahl und die Länge der Stromkreise innerhalb einer Gebäudeinstallation. So besitzen beispielsweise Einfamilienhäuser tendenziell eine größere Anzahl an Stromkreisen und größere Stromkreislängen als Geschosswohnungen. Dies hängt vor allem mit der Anzahl der Räume und der Wohnfläche zusammen. Eine Übersicht über die statistische Verteilung verschiedener Gebäudestrukturen in Deutschland bietet der Zensus 2011 [2]. Dort wurden die prozentualen Anteile der Art der Gebäude, also ob freistehend oder gereiht, der Anzahl der Wohneinheiten pro Gebäude, sowie der Wohnfläche pro Wohneinheit zusammengetragen. Aus den Daten des Zensus 2011 wurden insgesamt drei Wohngebäudestrukturen abgeleitet, die den tatsächlichen Gebäudebestand in Deutschland gut nachbilden.

### **Altersstruktur des Gebäudebestands**

Die verwendeten Materialien und die Art der Stromkreisverlegung in elektrischen Gebäudeinstallationen haben sich über die Jahre verändert. Daraus können sich relevante Unterschiede zwischen modernen und älteren Installationen ergeben, die bei der Modellierung beachtet werden sollten. Die Altersstruktur des Gebäudebestands in Deutschland wurde ebenfalls in [2] ausgewertet.

---

<sup>1</sup> Technische Universität München, Professur für Elektrische Energieversorgungsnetze, Arcisstr. 21 80333 München, Tel.: +49 89 28922006, mateo.lippich@tum.de, www.ei.tum.de/hsa

Das Baujahr eines Gebäudes alleine gibt allerdings noch keine Auskunft über die vorhandene Installation, da es seit der Erbauung zu Modernisierungen gekommen sein kann. In einer Studie des ZVEI [3] wurde zusätzlich der Zustand der elektrischen Gebäudeinstallationen in Deutschland untersucht. Aus den Ergebnissen lässt sich ableiten, dass zwei Installationsvarianten berücksichtigt werden müssen, die jeweils unterschiedliche Bauepochen widerspiegeln.

## Umsetzung

Insgesamt wurden sechs Modelle von Gebäudeinstallationen erstellt. Für die drei unterschiedlichen Gebäudestrukturen wurden zunächst Grundrisse entsprechend der Wohnfläche und Raumanzahl erstellt. Die modernen Gebäudeinstallationen wurden gemäß der Mindestausstattung nach DIN 18015-2 ausgelegt. Daraus ergibt sich unter anderem die Anzahl von Stromkreisen und Anschlusspunkten. Die Leitungslängen ergeben sich aus den Grundrissen und aus der Leitungsführung, die in DIN 18015-3 festgelegt wird. Die Ausstattung und Leitungsführung der Modelle mit älterer Gebäudeinstallation basieren vor allem auf Fachgesprächen mit Elektroinstallateuren.

Die Modelle wurden abschließend in der Simulationssoftware *PowerFactory* aufgebaut. Um die induktiven und kapazitiven Koppellemente der Leitungsimpedanzen realitätsgetreu nachzubilden, wurden die Leitungen durch drei einzelne Leiter abgebildet (SP, N, PE), die entsprechend der vorliegenden Kabelgeometrie (Mantelleitungen in der modernen, Stegleitungen in der älteren Gebäudeinstallation) zu einem Kabelsystem zusammengefasst wurden. An allen Anschlusspunkten (Steckdosen, Leuchtenanschlüsse) wurden einphasige PQ-Lasten mit einstellbaren P- und Q-Werten verbunden, um die Haushaltslasten nachzubilden. Das übergelagerte Niederspannungsverteilungsnetz wurde als aggregiertes externes Netz ausgeführt, für dessen Kurzschlussleistung ein Bereich festgelegt wurde, der auf Messwerten der Kurzschlussleistung aus Feldmessungen in unterschiedlichen Niederspannungsverteilungsnetzen beruht.

## Simulationen

Mithilfe einer Erweiterung des Lastprofilgenerators aus [4] wurde ein Pool von mehreren Tausend Haushaltslastprofilen erstellt, die einzelne Geräteprofile mit Phasenzuordnung enthalten. Diese Geräteprofile wurden für Monte-Carlo-Simulationen, gemäß der Phasenzuordnung der Geräte und der Phasenzugehörigkeit der einzelnen Stromkreise des Modells, zufällig auf die Anschlusspunkte der einzelnen Installationsmodelle aufgeteilt. Die Phasenzugehörigkeit der einzelnen Stromkreise wurde für jede Simulation ebenfalls zufällig vergeben. Für Untersuchungen im Bezug auf die Spannungsunsymmetrie wurden anschließend unsymmetrische Lastflussrechnungen durchgeführt.

## Fazit

Eine Reihe plausibler Simulationsmodelle von verschiedenen Ausführungen elektrischer Gebäudeinstallationen steht zur Verfügung, die eine Referenz für die bauliche Vielfalt in Deutschland darstellt. Erste simulative Untersuchungen beziehen sich auf den Spannungsunsymmetrieeintrag einzelner Wohngebäude, in Abhängigkeit der Kurzschlussleistung am Netzverknüpfungspunkt, des Jahresverbrauchs des Haushalts sowie der Struktur der Gebäudeinstallation.

## Referenzen

- [1] C. Biedermann et al., Spannungsqualität vor dem Hintergrund des Anstiegs an Photovoltaik, Elektrofahrzeugen, PV-Batteriespeichersystemen und Power-to-Heat, 16. Symposium Energieinnovation, 2020, Graz
- [2] Statistische Ämter des Bundes und der Länder, Gebäude- und Wohnungsbestand in Deutschland, Zensus 2011, 2014, Hannover
- [3] Zentralverband Elektrotechnik- und Elektroindustrie, Zustandserhebung elektrischer Anlagen für Gebäude, ZVEI, 2015, Frankfurt am Main
- [4] M. Wagler, R. Witzmann, Erstellung und Evaluierung eines synthetischen Haushaltlastprofilgenerators für Wirk- und Blindleistung, 14. Symposium Energieinnovation, 2016, Graz

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energie

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages