

Dimensionierung von Verbrauchs- und Erzeugungsanlagen in Niederspannungsnetzen mit Power Flow Optimierung unter Einhaltung der Planungsgrundsätze

Themenbereich 2: Energieerzeugung/-infrastruktur und Netze

Marcel BÖHRINGER¹⁽¹⁾, Jutta HANSON⁽¹⁾

⁽¹⁾Technische Universität Darmstadt, Fachbereich Elektrotechnik und Informationstechnik, Fachgebiet Elektrische Energieversorgung unter Einsatz Erneuerbarer Energien (E5), Darmstadt, Deutschland

Motivation und zentrale Fragestellung

Im Zuge der Energiewende ist ein erhöhter Ausbau von Verbrauchs- und Photovoltaikanlagen in Niederspannungsnetzen (NS-Netzen) zu erwarten. Zudem entstehen gemeinschaftliche Versorgungskonzepte für Quartiere, welche die Subsidiarität des elektrischen Energiesystems steigern. Die Planung dieser Systeme ist ein komplexes Unterfangen, da technische Planungsgrundsätze berücksichtigt werden müssen und die Wirtschaftlichkeit für die Dimensionierung der Betriebsmittel von Relevanz ist [1]. Aktuelle Forschungsarbeiten verdeutlichen, dass nur wenige Arbeiten die Planungsgrundsätze in der Wirtschaftlichkeitsanalyse berücksichtigen [2]. Dies hat zur Folge, dass die Beschränkungen in einer anschließenden Leistungsflussberechnung analysiert werden, was die bisherige Dimensionierung der Betriebsmittel beeinflusst. Es ergibt sich die Fragestellung, ob die elektrische Energiesystemplanung mithilfe eines mehrperiodischen AC-Optimal Power Flow (MP-OPF) Modells Abhilfe schafft und wie die Planungsgrundsätze für die Verbrauchs- und Erzeugungsanlagen im Modell umgesetzt werden können.

Methodische Vorgangsweise

Zunächst werden die Grundsätze für die technische Planung von NS-Netzen vorgestellt. Hierzu bildet die Anwendungsregel VDE-AR 4105 die technische Grundlage für den Anschluss und den Betrieb von Erzeugungsanlagen im Niederspannungsnetz [3]. Eine Einhaltung dieser Grenzwerte lässt sich einerseits mit einer zeitreihenbasierten Leistungsflussberechnung untersuchen. Andererseits lassen sich aus den Anforderungen die notwendigen Betriebspunkte „Starklast“ und „Starkeinspeisung“ für die stationäre Leistungsflussberechnung ableiten [4]. Die Betriebspunkte können für die Berücksichtigung der langsamen Spannungsänderung ($\Delta u \leq 3\%$) noch um einen dritten Betriebspunkt erweitert werden.

Im zweiten Schritt wird die Dimensionierung der Verbrauchs- und Erzeugungsanlagen betrachtet. Hierfür werden die Planungsgrundsätze in die mathematische Formulierung des MP-OPF überführt. Es ergeben sich zwei Optionen für die Dimensionierung, nämlich (a) mithilfe von Zeitschritten sowie (b) mithilfe von Betriebspunkten. Im Fall (a) wird für alle Zeitschritte die Einhaltung der Planungsgrundsätze überprüft. Demgegenüber stellen die Betriebspunkte im Fall (b) die obere und untere Grenze des erlaubten Betriebs dar. Eine Überprüfung der Betriebspunkte gewährleistet somit, dass die Betriebsmittel für den Betrieb auch zwischen den Betriebspunkten angemessen dimensioniert sind. Der mehrperiodische OPF beschreibt eine Reihe von quasi-stationären Punkten, die innerhalb der Optimierung abhängig voneinander ermittelt werden. Hierfür wird das Open-Source-Tool *pandapower* [5] erweitert, um die abhängigen Nebenbedingungen zwischen den quasi-stationären Punkten zu berücksichtigen und das Optimierungsproblem als globales Problem zu lösen.

Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Um die Ergebnisse des entwickelten Modells zu konkretisieren, wird der MP-OPF auf ein beispielhaftes NS-Netz angewendet und die Dimensionierung der Verbrauchs- und Photovoltaikanlagen unter Einhaltung der Planungsgrundsätze vorgestellt. Die Ergebnisse der Auswertung verdeutlichen, dass die Planungsgrundsätze einen wesentlichen Einfluss auf die Dimensionierung der Verbrauchs- und Photovoltaikanlagen besitzen.

¹ Jungautor: Marcel Böhringer, Landgraf-Georg-Straße 4, 64283 Darmstadt (Deutschland), +49 6151 16-24672, marcel.boehringere5.tu-darmstadt.de, www.e5.tu-darmstadt.de

Stützt man sich auf eine reine Formulierung mithilfe von Zeitschritten muss darauf geachtet werden, dass die Maxima für die Erzeugung und den Verbrauch in den Zeitschritten enthalten sind. Alternativ kann eine Formulierung mit Betriebspunkten eingesetzt werden, wodurch die Betriebsgrenzen konservativer analysiert werden. Erste Analysen zeigen, dass sich hierbei eine Reduktion von ca. 15 % der Photovoltaikanlagengröße im beispielhaften NS-Netz ergibt. Schreibt der Netzbetreiber das Einhalten einer langsamen Spannungsänderung ($\Delta u \leq 3 \%$) vor, reduziert sich die Photovoltaikanlagengröße deutlich auf ca. 50 % der Ergebnisse aus Fall (a). Die Analyse der Verbrauchsanlagen für die Dimensionierung steht derzeit noch aus. Dazu zählen insbesondere Haushaltslasten, Wärmepumpen sowie der Ladebedarf für Elektromobilität. Hierbei ist zu erwarten, dass die Formulierung mit Betriebspunkten ebenfalls zu einer Reduktion der Anlagengröße führt.

Literatur

- [1] J. Bayer, M. Bögl, und T. Benz. "Zellulares Energiesystem—Ein Beitrag zur Konkretisierung des Zellularen Ansatzes mit Handlungsempfehlungen." VDE-Technical Report, 2019.
- [2] T. Weckesser, D. F. Dominković, E. M. V. Blomgren, A. Schledorn, und H. Madsen, "Renewable Energy Communities: Optimal sizing and distribution grid impact of photo-voltaics and battery storage," *Appl. Energy*, vol. 301, no. 117408, p. 117408, 2021.
- [3] VDE-AR-N 4105:2018-11, "Erzeugungsanlagen am Niederspannungsnetz; Technische Mindestanforderungen für Anschluss und Parallelbetrieb von Erzeugungsanlagen am Niederspannungsnetz".
- [4] P. Wintzek, S. A. Ali, J. Monscheidt, B. Gemsjäger, A. Slupinski und M. Zdrallek, „Planungs und Betriebsgrundsätze für städtische Verteilnetze – Leitfaden zur Ausrichtung der Netze an ihren zukünftigen Anforderungen,“ *Neue Energie aus Wuppertal*, vol. 35, 2021.
- [5] L. Thurner et al., "Pandapower—An Open-Source Python Tool for Convenient Modeling, Analysis, and Optimization of Electric Power Systems," in *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 33, no. 6, pp. 6510-6521, Nov. 2018.