

TECHNISCHE UND WIRTSCHAFTLICHE ANALYSE DES EINSATZES VON KOMPENSATIONSANLAGEN IM ÜBERTRAGUNGSNETZ ZUR WAHRUNG DER STATIONÄREN SPANNUNGSSTABILITÄT

Florian BENNEWITZ¹, Fabian ZIMMERMANN¹, Sebastian WECK¹,
Christina FUHR¹, Jutta HANSON¹

Einleitung und Motivation

Durch die Energiewende werden Anlagen zur elektrischen Energieerzeugung aus erneuerbaren Energien an Standorten errichtet, die ein hohes Dargebot an Primärenergie aufweisen. Diese liegen allerdings nicht zwangsläufig nahe den Verbraucherzentren, was Leistungstransporte über weite Strecken erforderlich macht. Hierdurch wird das Blindleistungsverhalten des Übertragungsnetzes beeinflusst. Hinzu kommt, dass durch den Einspeisevorrang der Erneuerbaren Energien zunehmend der Einsatz von konventionellen thermischen Kraftwerken unwirtschaftlich wird. Diese Kraftwerke haben bisher den Großteil der Blindleistungsbereitstellung übernommen. Zur Gewährleistung der stationären Sicherheitsmargen werden daher Betriebsmittel wie beispielsweise Kompensationsanlagen eingesetzt [1]. Hierbei spielt neben der Betrachtung der technischen Auswirkungen die Wirtschaftlichkeit der notwendigen Investitionen eine wesentliche Rolle. In Zukunft kann darüber nachgedacht werden, Blindleistungsbereitstellung außerhalb der technischen Anschlussrichtlinien gesondert zu vergüten. Dies wird bereits heute vom Schweizer Übertragungsnetzbetreiber Swissgrid durchgeführt [2].

Die vorliegende Kurzfassung untersucht, inwieweit sich bei Annahme des Schweizer Modells für die Vergütung von Blindleistung die Wirtschaftlichkeit der Investition in Kompensationsanlagen ändert, wenn diese zur Verbesserung der Spannungsstabilitätsgrenze errichtet werden. Hierzu werden zunächst die Grundlagen zur Bestimmung der Spannungsstabilitätsgrenze wie auch der Kapitalwertmethode erläutert. Darauf aufbauend wird die gewählte Methodik anhand einer Beispieluntersuchung vorgestellt. Abschließend wird erläutert, welche weiteren Arbeiten in die beabsichtigte Langfassung einfließen sollen.

Bestimmung der Spannungsstabilitätsgrenze

Spannungsstabilität ist definiert als die Fähigkeit eines Systems, die Knotenspannungen innerhalb der zulässigen Toleranzbänder zu halten [3]. Diese Definition kann unter Berücksichtigung der Blindleistungsbilanz erweitert werden. Demnach ist die Spannungsstabilitätsgrenze erreicht, wenn der lokale Blindleistungsbedarf nicht mehr durch umliegende Blindleistungsquellen gedeckt werden kann. An dem entsprechenden Knoten im System tritt eine unkontrollierte Knotenspannung ein, die zum Spannungskollaps führt. Aus diesem Grund muss ein ausreichender Sicherheitsabstand zwischen stationären Arbeitspunkt und Spannungsstabilitätsgrenze eingehalten werden. Im Rahmen dieser Arbeit wird zur Bestimmung der Spannungsstabilitätsgrenze die Systemauslastung durch eine lineare Erhöhung der Verbraucherlasten schrittweise bis zum Spannungskollaps gesteigert. Die Erhöhung der Verbraucherlasten wird dabei durch die konventionellen Kraftwerke ausgeglichen. Als Spannungsstabilitätsgrenze wird dann die Summe der Verbraucherlasten beim Spannungskollaps definiert [4].

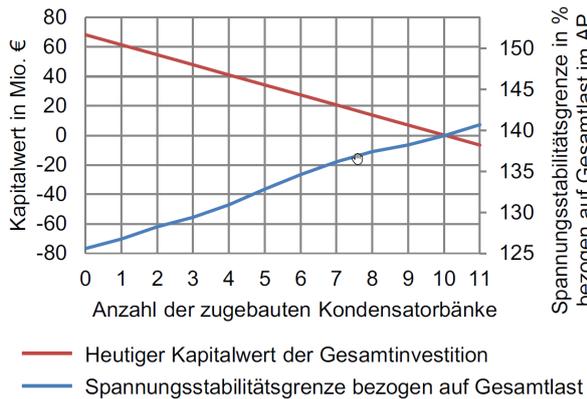
Bewertung der Investitionsentscheidung

Im Rahmen dieser Arbeit wird zur Bewertung der Investition ein dynamisches Verfahren benutzt. Dieses Verfahren betrachtet unter Einbeziehung des Zinseffekts die gesamte Nutzungsdauer der Investition. Der resultierende Kapitalwert gibt demnach durch Abzinsung aller späteren Ausgaben und Einnahmen an, welchen Wert eine Investition zu einem bestimmten Zeitpunkt hat. Entsprechend gilt ein positiver Wert der Gesamtinvestition als wirtschaftlich vorteilhaft, ein negativer als nachteilhaft [5].

¹ Technische Universität Darmstadt, Fachgebiet Elektrische Energieversorgung unter Einsatz Erneuerbarer Energien, Landgraf-Georg-Straße 4, 64283 Darmstadt, Tel.: +49 6151 16-24666, Fax: +49 6151 16-4259, florian.bennewitz@e5.tu-darmstadt.de, www.e5.tu-darmstadt.de

Methodik und Beispieluntersuchung

Zur Untersuchung wird das Nordic-32-Testsystem verwendet, welches in der Literatur häufig für Untersuchungen der Spannungsstabilität verwendet wird [6]. Das Testsystem weist insbesondere lange Übertragungsstrecken auf, die im eingestellten Arbeitspunkt (AP) des Systems mit der Gesamtlast $P_{\text{Last}}=11,06 \text{ GW} \pm 100 \%$ bereits hoch ausgelastet sind. Dies entspricht einem Szenario, in dem Erzeugung und Verbrauch weit voneinander entfernt sind. Sukzessive wird im Rahmen der Beispieluntersuchung jeweils eine kapazitive Kompensationsanlage mit 6 Stufen je 50 Mvar bei Nennspannung am aktuell kritischen Knoten der Spannungsstabilität zugebaut. Für jeden Zubau werden dann Kapitalwert der Gesamtinvestition in Mio. € und Spannungsstabilitätsgrenze bezogen auf die Gesamtlast im Arbeitspunkt bestimmt. Dieses Verfahren wird fortgeführt, bis der Kapitalwert negativ wird. Das Ergebnis der Untersuchung ist in Abbildung 1 dargestellt. Es zeigt sich, dass die Spannungsstabilitätsgrenze bei einem



Zubau von Kompensationsanlagen angehoben wird. Dies ist nachvollziehbar, da durch die zusätzliche Einspeisung von Blindleistung die Blindleistungsbilanz länger aufrecht gehalten werden kann. Gleichzeitig sinkt allerdings der Kapitalwert der Gesamtinvestition, da die Kompensationsanlagen zunehmend weniger Blindleistung einspeisen. Dies führt zu einem abnehmenden Kapitalwert. Bei einem Zubau von mehr als zehn Kompensationsanlagen ist die Gesamtinvestition nicht mehr vorteilhaft. Dies ist allerdings wegen dem großen Abstand zum Arbeitspunkt als unkritisch anzusehen.

Abbildung 1: Vergleich von Kapitalwert und Spannungsstabilitätsgrenze für Zubau von Kompensationsanlagen

Ausblick

Im Rahmen der Erarbeitung der Langfassung wird die hier vorgestellte Methodik erweitert. Dazu werden insbesondere aussagekräftige Arbeitspunkte des Gesamtsystems betrachtet. Ebenfalls werden die angenommenen technischen wie wirtschaftlichen Parameter einer Sensitivitätsanalyse unterzogen.

Literatur

- [1] S. Dierkes, T. van Leeuwen, und A. Moser, "Impact of shunt compensation on voltage stability of power systems with a significant share of renewable energies," Cigré - Conference on Innovation for Secure and Efficient Transmission Grids, Brüssel, Belgien, 2014.
- [2] Swissgrid AG, „Konzept für die Spannungshaltung im Übertragungsnetz der Schweiz ab 2011“, online unter: <https://www.swissgrid.ch/>.
- [3] P. Kundur, "Power System Stability and Control", McGraw-Hill Education – Europe, 1994.
- [4] F. Bennewitz, S. Weck, J. Hannappel, und J. Hanson, "Determination of optimal converter operating points regarding static voltage stability and system losses in hybrid transmission systems," in Proc. Power Electronics and Power Engineering 2017 11th IEEE Int. Conf. Compatibility, pp. 16–21.
- [5] J.-P. Thommen und A.-K. Achleitner, „Allgemeine Betriebswirtschaftslehre. Umfassende Einführung aus managementorientierter Sicht“, GWV Fachverlage, Wiesbaden.
- [6] T. van Cutsem und L. Papangelis, "Description, modeling and simulation results of a test system for voltage stability analysis," Liège, 2013.