

# BETRACHTUNG VON SPANNUNGSHALTUNGSKONZEPTEN IN HOCHAUSGELASTETEN VERTEILNETZEN

David MATZEKAT<sup>1</sup>, Klaus PFEIFFER<sup>2</sup>, Harald SCHWARZ<sup>3</sup>, Christin SCHMOGER<sup>4</sup>, Ronald HALBAUER<sup>5</sup>, Uwe ZICKLER<sup>6</sup>, Matthias HABLE<sup>7</sup>,

## Motivation

In der ARGE FNB OST (Arbeitsgemeinschaft der 110-kV-Flächennetzbetreiber in der Regelzone des Übertragungsnetzbetreibers 50Hertz) sind alle Hochspannungsverteilnetzbetreiber mit einem direkten Übertragungsnetz-Anschluss in Ostdeutschland organisiert. Die ARGE verfolgt das Ziel, zusammen mit dem Übertragungsnetzbetreiber eine gemeinsam abgestimmte Lösungsfindung für ähnliche Netzprobleme zu erreichen. Die Netze der ARGE werden aktuell und auch zukünftig hoch ausgelastet, die Prognosen gehen von **mehr als 48 GW installierter volatiler Erzeugungsleistung im Jahr 2030** aus.

Die Anwendung des NOVA-Prinzips (Netzoptimierung vor -verstärkung vor -ausbau) zur Integration von EE-Erzeugungsanlagen (EE-EZA) führt zu einer signifikant höheren Belastung der 110-kV-Verteilnetze. Durch den Einsatz hochtemperaturbeständiger Freileitungsseile (HTSL-Beseilungen) in Kombination mit Bündelleiterausführung können z.B. dauerhaft zulässige Betriebsströme in Höhe von bis zu 3 kA erreicht werden. In derart stark ausgelasteten Netzen treten hohe Blindleistungsbedarfe auf, die je nach Netzsituation zu Spannungsinstabilitäten führen können.

Die BTU Cottbus wurde deshalb beauftragt, in einer umfangreichen Studie sowohl an Benchmark-Netzmodellen als auch an 110-kV-Realnetzen Spannungsstabilitäts-Untersuchungen durchzuführen. In diesem Beitrag wird sich auf die Untersuchungen mit zwei realen 110-kV-Verteilnetzen konzentriert, die von zwei ostdeutschen Flächennetzbetreibern bereitgestellt wurden. Der Untersuchungsschwerpunkt liegt auf der Betrachtung unterschiedlicher Spannungshaltungskonzepte unter Einbeziehung verschiedener Blindleistungsregelverfahren der EE-EZA sowie der Regelung von Transformator-Stufenstellern.

## Untersuchungen

Für die Untersuchungsaufgabe wurden zwei spannungsebenen-übergreifende Gesamtnetzmodelle für das Zieljahr 2030 einschließlich vorgelagertem Höchstspannungsrealnetz der ostdeutschen Regelzone und nachgelagerten Mittelspannungsnetzmodellen (real und synthetisch) erstellt. Die Charakteristik der im Mittelpunkt stehenden 110-kV-Verteilnetze unterscheidet beide Gesamtnetzmodelle. Das 110-kV-Realnetz im Harzvorland (3,2 GW volatile Erzeugungsleistung, 1,2 GW Last, 3 Netzverknüpfungspunkte zum Übertragungsnetz) arbeitet mit einem dezentralen Spannungshaltungskonzept mit verteilter Q(U)-Regelung, im 110-kV-Realnetz Mecklenburg-Vorpommern (9,8 GW volatile Erzeugungsleistung, 0,68 GW Last, 6 Netzverknüpfungspunkte) kommt ein zentrales Konzept zum Einsatz. Neben der Erstellung der Netzmodelle wurden folgende benutzerdefinierte Reglermodelle für quasi-dynamische Berechnungen mit Berücksichtigung eines zeitabhängigen Verhaltens (QDSL-Modelle) entwickelt:

---

<sup>1</sup> BTU Cottbus-Senftenberg, Siemens-Halse-Ring 13, 03050 Cottbus, Deutschland, +49 355 69 5573, david.matzekat@b-tu.de

<sup>2</sup> BTU Cottbus-Senftenberg, Siemens-Halse-Ring 13, 03050 Cottbus, Deutschland, +49 355 69 4035, klaus.pfeiffer@b-tu.de

<sup>3</sup> BTU Cottbus-Senftenberg, Siemens-Halse-Ring 13, 03050 Cottbus, Deutschland, +49 355 69 4503, harald.schwarz@b-tu.de

<sup>4</sup> E.DIS Netz GmbH, Langewahler Straße 60, 15517 Fürstenwalde/Spree, +49 3361 70 2452, christin.schmoger@e-dis.de

<sup>5</sup> Mitteldeutsche Netzgesellschaft Strom mbH, Industriestraße 10, 06184 Kabelsketal, Deutschland, +49 345 216 3234, ronald.halbauer@mitnetz-strom.de

<sup>6</sup> TEN Thüringer Energienetze GmbH & Co. KG, Schwerborner Straße 30, 99087 Erfurt, Deutschland, +49 361 652 2766, uwe.zickler@thueringer-energienetze.com

<sup>7</sup> SachsenNetze HS.HD GmbH, Rosenstraße 32, 01067 Dresden, Deutschland, +49 351 468 4366, matthias.hable@sachsenenergie.de

- EE-EZA mit Q(U)-Regelung mit PT2-Verhalten auf Basis der Vorgaben in VDE-AR-N 4120,
- EE-EZA mit Q(U)-und Q(P)-Regelung mit PT1-Verhalten nach VDE-AR-N 4110,
- verschiedene Transformator-Stufensteller-Regelungen.

Die QDSL-Reglermodelle wurden mit detaillierten EMT-Reglermodellen validiert. Die Berechnungen wurden mit DIgSILENT PowerFactory durchgeführt. Während beim dezentralen Konzept Q(U)-, Q(P)-Regler und Stufenstellerregler anlagenscharf zugeordnet werden, erfolgen bei einer zentralen Lösung die Blindleistungsvorgaben aus einem Spannungs-Blindleistungs-Managementsystem. Als Rückfallebene kommen hierbei Spannungsbegrenzungsregler zum Einsatz.

Mit beiden Netzen wurden für eine Vielzahl von Betriebsfällen quasi-dynamische Lastflussberechnungen durchgeführt, wobei neben dem hochausgelasteten Normalbetrieb der Schwerpunkt auf das Systemverhalten nach Ausfällen und Netzsicherheitsmanagementmaßnahmen (NSM) gelegt wurde. Weiterhin wurden Szenarien betrachtet, bei denen aus dem Verteilnetz Blindleistung für das Übertragungsnetz bereitgestellt werden sollte.

## Ergebnisse

In den durchgeführten Berechnungen konnten die Interaktionen zwischen den spannungs- und blindleistungsregelnden Anlagen sichtbar gemacht und das zeitabhängige Verhalten der unterschiedlichen Blindleistungsverfahren analysiert werden.

Aufgrund der hohen installierten Leistungen an EE-EZA verfügen die Verteilnetze über eine hohe Spannungssensitivität und ein großes Blindleistungspotential, welches bei einem koordinierten Einsatz zur Spannungshaltung im hochausgelasteten Normalbetrieb für die untersuchten Netze ausreichend ist. Die beispielsweise nach Betriebsmittelausfällen aufgetretenen Schwingungsvorgänge in der Netzspannung sind unter anderem die Folge des kollektiven Überschwingens aller Regler mit PT2-Verhalten, welches im Nachgang wieder ausgeregelt werden muss. Die vollständige Abregelung von EE-EZA kann aufgrund des Wegfalls der Blindleistungslieferung zu beträchtlichen Spannungsanstiegen führen, die nur teilweise von den übrigen Anlagen kompensiert werden können.

Eine weitere Problematik ergibt sich für die Impedanzanregung des Leitungs-Distanzschutzes. Es konnte gezeigt werden, dass die P-Q-Arbeitspunkte von einzelnen hochausgelasteten Leitungen nach Ausfällen im Anregebereich des Schutzes liegen können und damit ungewollte Auslösungen möglich sind. Weiterführende Untersuchungen müssen deshalb in Koordinierung mit dem Schutz erfolgen.

Die Bereitstellung von Blindleistung für das Übertragungsnetz verursacht im Verteilnetz eine hohe Dynamik in der Netzspannung, so dass sich größere Spannungsabweichungen ergeben. Dies verursacht deutlich mehr Regelungsvorgänge, ebenso müssten hierfür genügend Stufensteller- und Blindleistungsreserven vorgehalten werden. Diese sind aber teilweise gar nicht mehr vorhanden.

Zusammenfassend konnten folgende Schlussfolgerungen gezogen werden:

1. Die Leistungsfähigkeit der aktuell angewendeten Netzschutzkonzepte muss hinterfragt werden.
2. Mit dem Ziel eines deutlicheren spannungsstützenden Effekts müssen die Kennlinien in den Q(U)-Regelungen mit einem größeren Anstieg versehen werden.
3. Es muss sichergestellt werden, dass in der Praxis jederzeit das Regelungsverhalten, insbesondere das Überschwingen, mit den Anforderungen der VDE-AR-N 4120 konform ist.
4. NSM-Maßnahmen (Redispatch2.0) sollten so dimensioniert werden, dass EE-EZA mit einer technischen Mindestleistung von z.B. 20 % am Netz verbleiben, um deren Blindleistungspotential weiterhin verfügbar zu haben.
5. Zur Beherrschung dynamischer Vorgänge im Verteilnetz benötigt der Netzbetreiber eine Blindleistungs-Sicherheitsreserve.
6. Eine schnelle und koordinierte Nachführung der HöS/HS-Transformatorstufungen verbessert die Stabilität im Verteilnetz signifikant.