

**FACHGEBIET ELEKTRISCHE
ENERGIEVERSORGUNGSNETZE**

Extraordinarius: Prof. Dr.-Ing. R. Witzmann



Zusammenfassung Masterarbeit

**Untersuchung und Nachbildung der
dynamischen Vorgänge an 110kV-
Sammelschienen**

Markus Meyer

Motivation und Problemdefinition

Immer mehr konventionelle Großkraftwerke mit ihren rotierenden Massen werden durch regenerative dezentrale Erzeugungsanlagen, die über leistungselektronische Umrichter angeschlossen sind, ersetzt. Diese Veränderung hat einen noch nicht genauer quantifizierten Einfluss auf die dynamische Systemstabilität des elektrischen Energieversorgungsnetzes.

Der Großteil der verteilten leistungselektronischen Umrichter befindet sich auf der Mittel- und Niederspannungsebene. Da diese Anlagen entsprechend der Anschlussbedingungen der jeweiligen Spannungsebene ein dynamisches Verhalten bei Fehlern im Übertragungsnetz zeigen, muss deren Einfluss bei Untersuchungen im Übertragungsnetz berücksichtigt werden. Da man bei vollständiger Modellierung aller Mittel- und Niederspannungsnetze innerhalb Deutschlands an die Grenzen der Simulationsmöglichkeiten stößt, ist eine Nachbildung des dynamischen Verhaltens der unterlagerten Mittel- und Niederspannungsnetze an den 110kV-Sammelschienen notwendig.

Vorgehen

Üblicherweise werden unterlagerte Netzebenen vereinfachend durch konstante P/Q-Lasten, bzw. bei Kurzschlussberechnungen durch äquivalente Admittanzlasten, nachgebildet. Soll das dynamische Verhalten der Erzeuger mit berücksichtigt werden, wird klassischerweise ein entsprechend geregelter Generator, dessen Nennleistung der gesamten im Netz vorhandenen Erzeugungslleistung entspricht, parallel an den Anschlussknoten gesetzt.

Durch diese Art der Modellierung wird jedoch der Einfluss des Spannungsprofils, in Wechselwirkung mit den spannungsabhängigen Lasten, auf das Netzverhalten nicht mit berücksichtigt. Außerdem kann mit Hilfe dieses Verfahrens die unter entsprechenden Rahmenbedingungen auftretende sequentielle Trennung der PV-Anlagen in den Niederspannungsnetzen nicht nachgebildet werden.

Daher wurde eine Methode entwickelt, bei der das Regler-Verhalten der PV- und Windkraftanlagen auf einzelne Zustände abstrahiert. Für jede aktive Änderung der Netzgegebenheiten (z.B. zeitverzögerte Trennung der PV-Wechselrichter bei einem Spannungseinbruch auf unter 0,8 p.u.) wird ein eigener Zustand definiert. Für die untersuchten Netze wird für jeden Zustand jeweils eine Kennlinie für den Wirk- und Blindleistungsaustausch mit dem überlagerten Netz bei verschiedenen Spannungen (P(U)- und Q(U)-Kennlinien) aufgenommen und anschließend in einem geregelten P/Q-Zweig hinterlegt, welcher letztlich die Netznachbildung darstellt.

Die auf diese Weise generierten Nieder- und Mittelspannungsnetznachbildungen wurden anschließend durch Vergleichssimulationen sowohl auf ihre Eignung hinsichtlich der

korrekten Widergabe des dynamischen Verhaltens geprüft, sowie mit der vereinfachten Modellierung durch Parallelschaltung einer Summeneinspeisung und der kumulierten Last am Netzanschlussknoten verglichen.

Datengrundlage

Grundlage für die Untersuchungen sind die am Fachgebiet für elektrische Energieversorgungsnetze der TU München entwickelten Niederspannungs-Referenznetze, ein reales 110kV-Netz, mehrere reale Mittelspannungsnetze sowie ein (ebenfalls am Fachgebiet entstandenes) Modell des deutschen Übertragungsnetzes (siehe Abbildung 1).

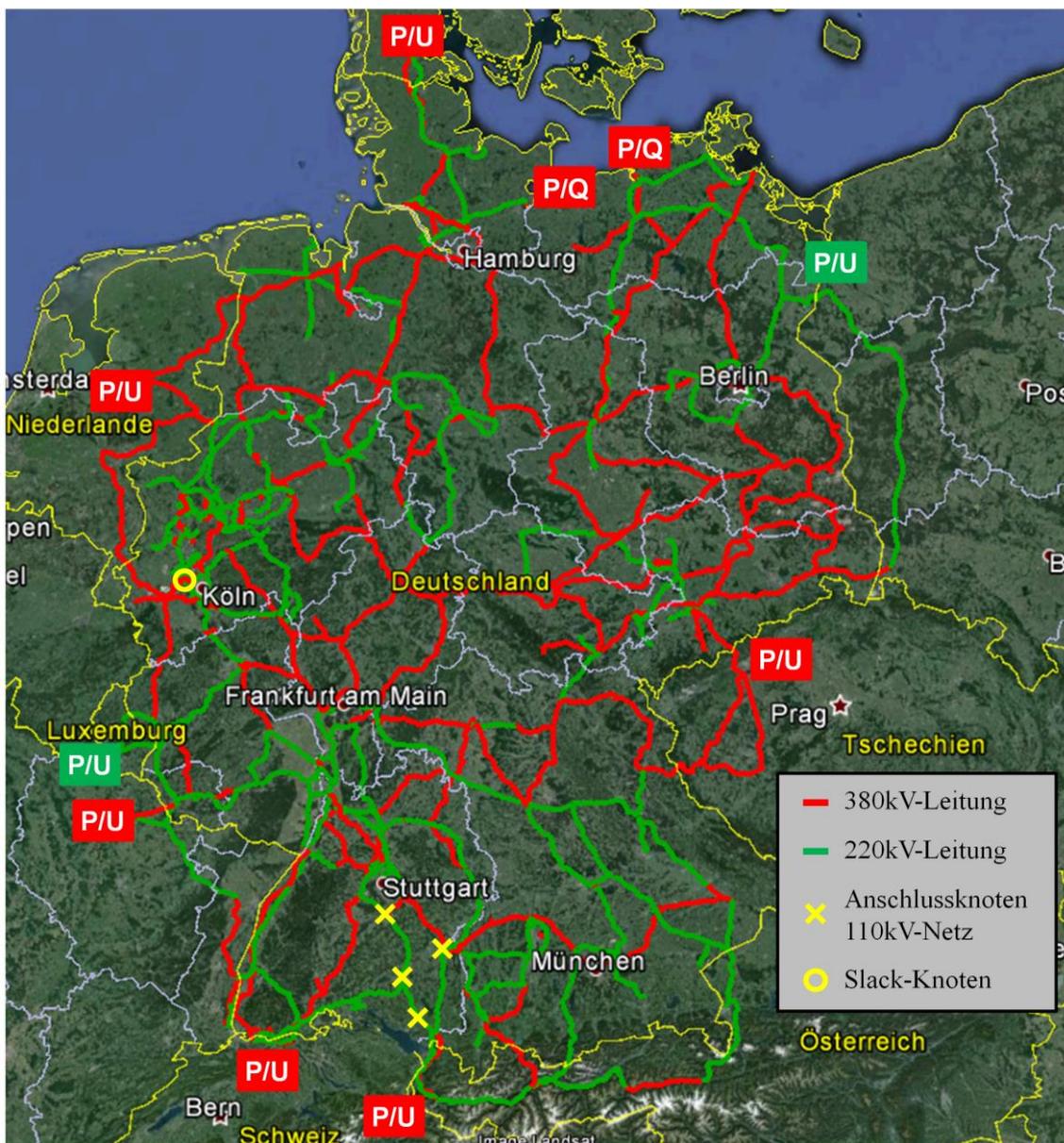


Abbildung 1: Modell des deutschen Übertragungsnetzes (Darstellung in Google Earth) mit Artkennzeichnung der Anschlussknoten der Nachbarnetze

Ergebnisse

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass die so gewonnenen Netznachbildungen das dynamische Verhalten am Anschlussknoten relativ genau nachbilden (vgl. Abbildung 2).

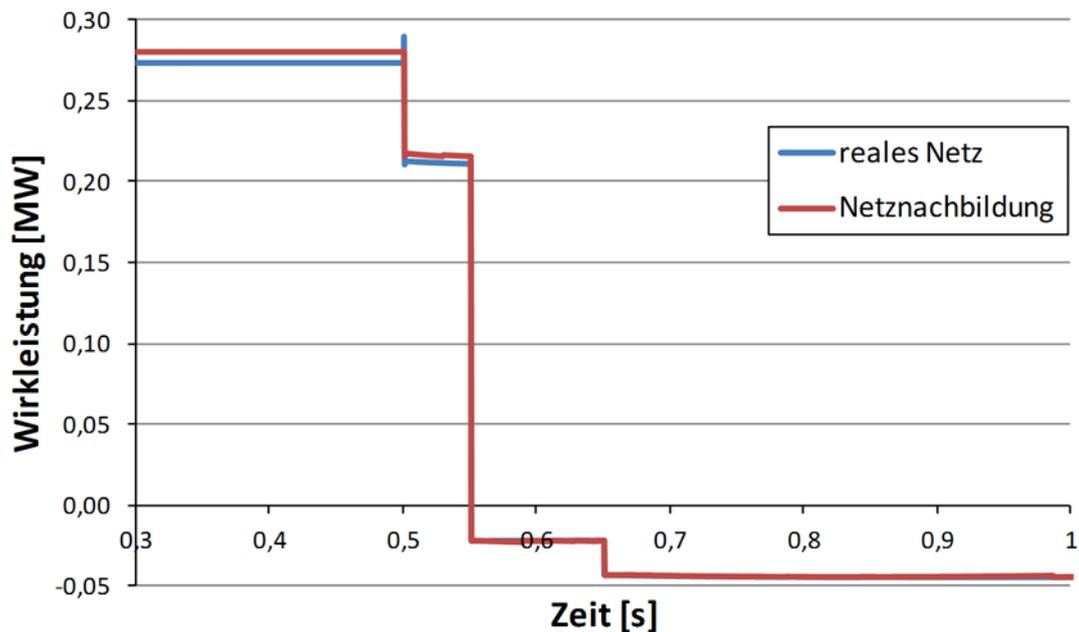


Abbildung 2: Vergleich der Wirkleistungsverläufe eines realen Niederspannungsnetzes mit der Netznachbildung (Spannung am Netzanschlussknoten während des Fehlers: $\sim 0,74$ p.u.)

Gut zu erkennen sind die verminderte Rückspeiseleistung unmittelbar nach dem Spannungseinbruch (Zeitpunkt $t = 0,5$ s), die Trennung der PV-Anlagen auf Grund der Spannung unter $0,8$ p.u. ($0,55$ s) und die wieder ansteigende Verbraucherleistung nach Rückkehr der Spannung ($0,65$ s), verursacht durch die Spannungsabhängigkeit der Lasten. Eine erneute Netzsynchrosation der Erzeugungsanlagen wurde nicht betrachtet.

Weiterhin konnte gezeigt werden, dass durch die vereinfachte Betrachtung einer Summenseinspeisung und kumulierten Last am Anschlussknoten für die derzeitige Einspeiseleistung in den Niederspannungsnetzen nur ein relativ kleiner Fehler begangen wird ($1 - 4\%$ Abweichung bzgl. dem Wirkleistungsaustausch mit dem überlagerten Netz). Mit dem erwarteten Ausbau der Photovoltaik kommt es, speziell in ländlich geprägten Netzen, jedoch zu deutlich größeren Abweichungen (ca. 7%). Abhängig vom Anspruch an die Genauigkeit ist eine derartige Vereinfachung für Prognosen daher nicht mehr zulässig.