

# **SIMULATIVE UNTERSUCHUNG DES STATIONÄREN UND DYNAMISCHEN BETRIEBSBEREICHS EINES SYNCHRONGENERATORS IM INSELNETZBETRIEB**

**Johanna TIMMERMANN<sup>1(\*)</sup>, Simon HÖTZEL<sup>1</sup>, Claudia BERNECKER-CASTRO<sup>1</sup>, Rolf WITZMANN<sup>1</sup>, Tobias LECHNER<sup>2</sup>, Sebastian SEIFRIED<sup>2</sup>, Michael FINKEL<sup>2</sup>, Dirk MENKER<sup>3</sup>, Christian DELLMANN<sup>4</sup>, Günther STÖRZER<sup>5</sup>**

## **Motivation und Zielsetzung**

Trotz der geringen Wahrscheinlichkeit des Auftretens von großflächigen und langanhaltenden Stromausfällen in Europa, kann dies durch extreme Wetterbedingungen, menschliches Versagen oder Terrorismus nicht ausgeschlossen werden [1]. Wie in [2] dargestellt, bietet die Notstromversorgung über ein Inselnetz, welches von lokalen Stromerzeugern gespeist wird, eine Möglichkeit für solche Szenarien die Krisenvorsorge sicherzustellen.

Die Umsetzbarkeit, sowie die Planung und Analyse möglicher Betriebsfälle in einem Inselnetzen kann durch ein Simulationsmodell erfolgen. Eine realitätsnahe und aussagekräftige Modellierung hängt maßgeblich von der Genauigkeit der einzelnen Modellkomponenten ab. Bei Verwendung eines Synchrongenerators als Führungskraftwerk, ist dieser eine zentrale Komponenten für die Modellierung des Inselnetzbetriebs. Die Berücksichtigung der Belastungsgrenzen ist für den Inselnetzbetrieb von entscheidender Bedeutung, da der Synchrongenerator als einziger Erzeuger den Lastanforderungen gerecht werden muss. Der Betriebsbereich eines Synchrongenerator wird unter anderem durch die Nachbildung der Erregerschutzfunktionen modelliert. Dies ermöglicht dynamische Untersuchungen in den Grenzbereichen. Mit dem Simulationsmodell lässt sich dadurch der zulässige statische als auch dynamische Betriebsbereich eines Synchrongenerators im Inselnetz bestimmen. Der statische Betriebsbereich geht aus den zulässigen Belastungsgrenzen im Dauerbetrieb hervor [3]. Die dynamischen Belastungsgrenzen beschreiben den kurzzeitigen Betrieb eines Synchrongenerators außerhalb seiner stationären Betriebsgrenzen. Eine genaue Modellierung ermöglicht geringere Reservekapazitäten, die bei der Planung und Auslegung des Inselnetzbetriebs berücksichtigt werden müssen. Des Weiteren unterstützt die Überprüfung der Betriebsgrenzen ein Modell für den gesamten Betriebsbereich zu plausibilisieren.

## **Methodik**

Der stationär und dynamisch zulässige Betriebsbereich wird für ein in [4] vorgestelltes Simulationsmodell untersucht. Diese Untersuchung umfasst die folgenden drei Schritte.

Zunächst wird die Parametrierung und die Funktion der implementierten Generatorschutzfunktionen überprüft. Jede Begrenzer- und Schutzfunktion wird zur Funktionsüberprüfung separat betrachtet. Es werden simulative Funktionstests durchgeführt, die Anregegrenzen ermittelt und das Modellverhalten anhand von Datenblättern validiert.

Anschließend wird der gesamte Betriebsbereich systematisch simuliert und das ermittelte Leistungsdiagramm mit den Angaben des Datenblatts abgeglichen. Hierbei können die Auswirkungen einzelner Modellparameter untersucht werden. Die Fallhöhe stellt bei dem verwendeten Turbinenmodell zum Beispiel einen Einflussfaktor auf die maximale Wirkleistung dar und beeinflusst daher die Leistungsperformance der modellierten Kaplan-turbine. In der Praxis entspricht dies dem verfügbaren Wasserdargebot, die zu Verfügung stehende Leistung ist durch Fallhöhe und Durchflussmenge gegeben. Zur Bestimmung des dynamischen Betriebsbereichs wird der Synchrongenerator simulativ außerhalb der festgelegten statischen Belastungsgrenzen betrieben und die Auswirkungen auf das Systemverhalten des Inselnetzes werden untersucht. Hierbei kann zwischen dauerhafter oder

---

<sup>1</sup> TU München, TUM School of Engineering and Design, Arcisstraße 21, D-80333 München, Tel.: 0049 89 289-22017, johanna.timmermann@tum.de, www.tum.de

<sup>2</sup> Hochschule Augsburg, Fakultät für Elektrotechnik, An der Hochschule 1, D-86161 Augsburg

<sup>3</sup> KIMA Automatisierung, Gesellschaft für elektronische Steuerungstechnik und Konstruktion mbH, Anna-Merian-Str. 5, D-48599 Gronau

<sup>4</sup> LEW Wasserkraft GmbH, Kraftwerkstechnik, Adolf-von-Baeyer-Str. 1, D-86368 Gersthofen

<sup>5</sup> LW Zweckverband Landeswasserversorgung, Schützenstraße 4, D-70182 Stuttgart

kurzzeitiger Überschreitung der Betriebsgrenzen (z. B. bei Einschaltvorgängen) unterschieden werden. Da die Begrenzerfunktionen u. A. den Erregerstrom limitieren und somit die Spannungsregelung des Generators beeinflussen, führen die Einstellwerte des Spannungsschutzes oder der für das Inselnetz erforderliche Spannungsbereich zu einer Begrenzung. Die dynamischen Betriebsgrenzen ergeben sich somit aus den Schutzeinstellungen und den festgelegten Anforderungen für den Inselnetzbetrieb.

## Erste Ergebnisse

Die Auswertung der statisch simulierten Betriebspunkte über den gesamten Betriebsbereich wird in Abbildung 1 gezeigt. Die farbliche Markierung kennzeichnet die erlaubte Belastungsdauer des Synchrongenerators, bevor eine Erregerschutzfunktion aktiv wird. Es wird angenommen, dass der Betriebspunkt bei Erreichen der maximalen Simulationsdauer von 240 Sekunden dauerhaft gehalten werden kann. Die Simulation erfolgt in 0,02 pu Schritten.

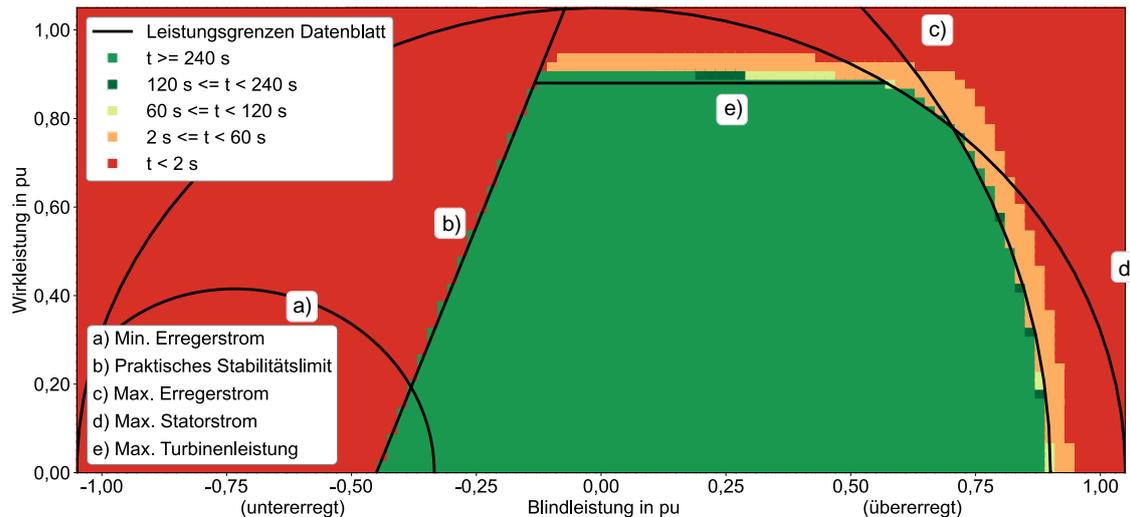


Abbildung 1: Zeitdauer simulierter Betriebspunkte bis Schutzanregung des Synchrongenerators und Vergleich mit dem Leistungsdiagramm aus dem Datenblatt

Der grüne Bereich aus Abbildung 1 stellt die statischen Betriebsgrenzen des Synchrongenerators dar. Dieser Bereich kann mit den Leistungsgrenzen aus dem Datenblatt validiert werden. Der Vergleich zeigt eine weitgehende Übereinstimmung. Da im Inselnetzbetrieb ein erweiterter Frequenzbereich zulässig ist kann die Wirkleistung die maximale Turbinenleistung übersteigen, in diesen Betriebspunkten ist die Frequenz kleiner 50 Hz. Die Grenze des minimalen Erregerstroms wird nicht ersichtlich da in diesen Betriebsbereich die Sättigung des Synchrongenerators wirksam ist und dadurch die Grenze des minimalen Erregerstroms nicht unterschritten wird. Auf Grundlage dieser Erkenntnisse kann das Modell angepasst und der Betriebsbereich durch erneute Simulationen überprüft werden. Des Weiteren dienen die Ergebnisse als Grundlage für die Analyse des dynamischen Betriebsbereichs. Für diese Untersuchung werden neben den Begrenzungsfunktionen der Erregung die Parametrierung des Generatorschutzes berücksichtigt und anhand dessen der kurzzeitig mögliche Betrieb außerhalb der statischen Belastungsgrenzen bestimmt.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

## Referenzen

- [1] H.-A. Krebs, P. Hagenweiler, *Energieresilienz und Klimaschutz*, Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2021
- [2] C. Steinhart, „Lokale Inselnetz-Notversorgung auf Basis dezentraler Erzeugungsanlagen mit Fokus auf die Frequenzstabilität,“ Dissertation, Technische Universität München, München 2020
- [3] Binder, *Elektrische Maschinen und Antriebe*, Heidelberg: Springer Vieweg Berlin, 2017
- [4] J. Timmermann, C. Bernecker-Castro, R. Witzmann, T. Lechner, S. Seifried, M. Finkel, D. Menker, C. Dellmann, G. Störzer, D. Stenzel und C. Vogel, „Dynamische Modellierung der Notfallversorgung einer Trinkwasserversorgung durch ein Laufwasserkraftwerk im Inselbetrieb,“ 17. Symposium Energieinnovation TU Graz, Graz, 2022