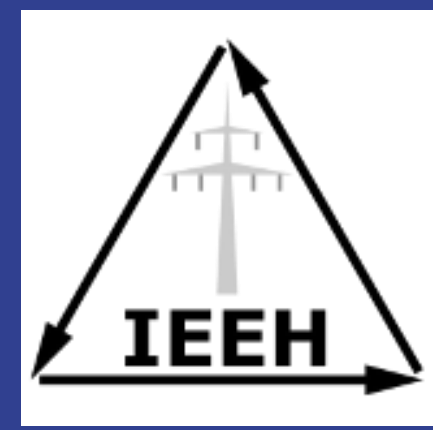


Gegensystemstromregelung von Windturbinen und deren Einfluss auf den Netzschutz

Jörg Meyer & Peter Schegner
Institut für Elektrische Energieversorgung
und Hochspannungstechnik
Technische Universität Dresden
joerg.meyer@tu-dresden.de



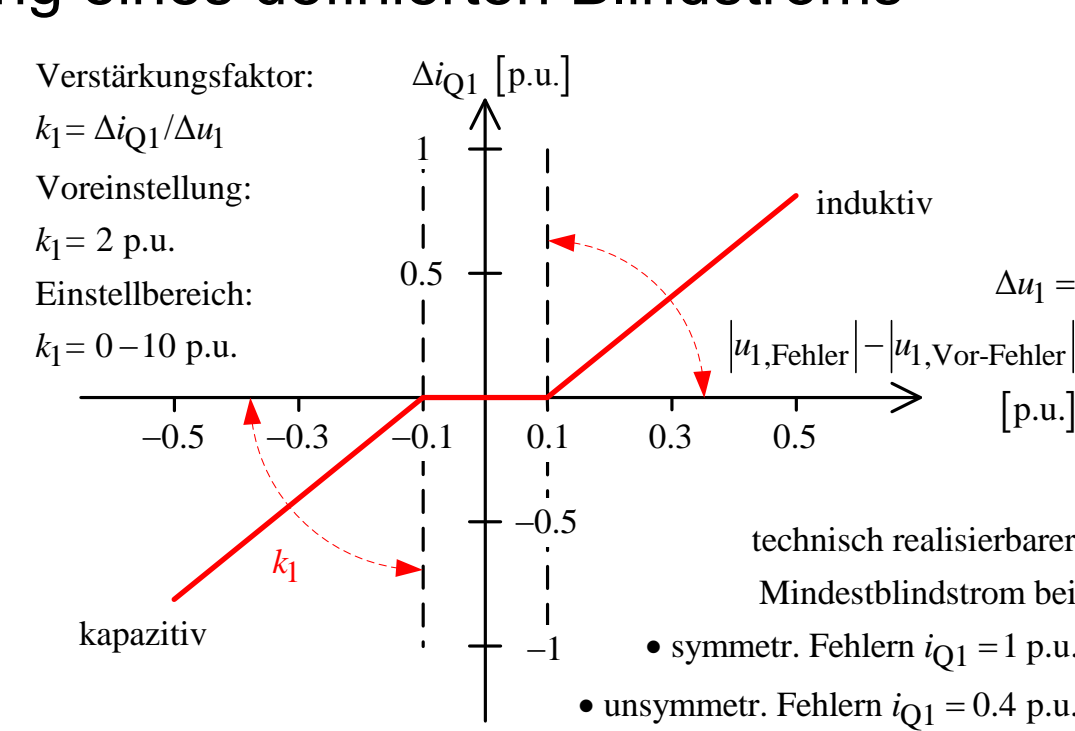
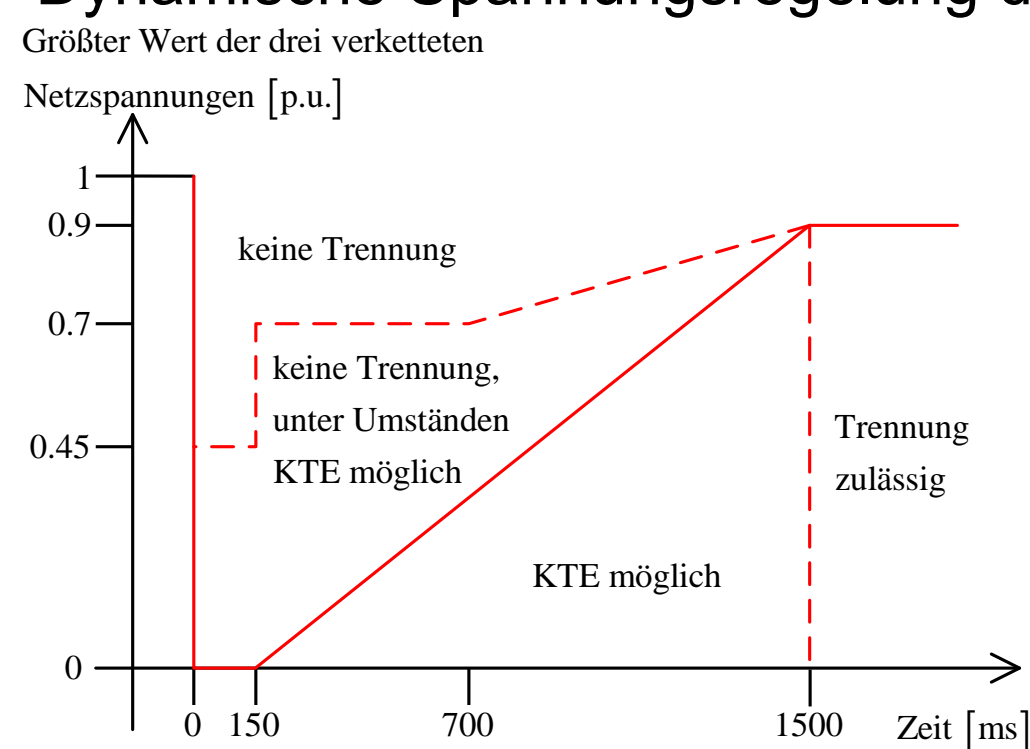
Tobias Neumann & István Erlich
Fachgebiet Elektrische Anlagen
und Netze
Universität Duisburg-Essen
tobias.neumann@uni-due.de

Motivation

- Schutzkonzept in elektrischen Energienetzen → Einspeiseverhalten von Erzeugungseinheiten während Netzfehlern (z.B. Kurzschlüssen) von großer Bedeutung
- Zunehmende Netzintegration Erneuerbarer Energien → Einspeiseverhalten von Windenergieanlagen während Netzfehlern wichtig
- Erzeugungsanlagen mit Vollumrichter unterdrücken zurzeit bei unsymmetrischen Fehlern den Gegensystemstrom vollständig → mögliche Auswirkung auf selektive Fehlererfassung
- Erzeugungsanlagen mit Vollumrichter bieten die Möglichkeit der dynamischen Gegensystemstromeinspeisung → Nutzung der entkoppelten Regelung von Mit- und Gegensystem

Dynamische Netzstützung

- Ziel: ungewollte Abschaltung von Erzeugungsleistung im Falle eines Netzfehlers vermeiden
→ Durchfahren von definierten Netzfehlern
- Ziel: Spannungsstützung des Netzes während eines Netzfehlers
→ Dynamische Spannungsregelung durch Einspeisung eines definierten Blindstroms



- Spannung-über-Zeit Darstellung zum Durchfahren von Netzfehlern für Erzeugungsanlagen aus Erneuerbaren Energien (Transmission Code 2007)
- Strom-über-Zeit Darstellung zur Blindstromeinspeisung während Netzfehler für Erzeugungsanlagen aus Erneuerbaren Energien (Systemdienstleistungsverordnung – SDLV Wind 2009)

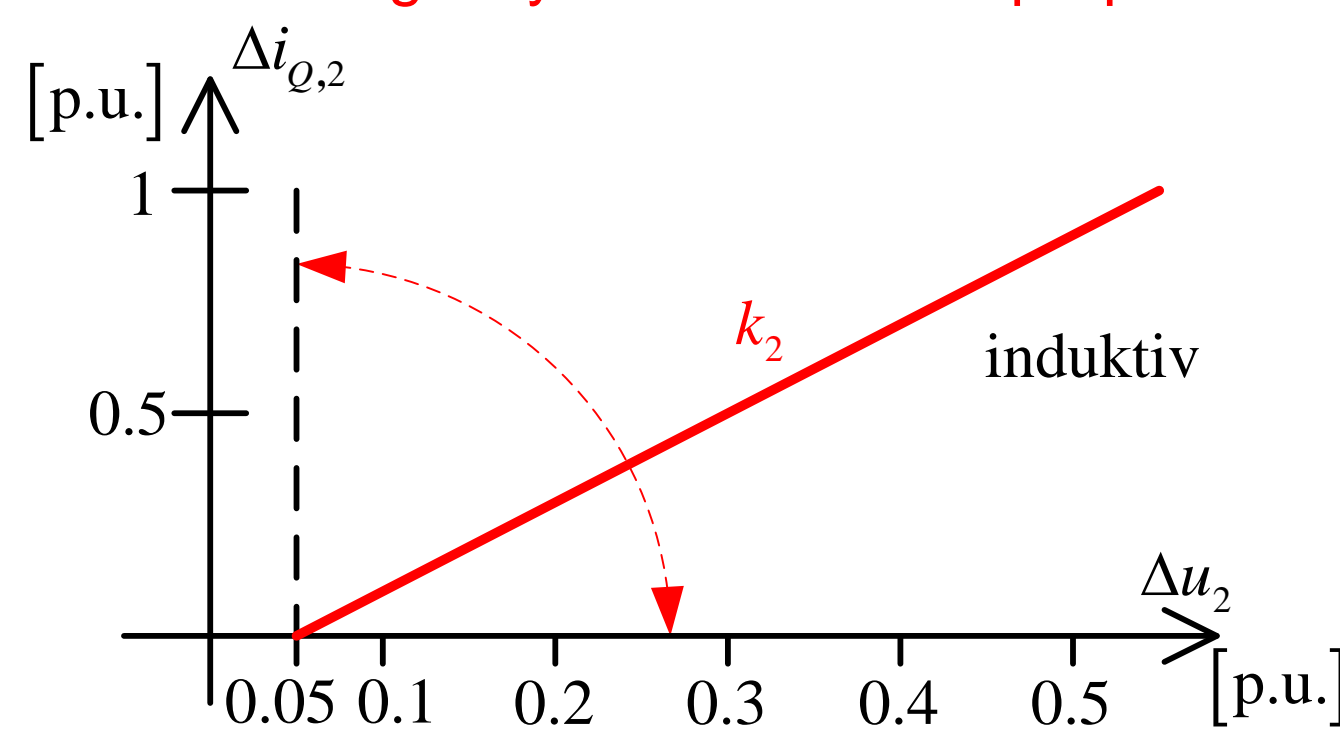
Bislang nur Spannungsstützung im Mitsystem gefordert

→ Mögliche Anforderungen an eine Gegensystemstromeinspeisung

$$\Delta i_{Q2} = k_2 \cdot \Delta u_2$$

wobei der Gegensystemstrom ein induktiver Gegensystemblindstrom proportional zu der Gegensystemspannung sein soll

voreingestellt:
 $k_2 = 2 \text{ p.u.}$
Einstellbereich:
 $k_2 = 0 - 10 \text{ p.u.}$



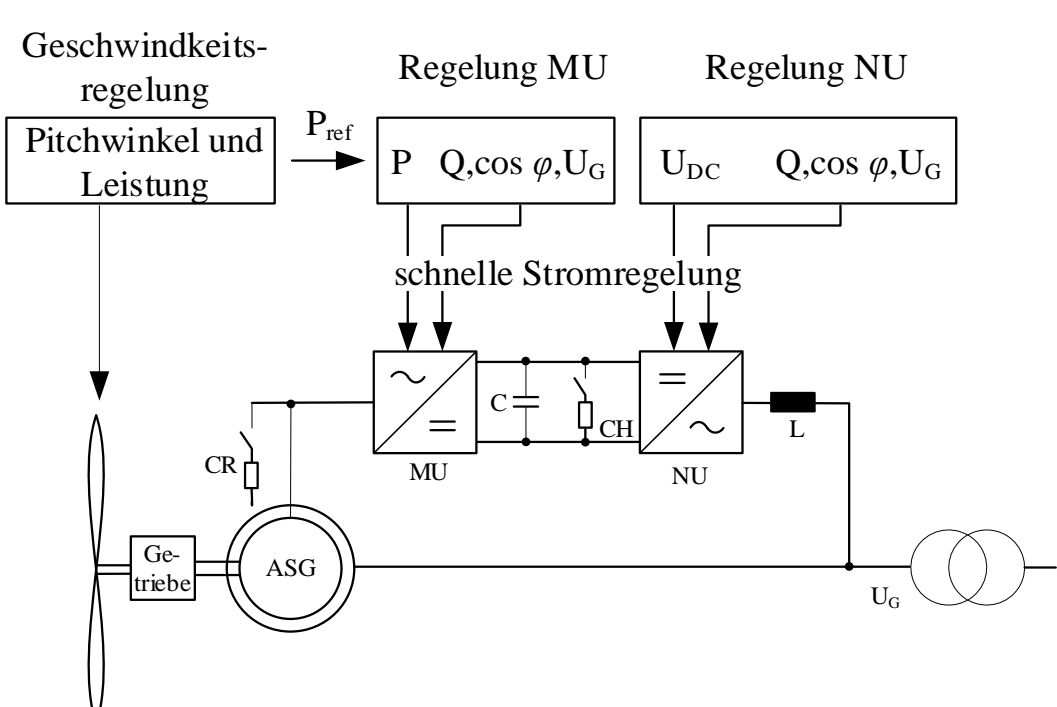
Einspeisung eines induktiven Gegensystems nur möglich und sinnvoll, wenn Gegensystemspannung einen gewissen Wert überschreitet (z.B. 5-10%) -> Totband

Unterscheidung:

- $u_2 < 5\%$ natürliche Unsymmetrie -> Ziel: Spannung soll symmetriert werden -> keine Vorgaben
- $u_2 > 5\%$ Kurzschluss -> Ziel: Gegensystemstromeinspeisung für den Schutz

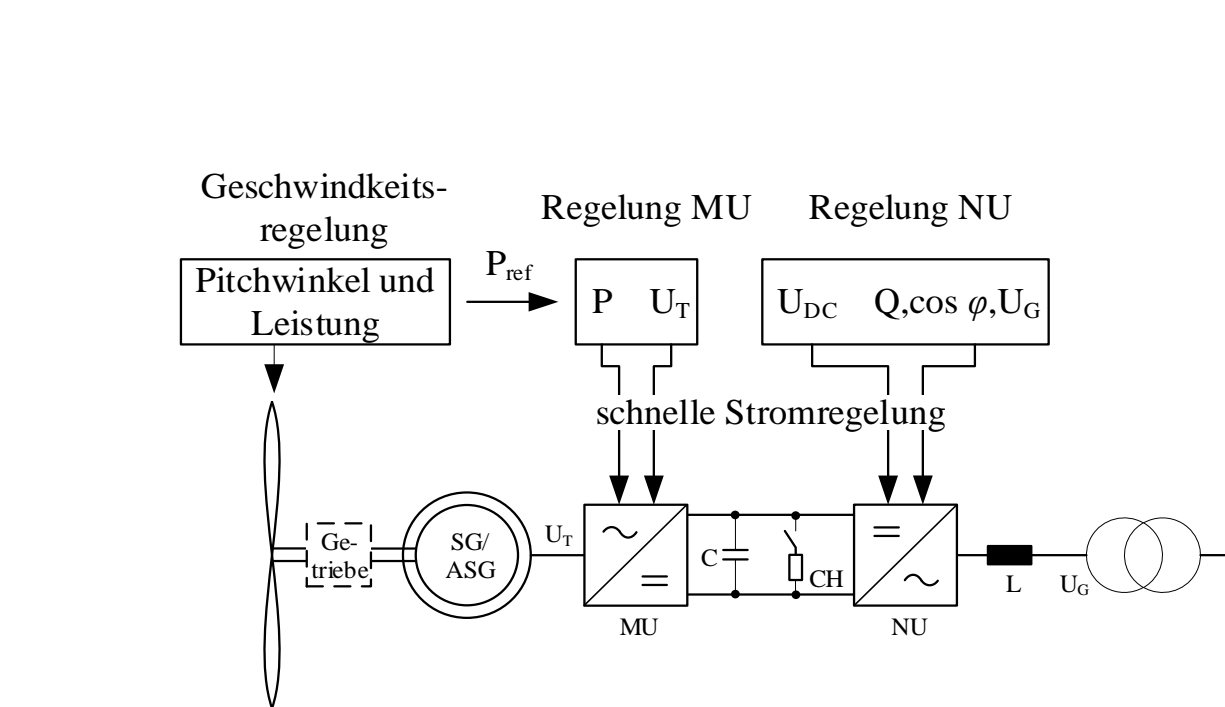
Dynamisches Verhalten von modernen Windenergieanlagen

- Die meisten Windenergieanlagen nutzen Umrichter
- Getrennte Regelung von Mit- und Gegensystemgrößen im Umrichter implementiert



Windenergieanlage mit doppelt gespeister Asynchronmaschine und Teilumrichter

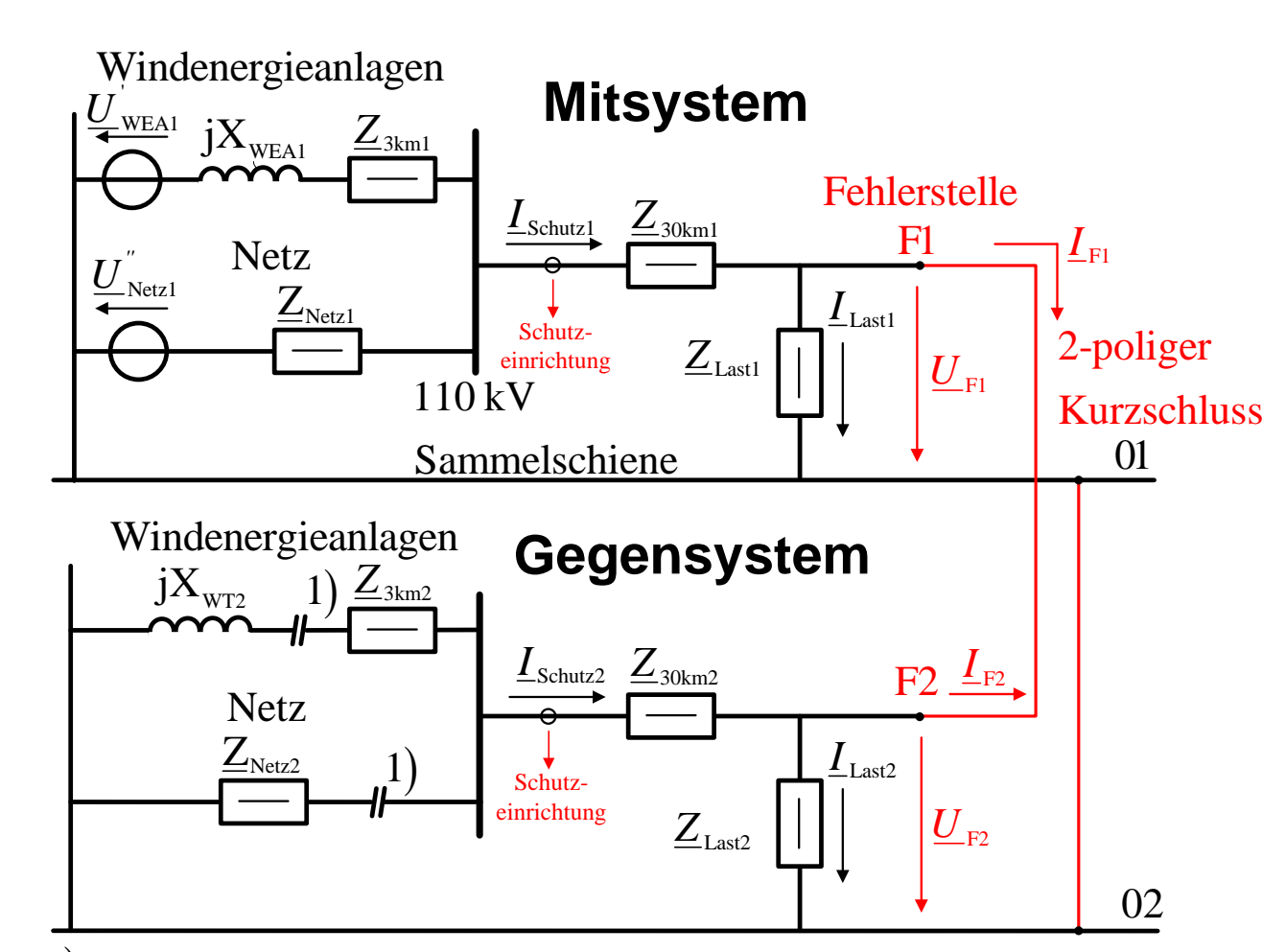
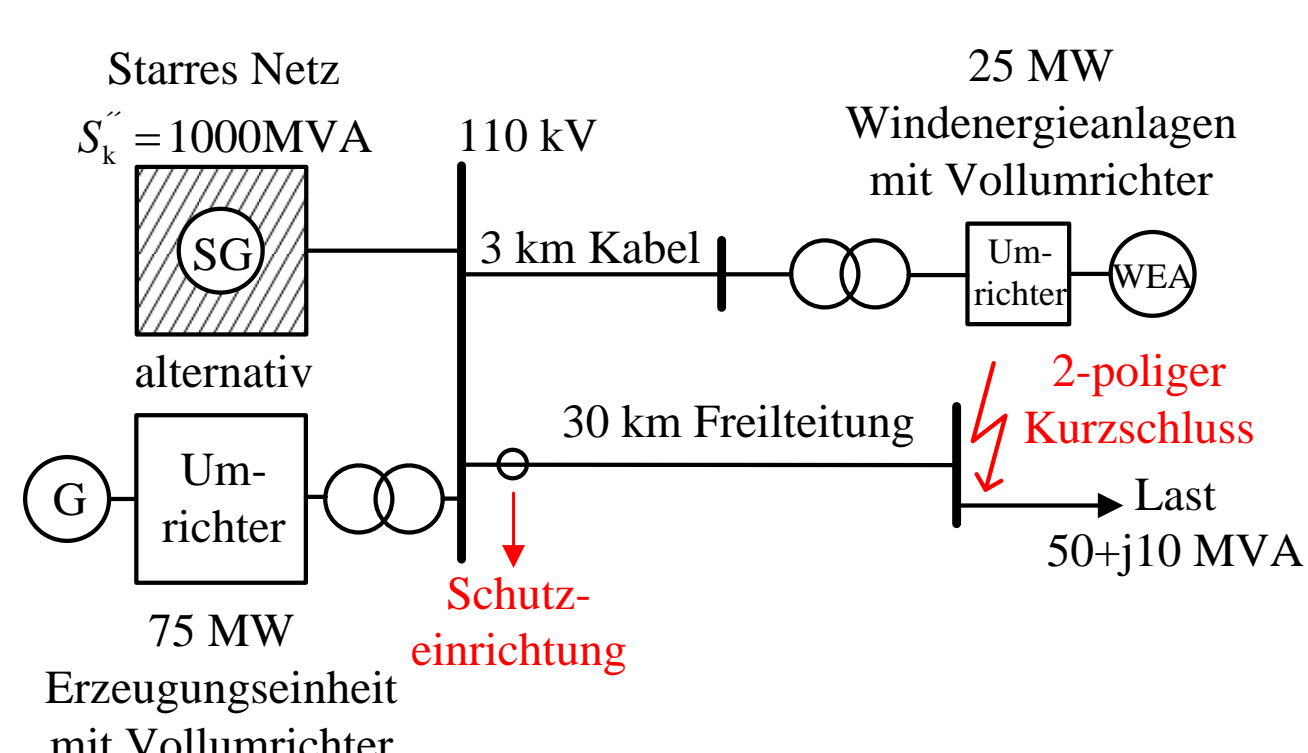
- Leistungsfluss hauptsächlich über den Stator (direkte Netzkoppelung), dadurch Einfluss des Generators auf den Kurzschlussstrom
- Generator speist Mit- und Gegensystemkurzschlussstrom, da beschränkte Regelungsmöglichkeit im Gegensystem bei Priorisierung auf das Mitsystem -> keine exakte Regelung des Gegensystemstroms möglich



Windenergieanlage mit Vollumrichter

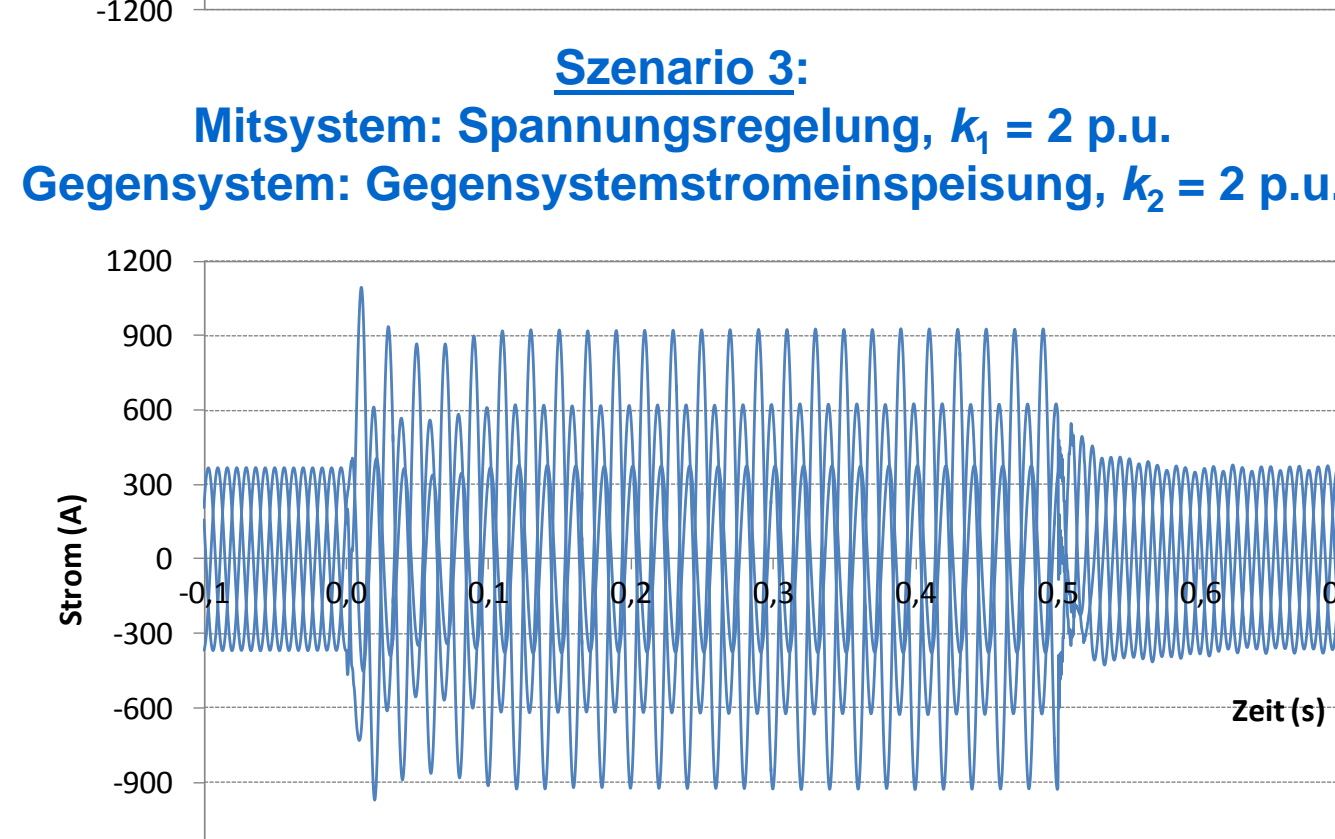
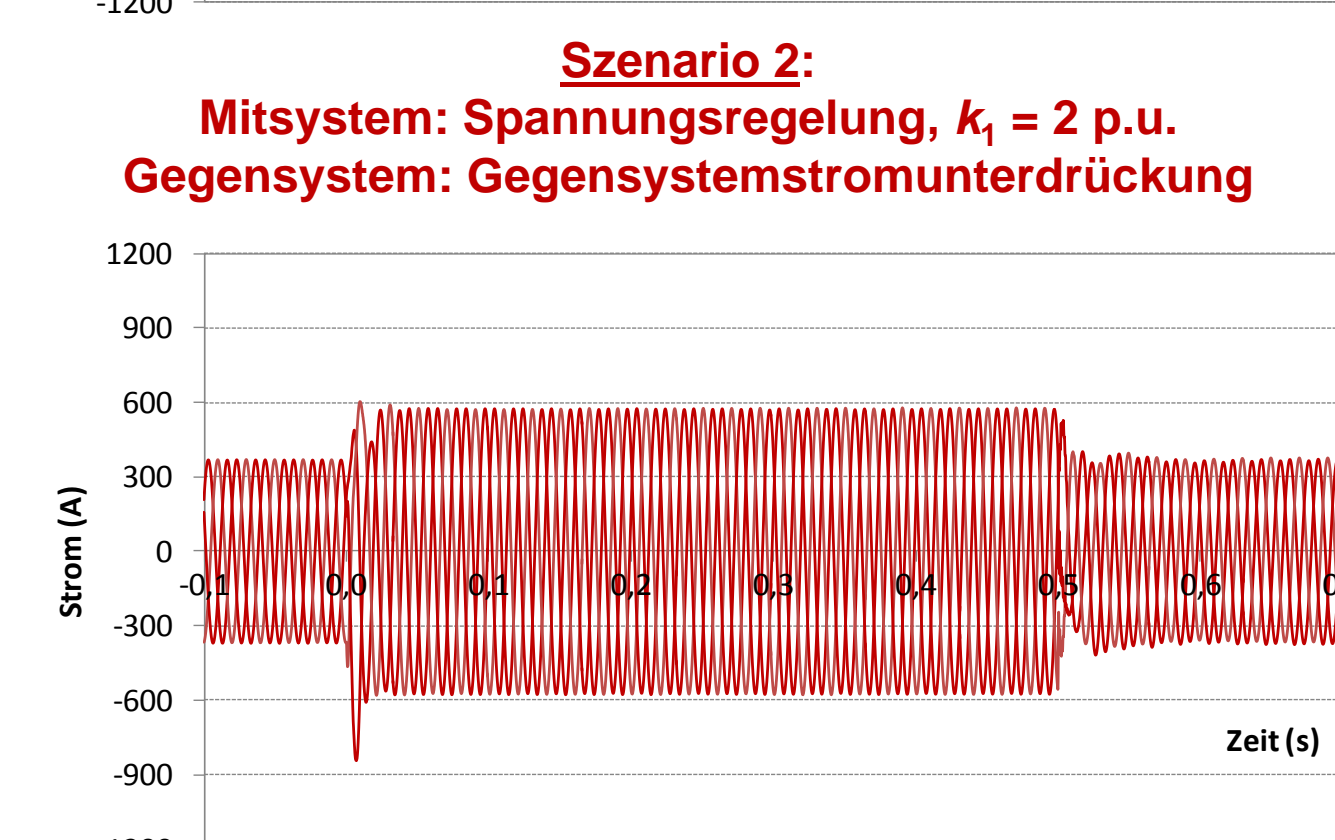
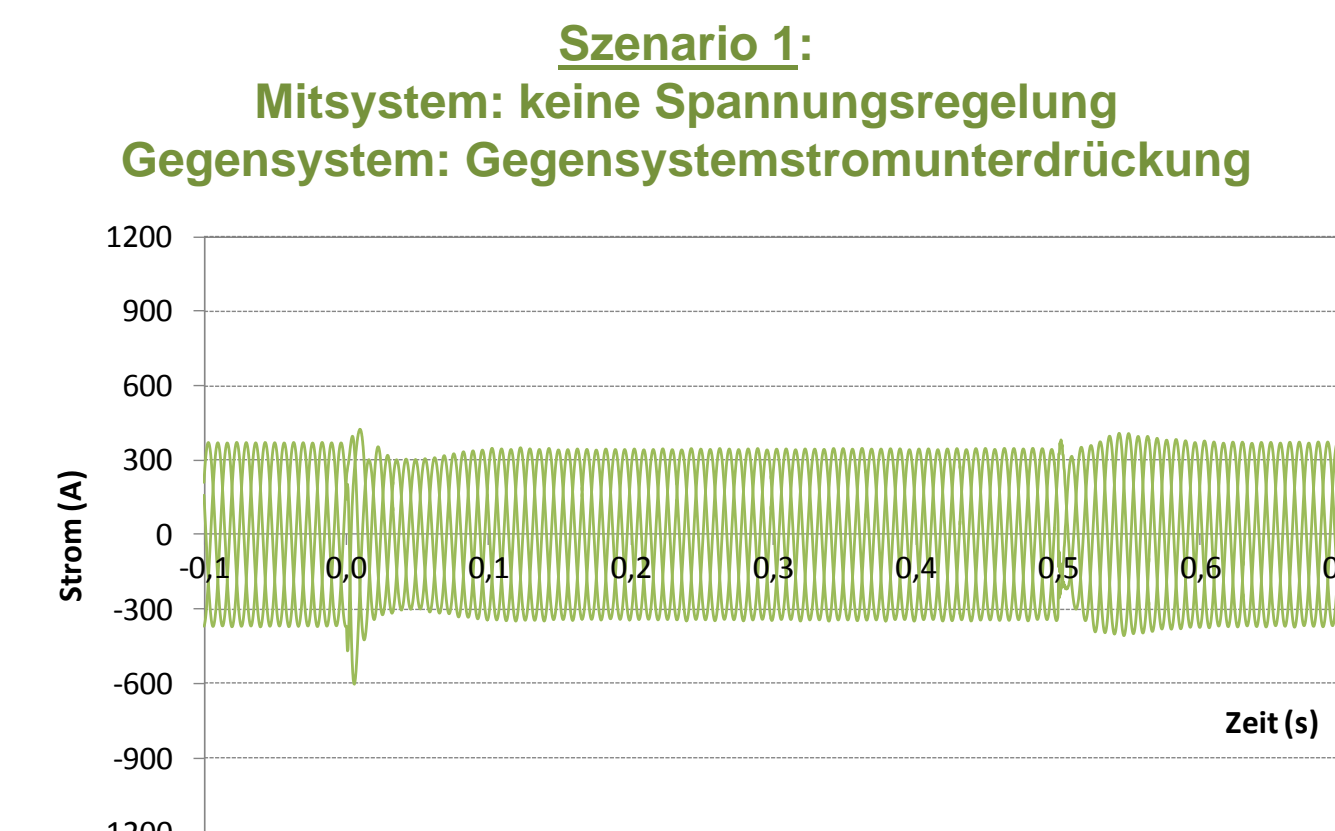
- Gesamter Leistungsfluss über den Umrichter
- Volle Regelungsmöglichkeit im Mit- und Gegensystem
- Generator ist vom Netz durch den Umrichter entkoppelt, dadurch kein Einfluss auf den Kurzschlussstrom
- Zwischenkreisbremswiderstand setzt bei Kurzschlüssen Energie des Generators in Wärme um

Testnetz & Ersatzschaltbild

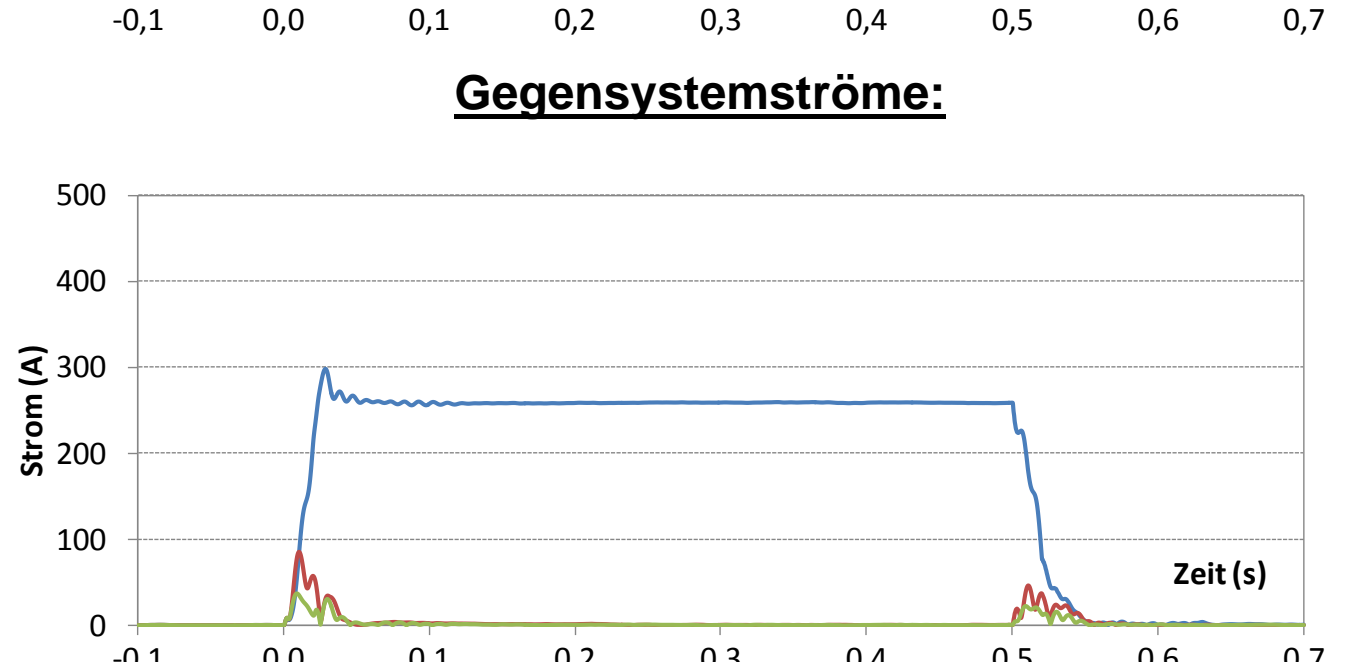
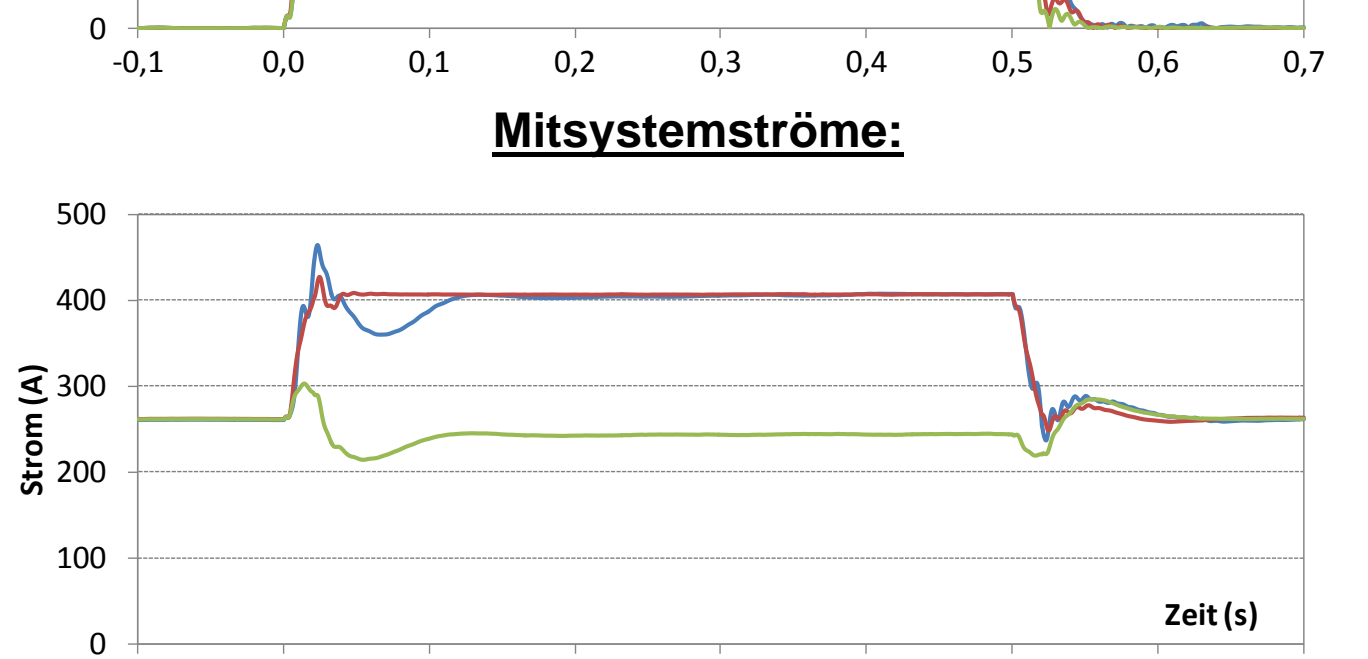
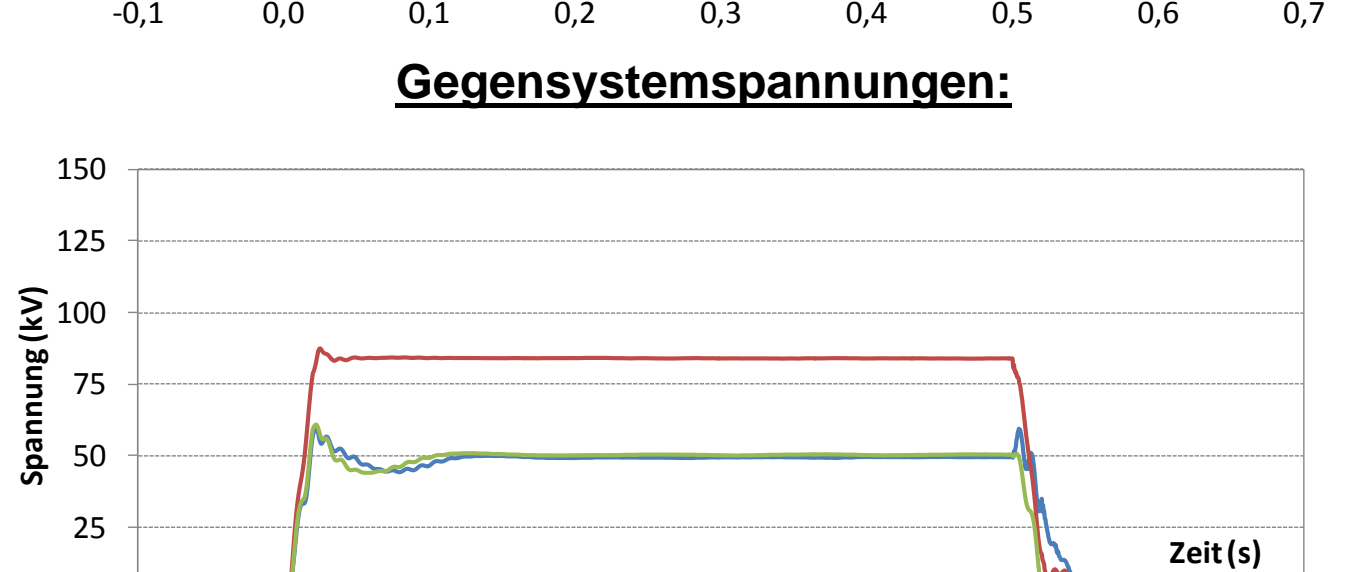
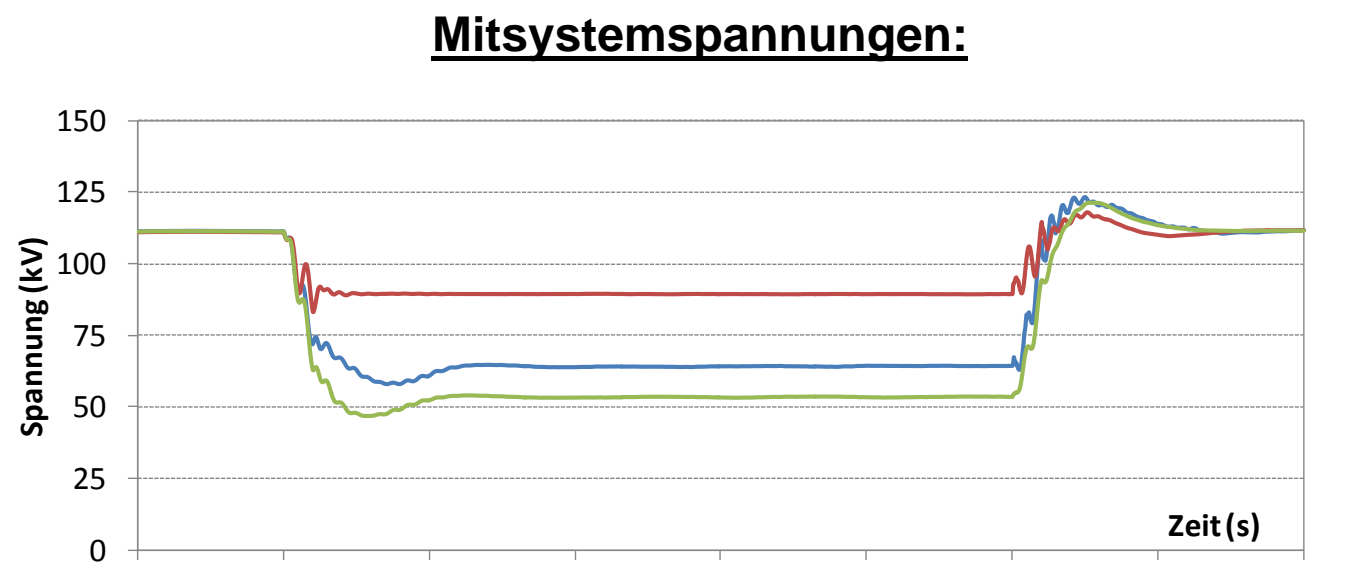


Simulationsuntersuchungen

Kurzschlussströme

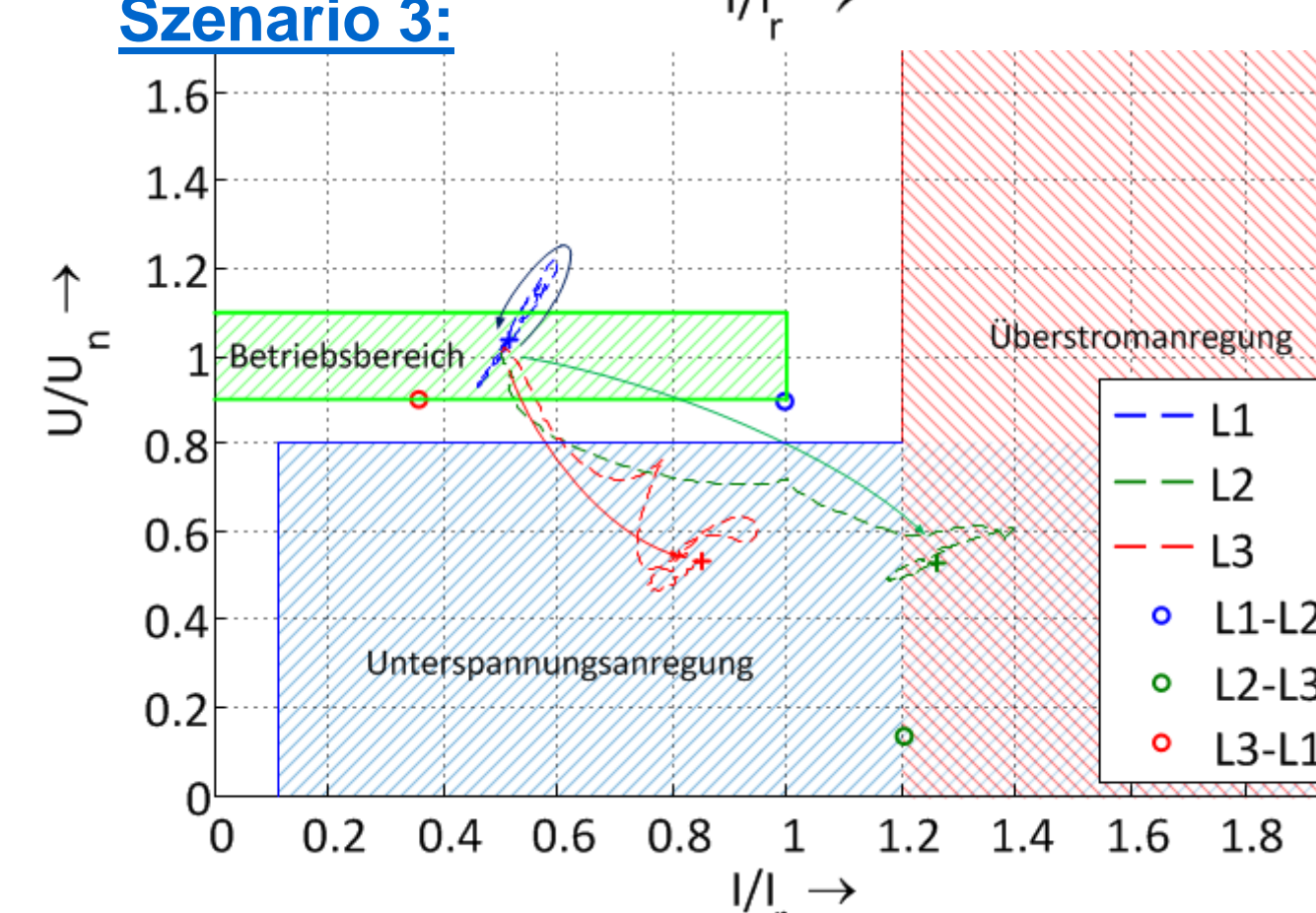
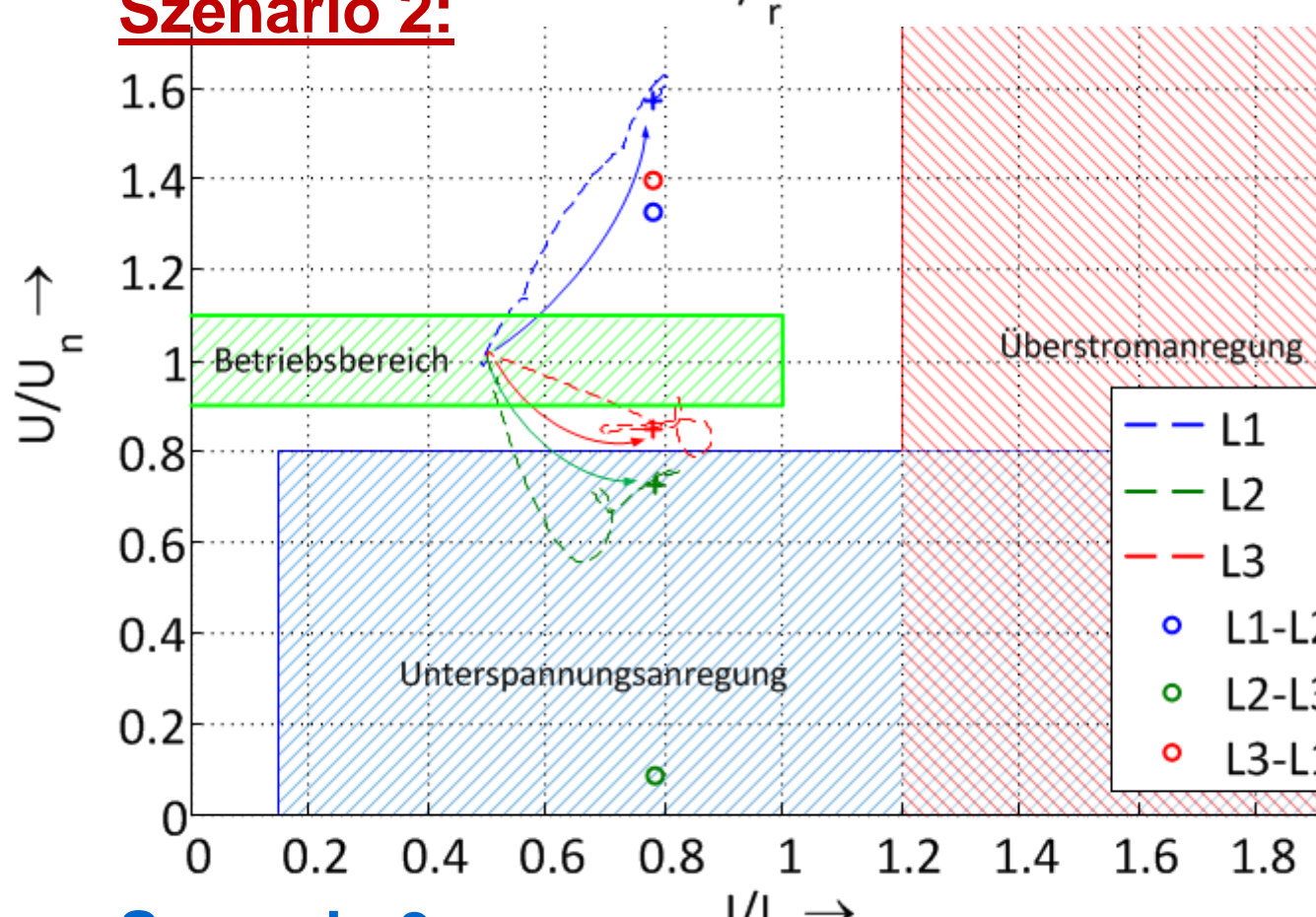
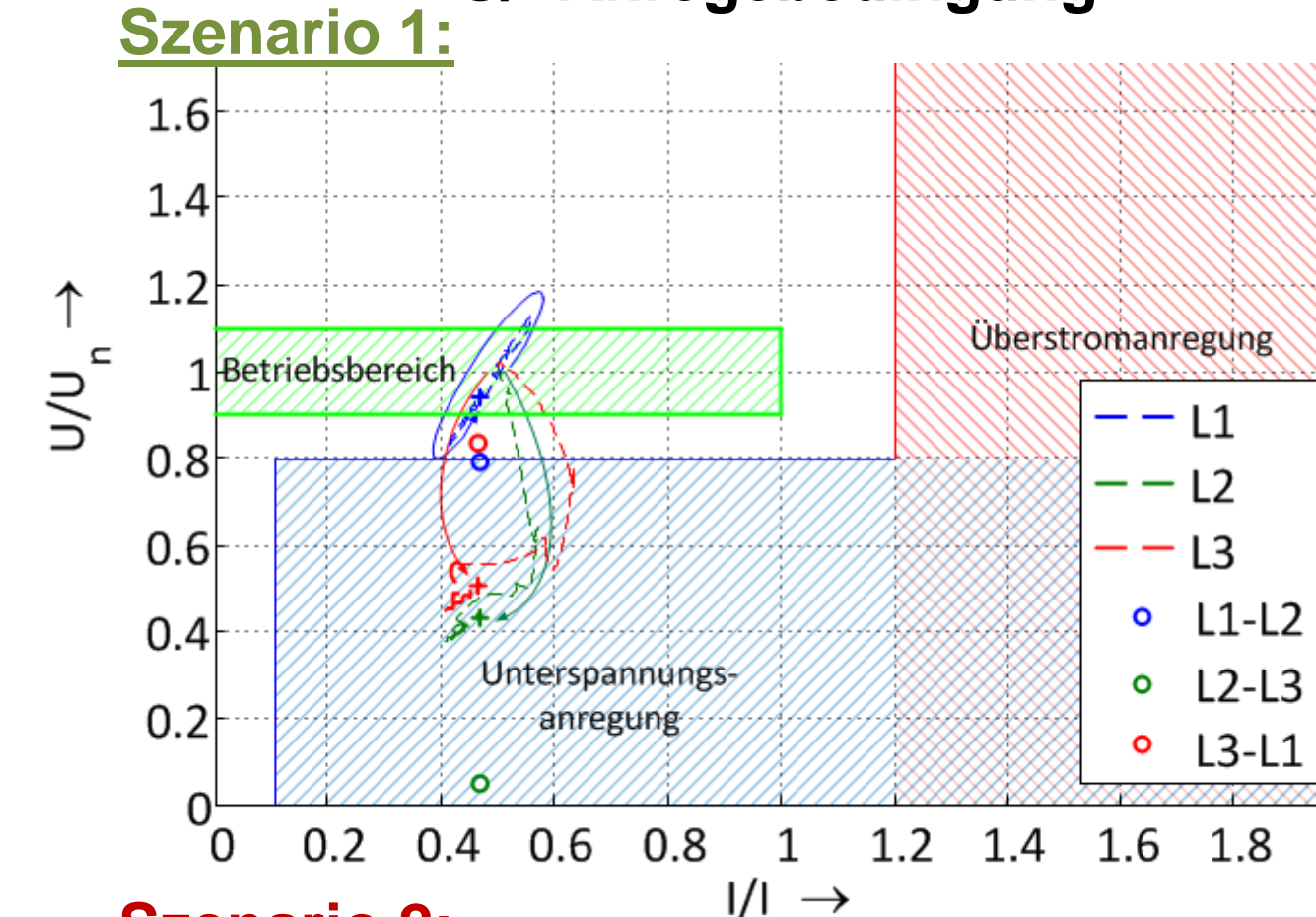


Spannungen und Ströme am Schutzsystem in Symmetrischen Komponenten

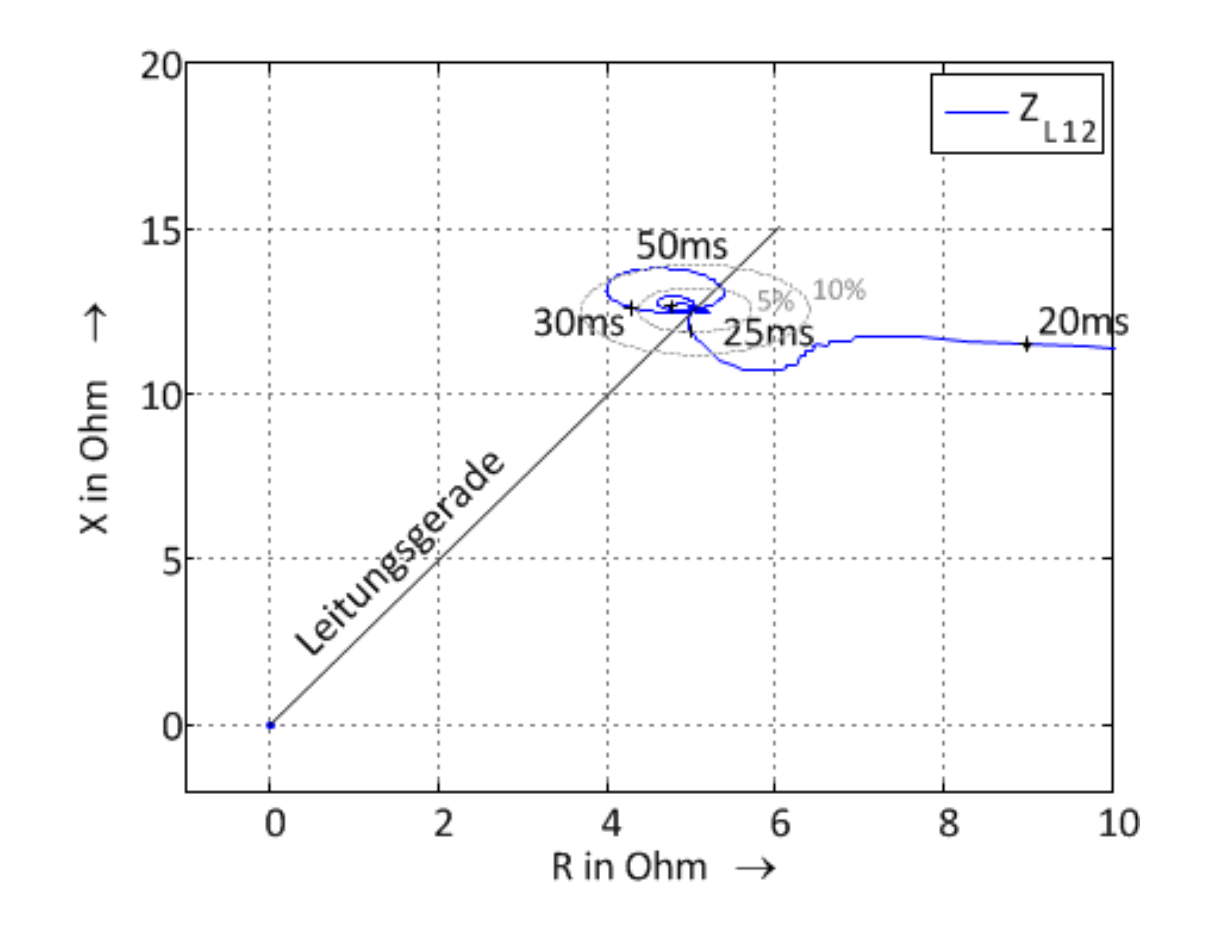
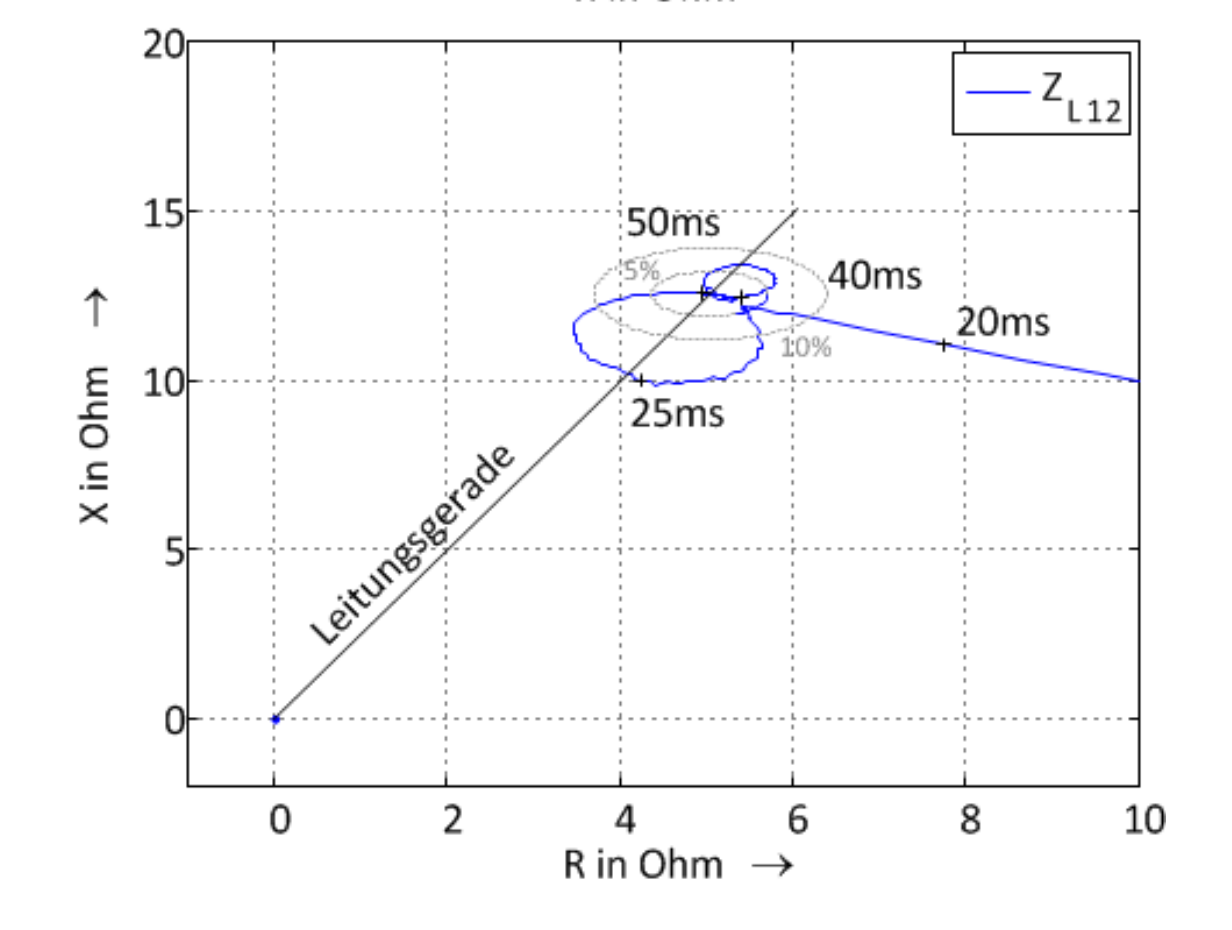
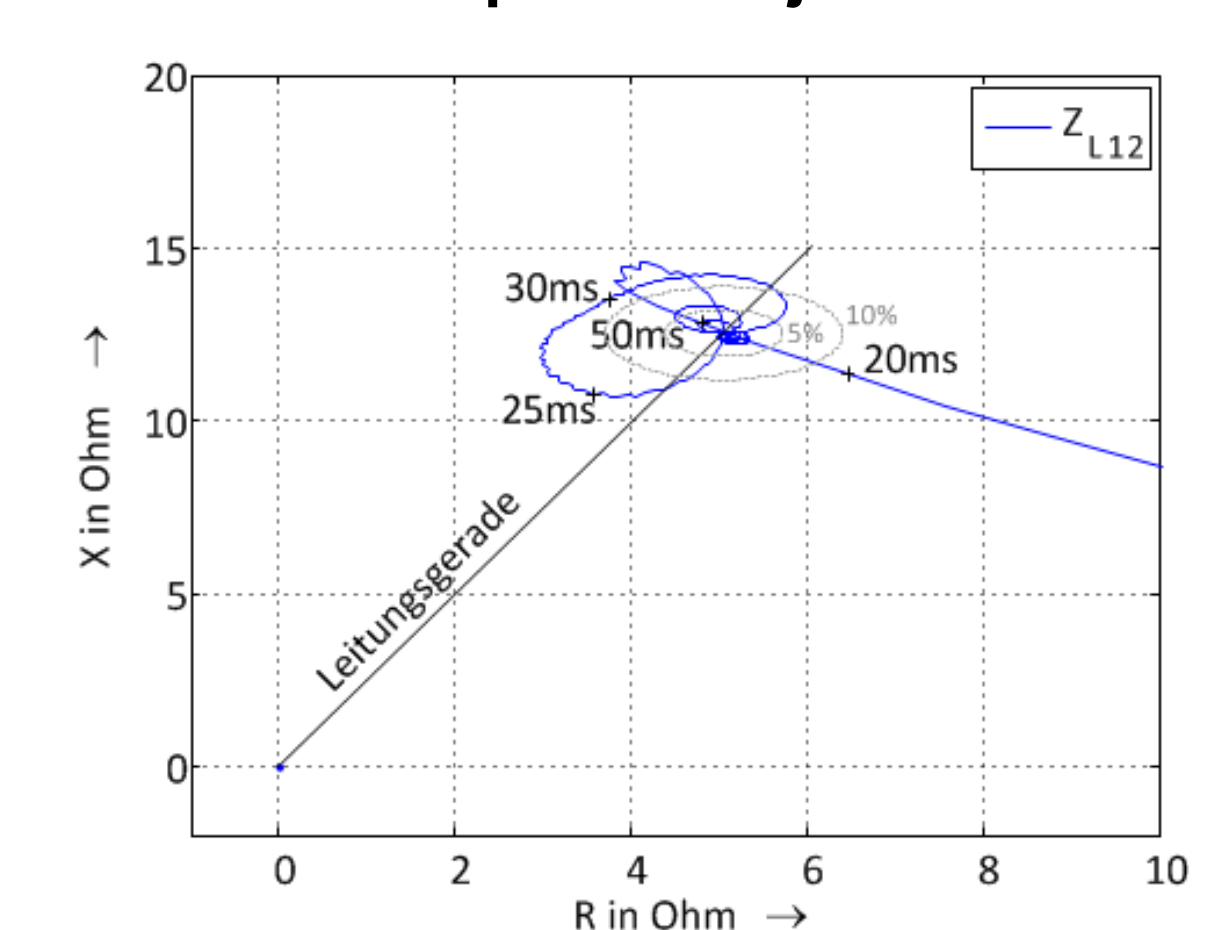


Auswirkungen auf den Schutz

U/I-Anregebedingung



Impedanztrajektorie



Schlussfolgerungen

Windenergieanlagen mit Vollumrichter ->

- Einprägung eines induktiven Gegensystemstroms führt zu höheren Fehlerströmen und trägt zur Symmetrierung der Spannungen bei
- Speisung eines Gegensystemstromes schränkt die Möglichkeiten der Spannungsregelung im Mitsystem ein
- Bei reiner Mitsystemspannungsregelung -> Spannungsanhebung auch in der gesunden Phase

Varianten der dyn. Spannungsregelung haben folgende Auswirkungen auf den Schutz:

- Überstromkriterium:** nicht einsetzbar
- Spannungsstützung:** $Sz1 < Sz2 < Sz3$
- Unterspannungskriterium:** einsetzbar mit Auswertung der verketteten Spannung
- Spannungsanhebung nicht fehlerbetroffenen Phase:** $Sz1, Sz3 < Sz2$
- Impedanzberechnung:** richtige Ergebnisse, aber längere Berechnungsdauer durch transientes Umrichterverhalten
- Kurzschlussstrombeitrag:** $Sz1 < Sz2 < Sz3$