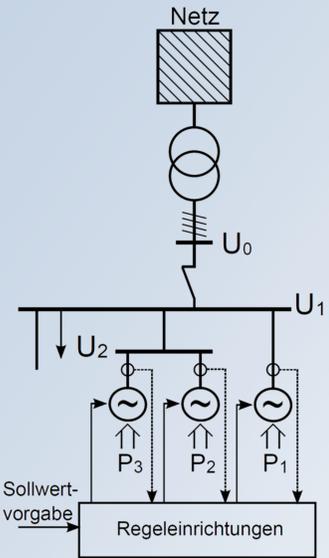


► Forschungsfragen und Kontext



- Forschungsaspekte
 - Welche Regel-/Anlagenkonzepte sind geeignet, um zukünftig einen stabilen Netzbetrieb zu garantieren?
 - Inwieweit sind Microgrids in der Lage, Systemdienstleistungen zu erbringen?
 - Wie lassen sich in einem Microgrid gezielt Systemzustände herstellen?

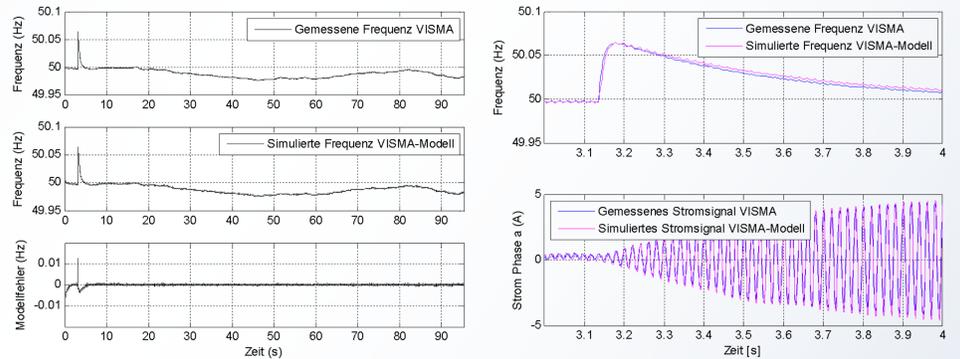
- Zwischenstand zum Erreichen der Forschungsziele
 - Die Modelle der Einzelkomponenten eines Netzes konnten in eine Beschreibung überführt werden, die für den Entwurf von Regelungsstrukturen für das Microgrid geeignet ist
 - Es ist eine Simulationsumgebung erstellt worden, die gezielte Parameterstudien von größeren Elektroenergiesystemen ermöglicht
 - Eine geeignete Methodik zur Optimierung von Anlagenparametern ist erprobt worden

► Dynamisches Gesamtmodell

- Methodik
 - Einheitliche, energiebasierte Modellierung (Port-Hamilton, PH) von Komponenten und Netz

$$\dot{x} = (J(x) - R(x)) \frac{\partial H}{\partial x}(x) + g_C(x)u_C + g_E(x)u_E + g_I(x)u_I,$$

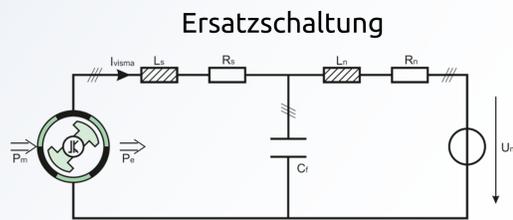
$$y_C = g_C^T(x) \frac{\partial H}{\partial x}(x), y_E = g_E^T(x) \frac{\partial H}{\partial x}(x), y_I = g_I^T(x) \frac{\partial H}{\partial x}(x)$$
 - Verbindung von PH-Systemen ergibt PH-System
 - Stabilitätsuntersuchung über Energiefunktion $H(x)$
- Ergebnisse
 - PH-Modelle von VISMA, Umrichtern, Lasten, Netzstrukturen
 - Validierung des VISMA-Modells gegen Messungen



- Ausblick und offene Fragen
 - Aufstellen des Gesamtmodells
 - Gekoppelte Oszillatoren bei Spezialfall VISMA

► Stabilitätsuntersuchungen

- Beispiel für Parameterstudien
 - Untersuchung der Stabilität einer VISMA am Netz

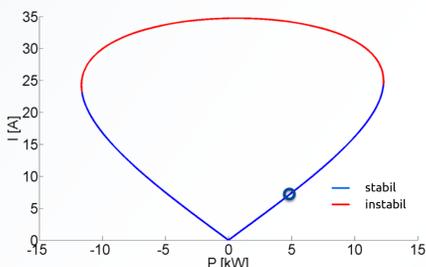


Differentialgleichung der VISMA

$$\begin{aligned} \dot{\theta} &= \omega \\ \dot{\omega} &= \frac{1}{J} \cdot \left(\frac{P_m - P_e}{\omega + \omega_N} - M_D \right) \\ \dot{M}_D &= \frac{1}{T_D} \cdot (\dot{\omega} \cdot k_D - M_D) \end{aligned}$$

- Analyse der Ruhelagen

Abhängigkeit des Stromes von der Einspeiseleistung

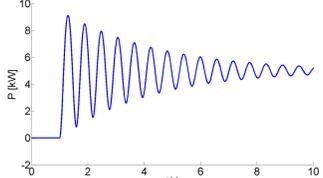


Bewertung der Eigenwerte
Blauer Verlauf: Negativer Realteil
Roter Verlauf: Positiver Realteil

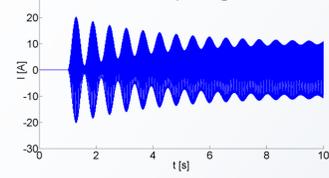
Beispielwerte bei 5 kW
Strom = 7,38 A

Eigenwert:
 $\sigma = -0,24 \text{ 1/s}$
 $f = 1,71 \text{ Hz}$

Sprungantwort der Einspeiseleistungen bei 5 kW Lastsprung



Sprungantwort der Ströme bei 5 kW Lastsprung



Ruhelagenanalyse ergab:

Endwert: $P = 5 \text{ kW}$ $I = 7,38 \text{ A}$ (10,44 A Spitze)

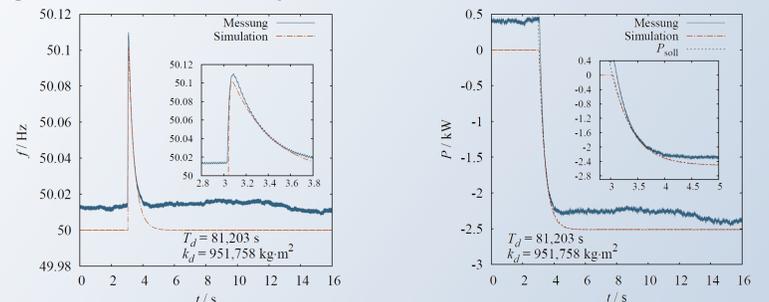
Analysen der beiden Zeitreihen bestätigen das Ergebnis

► Optimierung

- Methodik
 - Zu optimierende Parameter einer VISMA: T_d und k_d
 - Szenario: Sprung des mechanischen Moments nach Einschwingphase (Zeit t_0)
 - Gütefunktional ($\rightarrow \text{Min}$): $E = \int_{t_0}^{t_0+T} \lambda(t) \cdot \|\bar{P} - P_{\text{Soll}}\|_2^2 dt$ mit
 - $\bar{P}(t) = \text{Wirkleistung}$
 - $P_{\text{Soll}}(t) = \text{gewünschtem (exponentiellen) Zeitverlauf von } \bar{P}(t)$
 - $\lambda(t) = \begin{cases} 1, & t \leq (T/2 + t_0) \\ 2, & t > (T/2 + t_0) \end{cases}$

- Ergebnisse (Minimum des Gütefunktional)

- Vergleich zwischen Experiment und Simulation:



- Ausblick

- Verbesserung des Gütefunktional
- Optimierung mehrerer Komponenten des Microgrids und des kompletten Microgrids
- Dazu: Verwendung komplexer Optimierungsverfahren aus der statistischen Physik