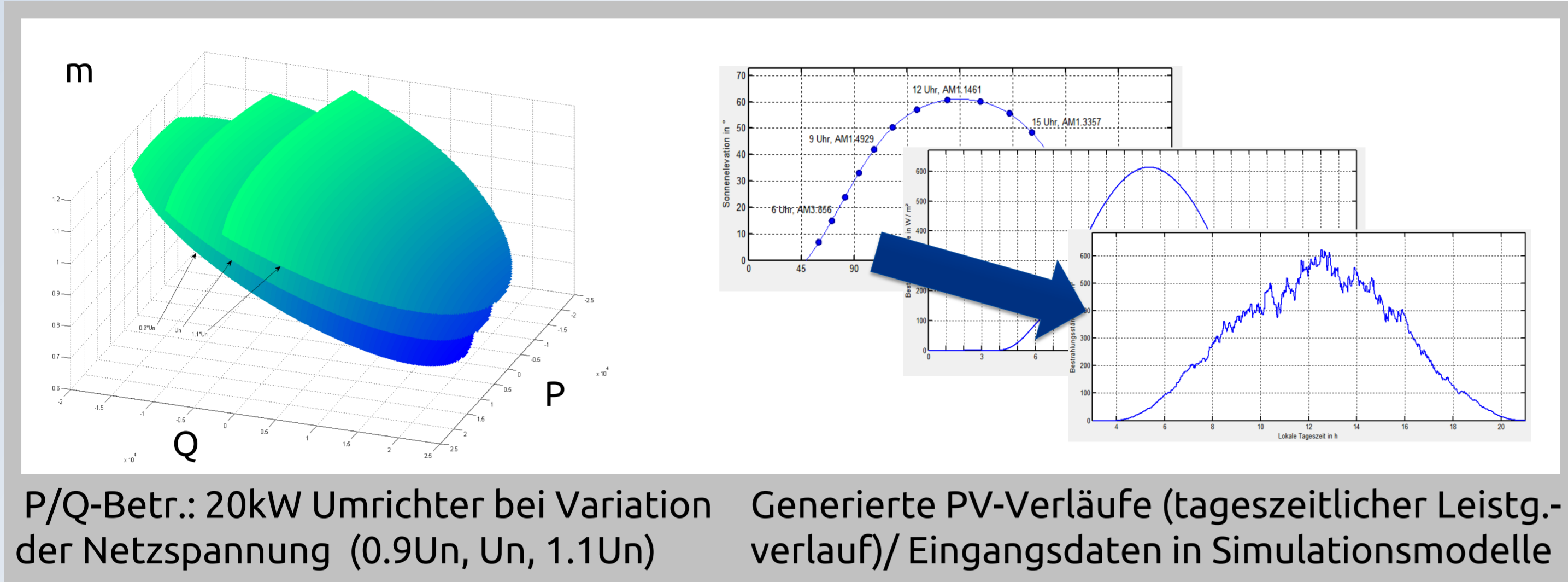


## ► Forschungsfrage und Kontext

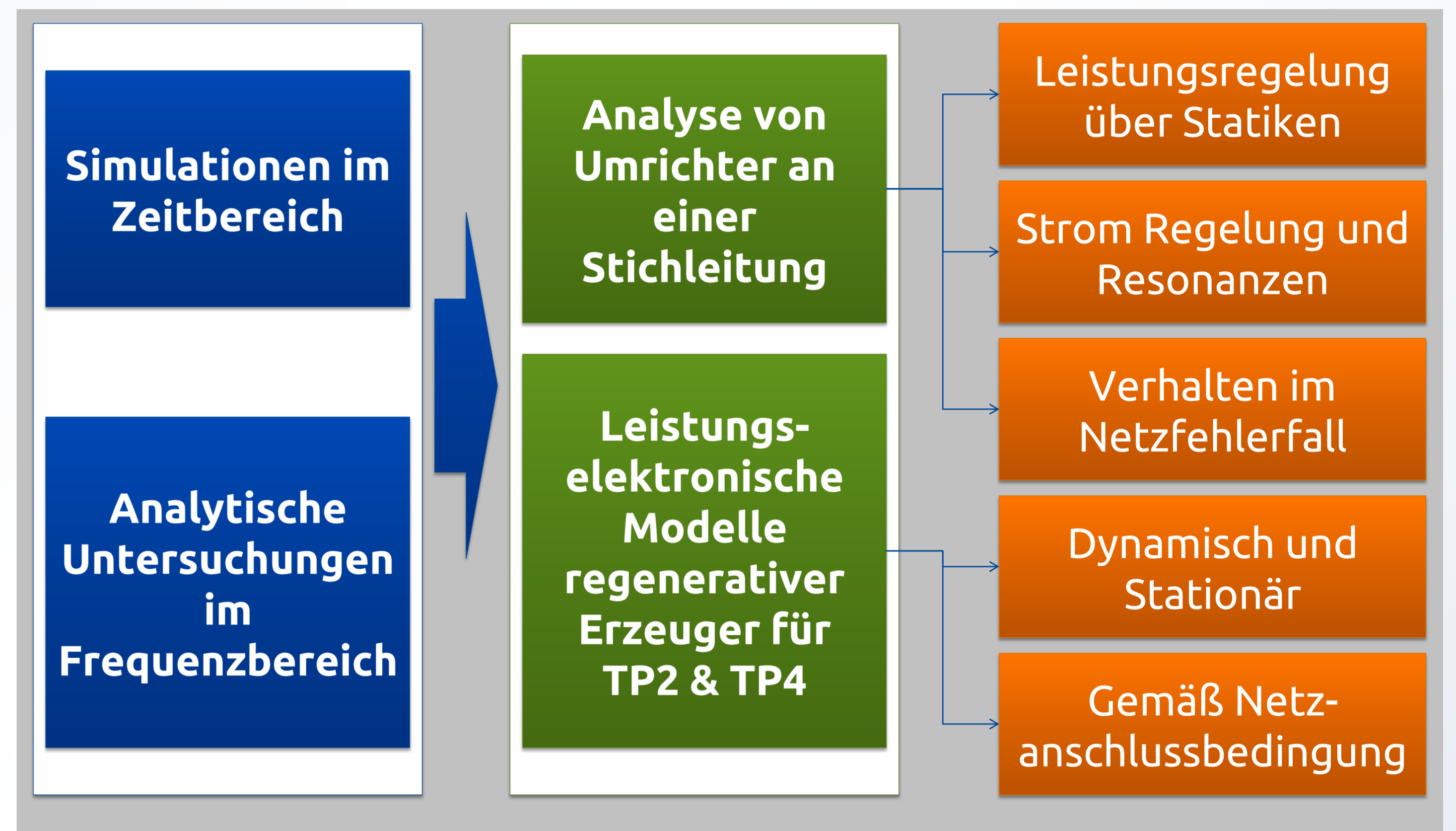
### Erweiterung der konventionellen Umrichterregelung zur Erreichung eines optimierten Gesamtverhaltens

- Untersuchung von Ausgleichsvorgängen in Stickleitungen
  - Frequenz-/Spannungsreaktion auf Lastabwurf
  - Leistungsschwankungen innerhalb des Teilnetzes
- Anlagenmodellerstellung dezentraler Erzeuger
  - Statisches Modell (P-Q-Diagramme)
  - Dynamische Modelle
    - Erzeuger: Solar, Windenergie
    - NS: 30 kW Umrichter stromgeregelt, direkt leistungsgeregelt, invers leistungsgeregelt
    - MS: 500 kW, 2 MW, 5 MW Stromgeregelt



## ► Methodik

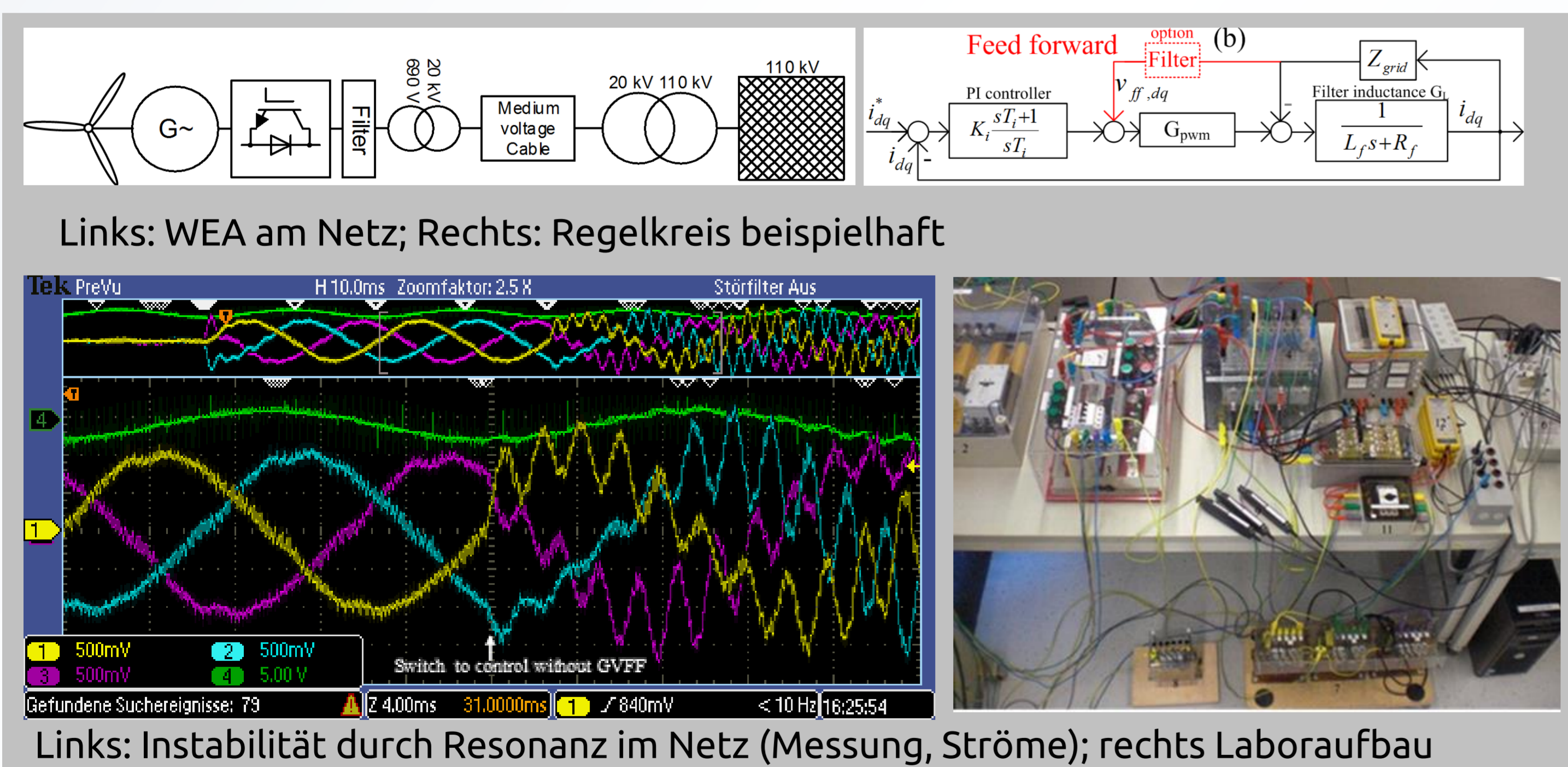
- Analytische Untersuchungen an reduzierten Modellen
  - ermöglicht Robustheitsanalyse von Strom- und Leistungsreglern
  - erste Aussagen zum dynamischen Verhalten möglich
- Validierung über Simulationen im Zeitbereich mit Modellen unterschiedlicher Modellierungstiefe
  - Wechselrichter als schaltendes Modell
  - Wechselrichter als Sinus-spannungsquelle
- Experimentelle Validierung an Wechselrichtern kleiner Leistung (im Rahmen der auf das Projekt folgenden Promotionen)



## ► Ergebnisse

### Entwurf und Untersuchung der Dynamik der Stromregelung

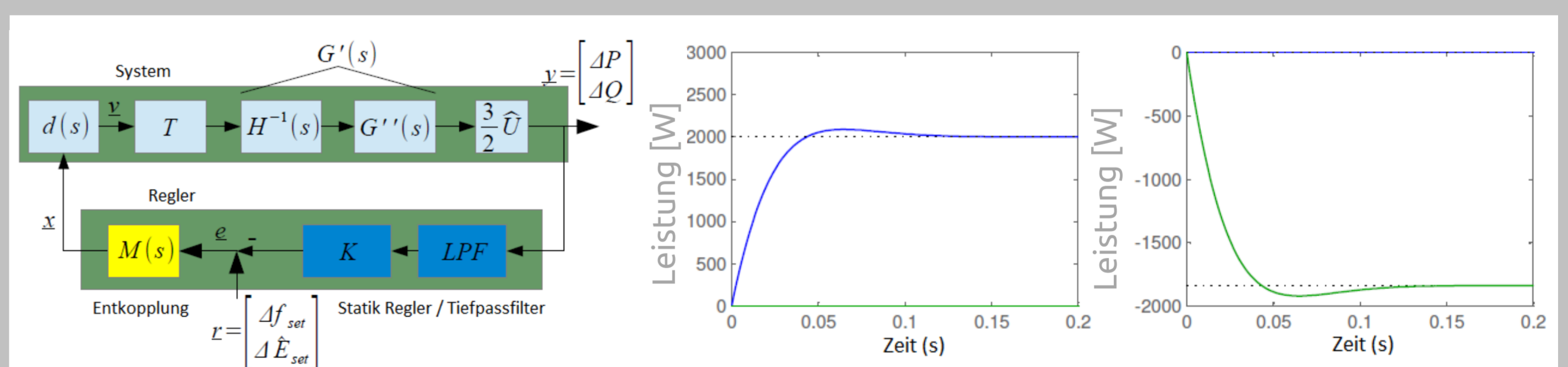
- Design einer konventionellen Netzstromregelung inkl. Netzsynchrisation; u.a. als unterlagerte Regelung für die Leistungsregelung
- Analyse des Einflusses von Resonanzen im Netz
  - Analyse für Regelung mit und ohne Netzspannungsvorsteuerung
  - Theoretische Analyse des Einflusses von Resonanzen auf die Stromregelung inkl. Netzsynchrisation
  - Validierung mittels Simulation und Messung



### Optimierung der Leistungsregelung/ umrichterinternen Primärregelung

- Erweiterung der klassischen Leistungsregelung
  - Umrichterregelung mit Statiken liefert ein nicht entkoppeltes Gesamtsystem (Wirk- und Blindleistung nicht einzeln regelbar)
  - Über geeignete Entkopplung ist Einschwingverhalten beeinflussbar
  - Aufteilung von  $S_{sys}(s)$  in Teilsysteme ( $d(s)$ ,  $T$ ,  $H(s)$ ,  $G''(s)$  und  $\hat{U}$ )
  - Wahl von  $M(s)$  entsprechend der Struktur der Teilsysteme

Blockschaltbild und Sprungantwort der klassischen Leistungsregelung



Blockschaltbild und Sprungantwort der entkoppelten Leistungsregelung

- Optimiertes Systemverhalten
  - Entkoppeltes Einschwingverhalten
- Statische Analyse von Netzspannungsunsymmetrien- Erarbeitung von Grenzarbeitspunkten
- Simulation der Interaktion von Leistungsregelung bzw. Lastaufteilung mehrerer Wechselrichter am Smart Nord Typ-Netz
  - Sensitivitätsanalyse der Statikparameter

## ► Ausblick

- Erarbeitete Ansätze werden im IAL Labor im Rahmen von zwei Promotionen experimentell validiert und noch weiter entwickelt
- Notwendig: Hochfrequente Modellierung von Netzkomponenten; z. B. Skineneffekt
- Analyse der Entkopplung bei mehreren Wechselrichtern
- Einbindung der Identifikation der Netzimpedanz in die entkoppelte Leistungsregelung