

Flexibilisierung des Betriebs kombinierter Gas- und Dampfkraftwerke durch eine moderne, modellbasierte Steuerung - Voraussetzung für Klimaschutz und erneuerbare Energien

Dipl.-Ing. Lutz Hanel

Hintergrund

Einführung

Das Ziel:

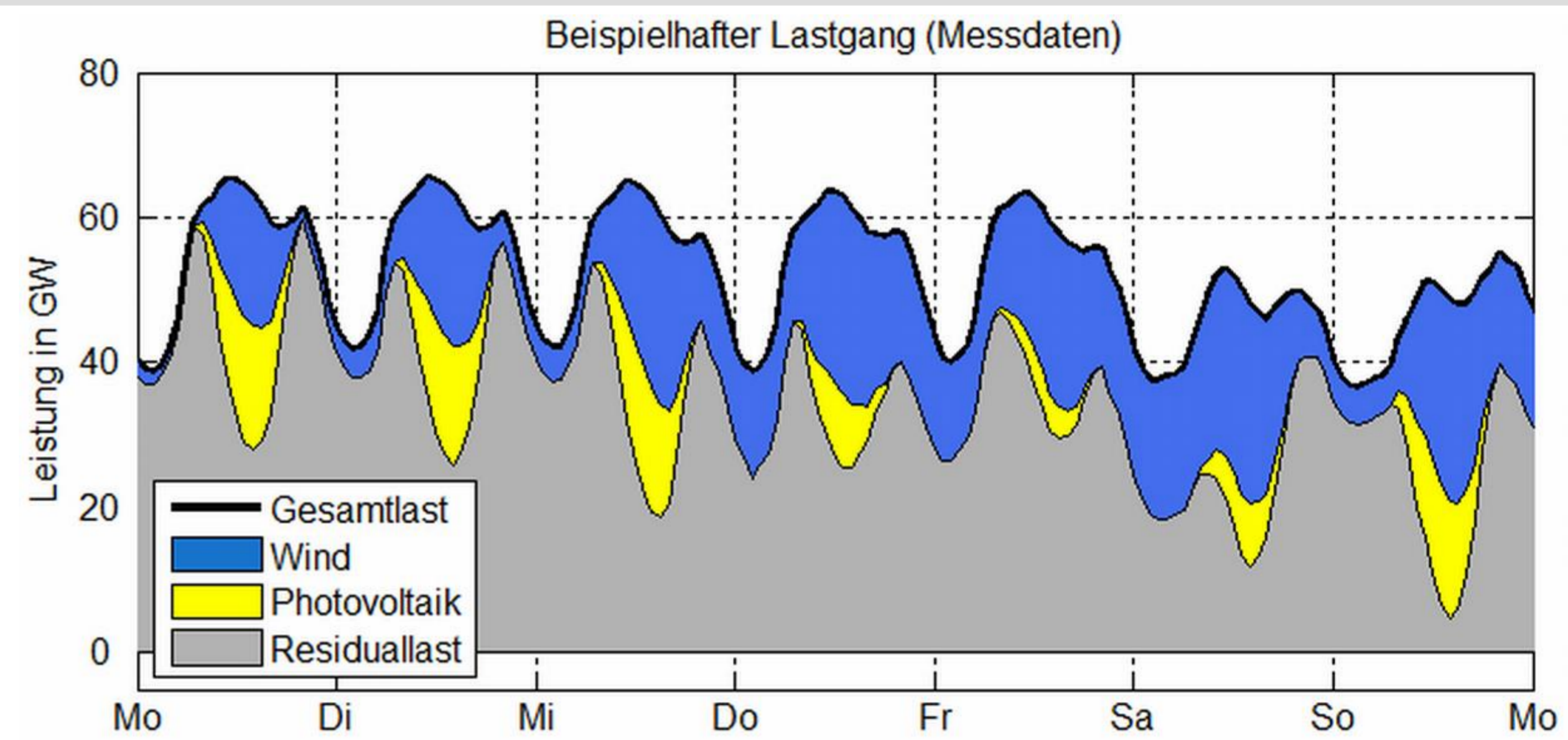
- Reduzierung der CO₂-Emissionen
- Weiterer Ausbau der erneuerbaren Energien
- Stabiler Betrieb der Stromnetze

Die Ausgangssituation:

- Schwankungen der Residuallast nehmen zu
- Residuallastgradienten werden steiler
- Anteil konventioneller Kraftwerke sinkt

Der Weg:

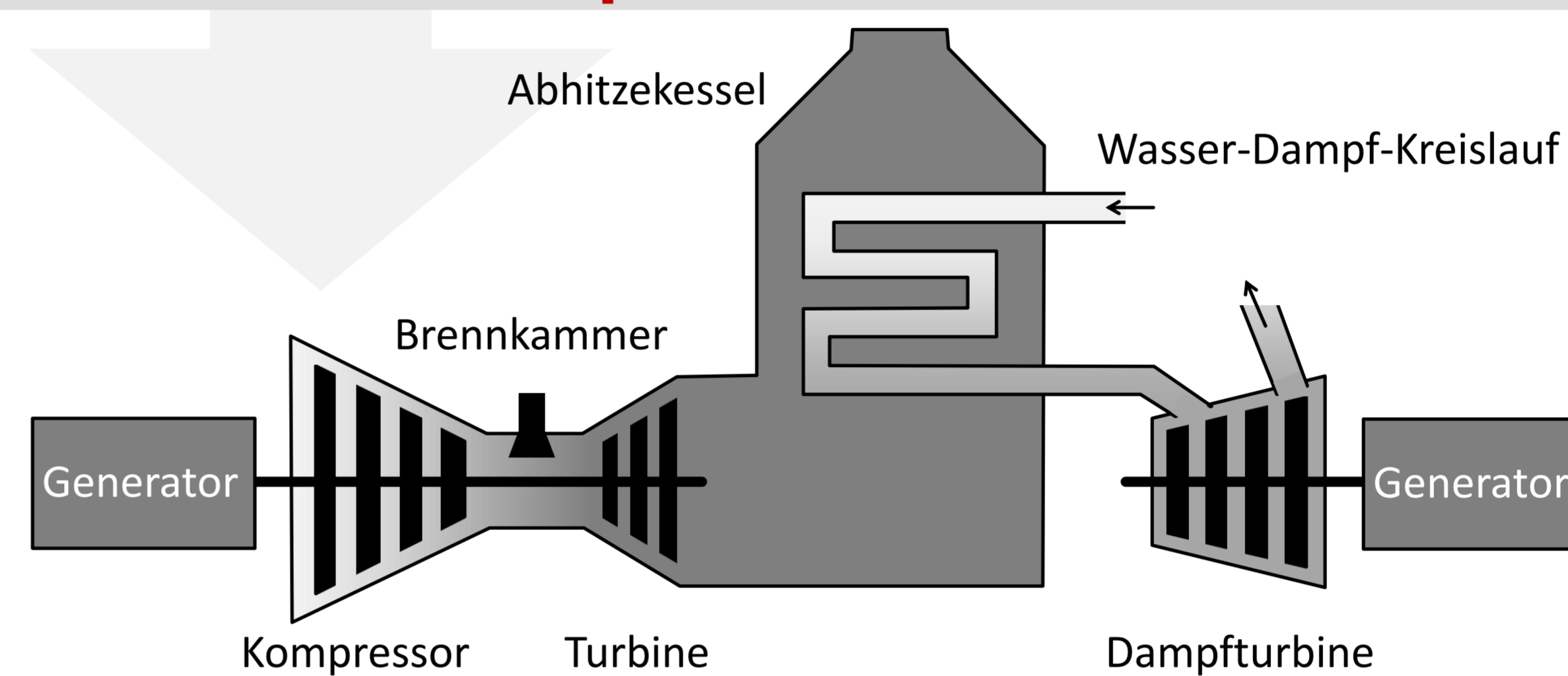
- Einsatz emissionsarmer Kraftwerke mit hohen Wirkungsgraden
- Anpassung an geänderte Rahmenbedingungen durch
 - effizientere Betriebsweise,
 - Flexibilisierung, z.B. **schnellere Leistungsänderungen**,
 - größere mögliche **Leistungsregelbänder** für wirtschaftlichen Betrieb.



Grundlagen

Kombinierte Gas- und Dampfkraftwerke

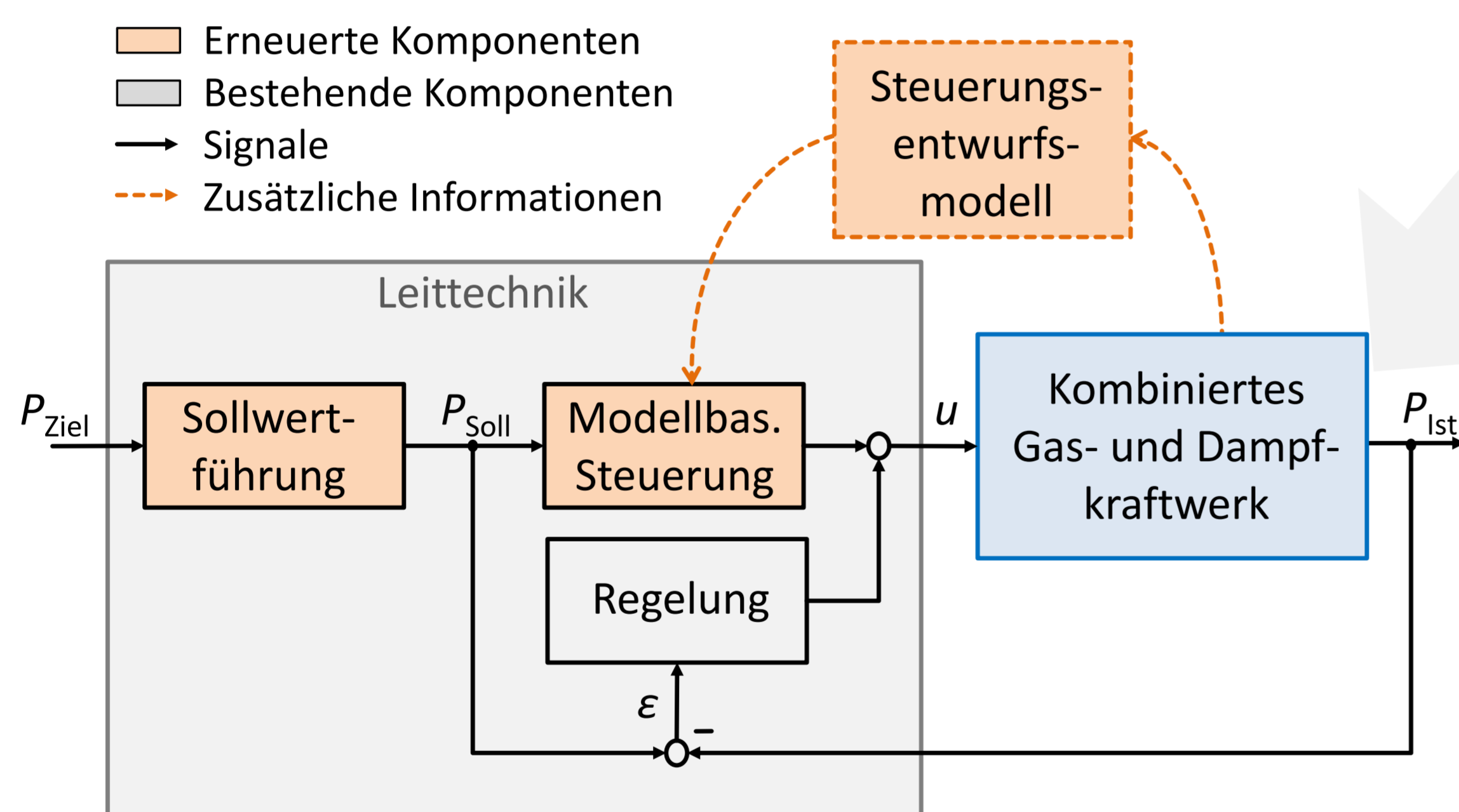
- Kombination von Gas- und Dampfprozess:
 - Abhitze der Gasturbine wird zur Dampferzeugung im Abhitzekeessel genutzt
 - Blockleistung ist die Summe aus Gas- und Dampfturbinenleistung
 - Leistung der Dampfturbine folgt der Gasturbine unregelt (natürlicher Gleitdruckbetrieb)
 - Stellgröße ist der Brennstoffmassenstrom der Gasturbine
- Herausforderung:** Zur Leistungsänderung müssen die gekoppelten Teilprozesse koordiniert gefahren werden, obwohl nur eine Stellgröße zur Verfügung steht



- Kombinierte Gas- und Dampfkraftwerke sind die ideale Ergänzung der erneuerbaren Energien:
- Hohe Wirkungsgrade**
 - Geringe spezifische Emissionen**
 - Technologiebedingte Vorteile** hinsichtlich des flexiblen Betriebs

Ergebnisse

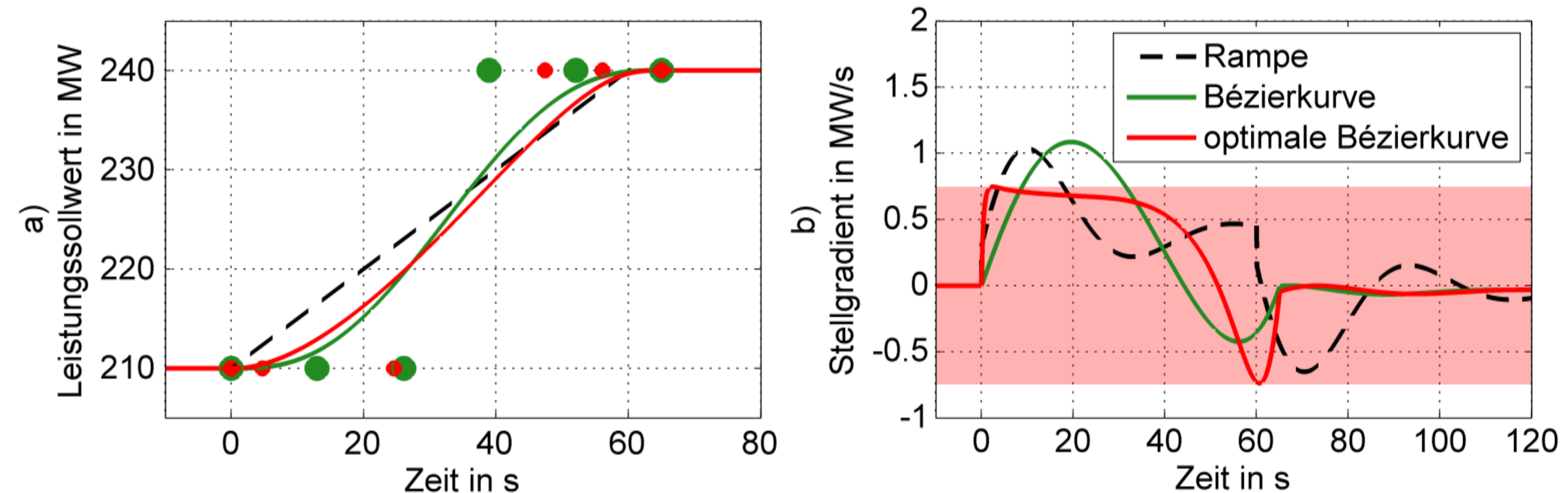
Neuartige modellbasierte Steuerung



- Anforderung an Blockführungskonzept (Leistungsregelung):
 - Unterdrückung von (externen) Störgrößen ⇒ **Regelung**
 - Zeitveränderlichem Sollwert folgen (Führungsverhalten)** ⇒ **Steuerung**
- Genannte Ziele (**effiziente Betriebsweise, schnelle Leistungsänderungen**) können durch **leistungsfähige Steuerung** erreicht werden. Diese muss
 - modellbasiert sein, um **Wissen über die Prozessdynamik** nutzbar zu machen,
 - eine **geeignete Sollwertführung** umfassen, um den Prozess entlang **optimaler Sollwertverläufe** zu führen.

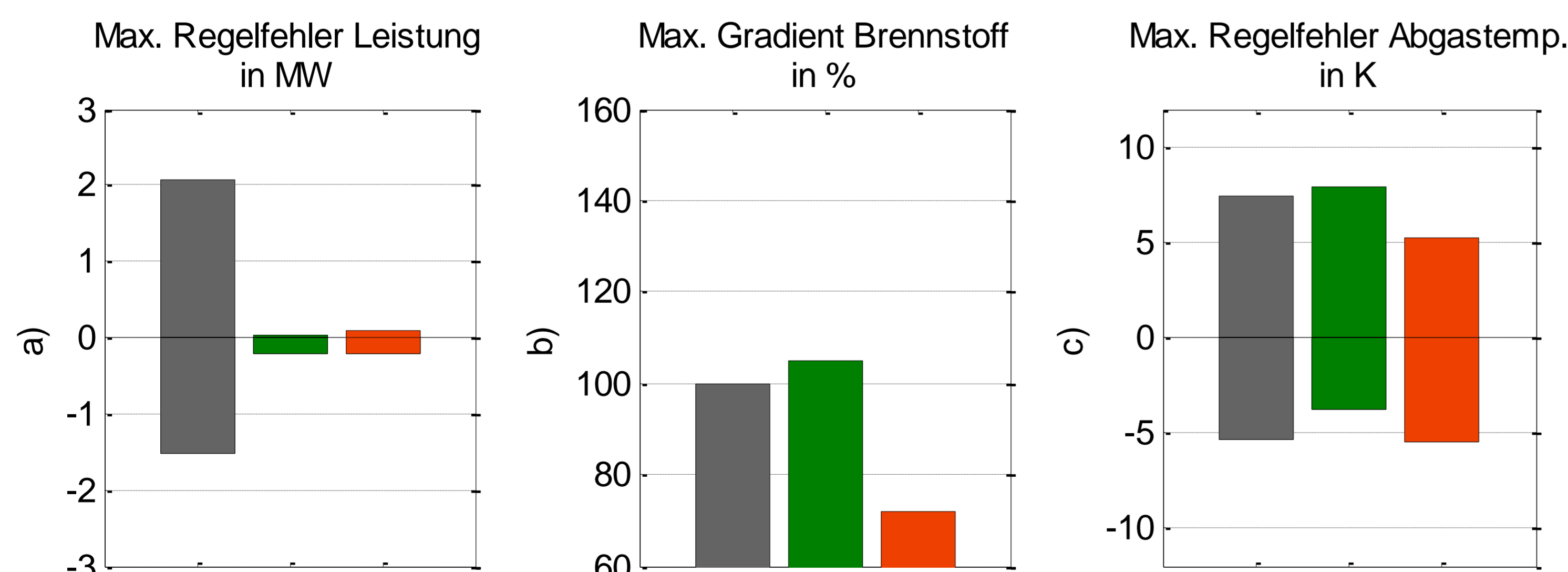
Neuartige Sollwertführung

- Sollwertführung generiert **geeignete Sollwertverläufe** für modellbasierte Steuerung und Regelung (siehe Abbildung linke Seite)
- An Stelle von Lastrampen (schwarz) können **Bézierkurven** eingesetzt werden:
 - Parametrische Kurven, Konstruktion durch sog. „Kontrollpunkte“
 - Lage der Kontrollpunkte definiert Kurvenverlauf (Abb. a))
- Bézierkurven** sind vielfach **vorteilhaft**:
 - Nahezu beliebige Verläufe möglich ⇒ Freiheitsgrade für Optimierung (Abb. b))
 - Einfache Konstruktionsvorschriften ⇒ Geeignet für Implementierung
 - Geringer numerischer Aufwand ⇒ Umsetzbarkeit in Leittechnik gegeben



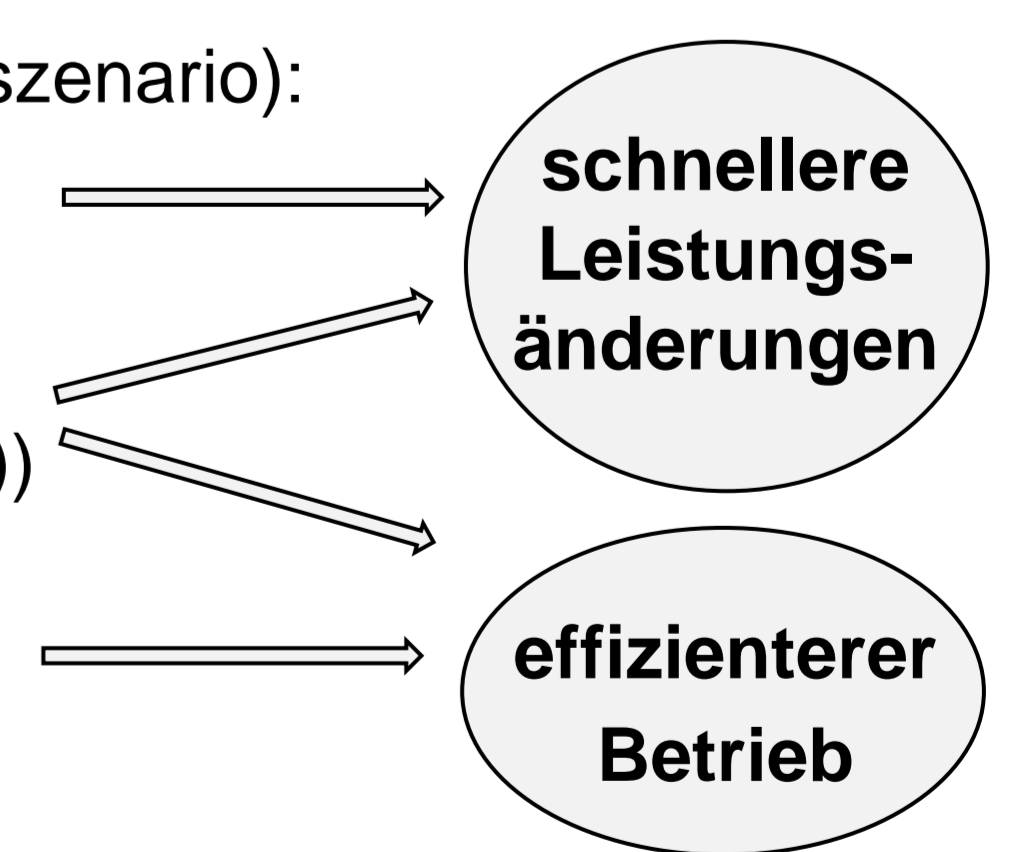
- Prozess kann rampenförmigem Sollwertverlauf nicht folgen ⇒ ungeeignet
- Bézierkurven** (grün/rot) führen zu **realisierbaren Sollwertverläufen**
- Optimierte Bézierkurve** (rot) führt zu **geringerem Stellaufwand** (max. Stellgradient)

Verbesserungspotential



Zentrale Ergebnisse (an beispielhaftem Simulationsszenario):

- Modellbasierte Steuerung führt zu deutlich **besserem Regelverhalten** (Abb. a))
- Optimierter Sollwertverlauf führt zu deutlich **reduziertem Stellaufwand** der Gasturbine (Abb. b))
- Verbesserung auf Blockführungsebene führen zu tendenziell **besserem Regelverhalten** auch in unterlagerten Regelkreisen (Abb. c))



Zusammenfassung

- Voraussetzung für den Ausbau erneuerbarer Energien und das Erreichen der gesteckten Ziele ist ein **funktionierendes „Gesamtsystem Stromversorgung“**
- d.h. insbesondere, dass Kraftwerke folgende Eigenschaften besitzen müssen:
 - emissionsarm** und **effizient**
 - flexibel**, d.h. schnelle Leistungsänderungen, hohe Regelgüte
 - wirtschaftlich**, z.B. durch **gesteigertes Regelband** für Sekundärregelleistung
- Moderne modellbasierte Steuerung** in Verbindung mit **neuartiger Sollwertführung** ermöglicht deutliche Verbesserungen dieser Punkte gegenüber Stand der Technik

Literatur

- Hanel, L.; Gutekunst, F.; Scheffknecht, G.: *Improved Load Tracking for Combined Cycle Gas Turbine Plants through Flatness Based Feedforward Control*, 19. IFAC Weltkongress, Kapstadt, 2014
- Hanel, L.; Gutekunst, F.; Scheffknecht, G.: *Flexibilisierung des Betriebs von GuD-Anlagen durch flachheitsbasierte Steuerung*, Kraftwerkstechnisches Kolloquium 2014, Dresden, 2014

Kontaktinformationen

Dipl.-Ing. Lutz Hanel
lutz.hanel@ifk.uni-stuttgart.de
Tel.: +49 711 685-66208
Institut für Feuerungs- und Kraftwerkstechnik
Universität Stuttgart
Pfaffenwaldring 23
D-70569 Stuttgart