

Flexibilitätpotential von industriellen KWK-GuD-Anlagen in Deutschland

Dipl.-Ing. Steffen Kahlert, Prof. Dr.-Ing. Harmut Spliethoff
14. Symposium Energieinnovation, 10.-12.02.2016, TU Graz

Agenda



Motivation



KWK in Deutschland



Dynamische Prozesssimulation



Lastflexibilität



Zusammenfassung

Kraftwerksflexibilität



**Welchen Beitrag können
thermische Kraftwerke
leisten?**

Energiespeicher



Flexible Last (Demand-Side-Management)



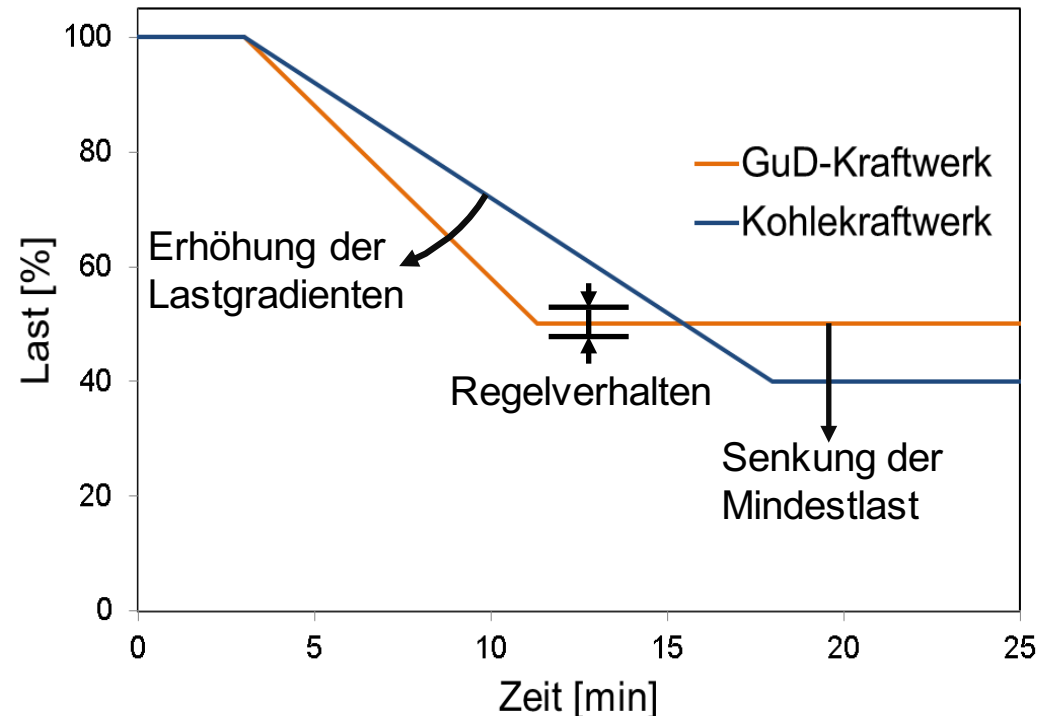
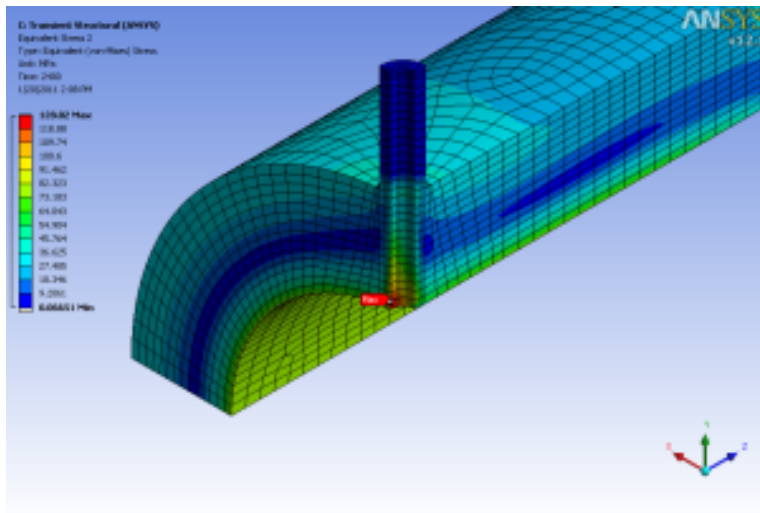
Netzausbau



Quelle: Siemens AG, E.ON SE, Vattenfall GmbH, ABB Ltd

Flexibilität aus Sicht eines Kraftwerksbetreibers

- Lastflexibilität ermöglicht kurzfristige Vermarktungsoptionen
 - Regelenergie und Intraday-Markt
- Wärmebedarf schränkt KWK-Anlagen ein

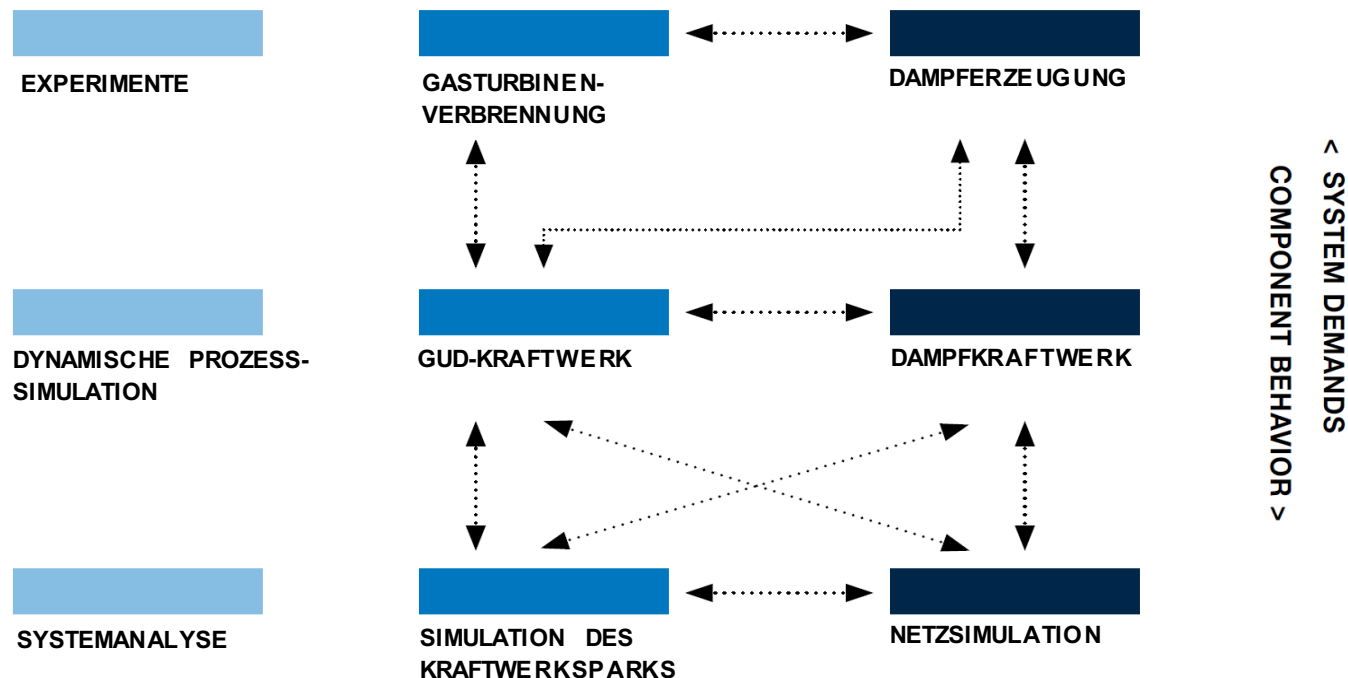


- Teillast $\neq$ Auslegungspunkt
→ Wirkungsgradverluste
- Lastwechsel und Start-Stopp-Zyklen
→ Thermische Spannungen und Lebensdauerverbrauch

Motivation

Energy Valley Bavaria: Flexible Kraftwerke

- Analyse und Optimierung der Kraftwerksflexibilität
- Interdisziplinäres Projekt der Munich School of Engineering (4 Lehrstühle aus 2 Fakultäten)

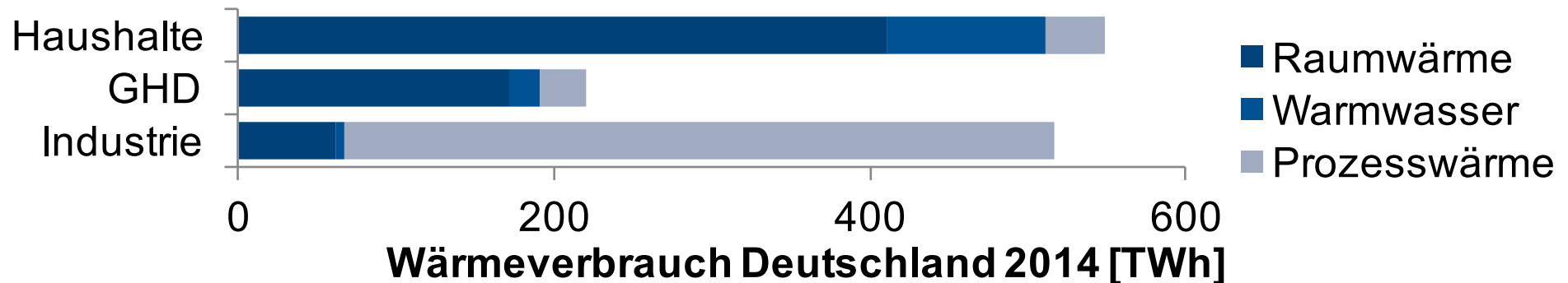


- Fördergeber: Bayerisches Staatsministerium für Bildung und Kultus, Wissenschaft und Kunst
- 9 wissenschaftliche Mitarbeiter

Wärmebedarf

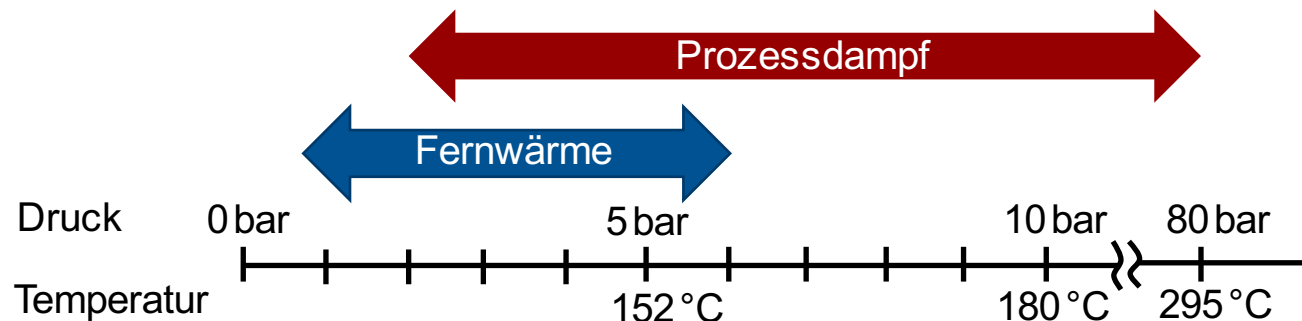
Industrie: Prozesswärme (elektrisch beheizt, gefeuert, Prozessdampf)

Haushalte, Gewerbe: Raumwärme (i.d.R. Warmwasser aus Gas o. Öl)



Quelle: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (D), „Energiedaten“, Stand 10/2015

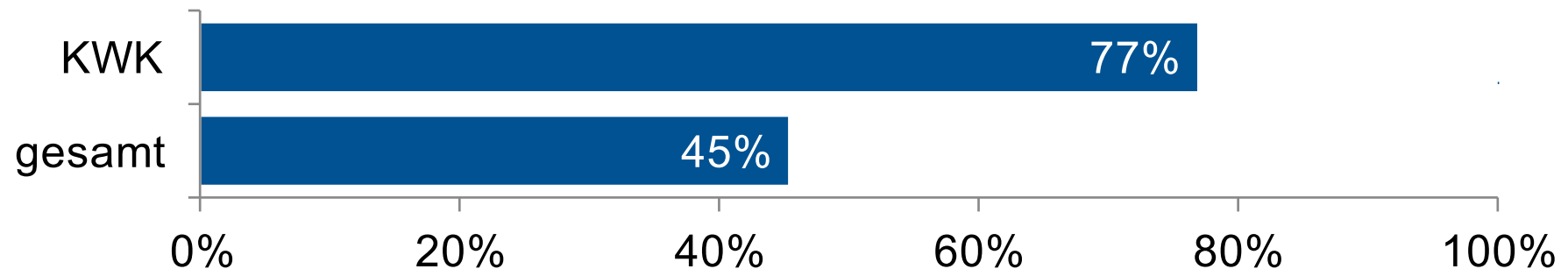
Wärmeauskopplung aus KWK-Kraftwerken



Quelle: Quinkert, R., 2015, „Dampfturbinenentwicklung bei Siemens“,

Auslastung der KWK-Kraftwerke:

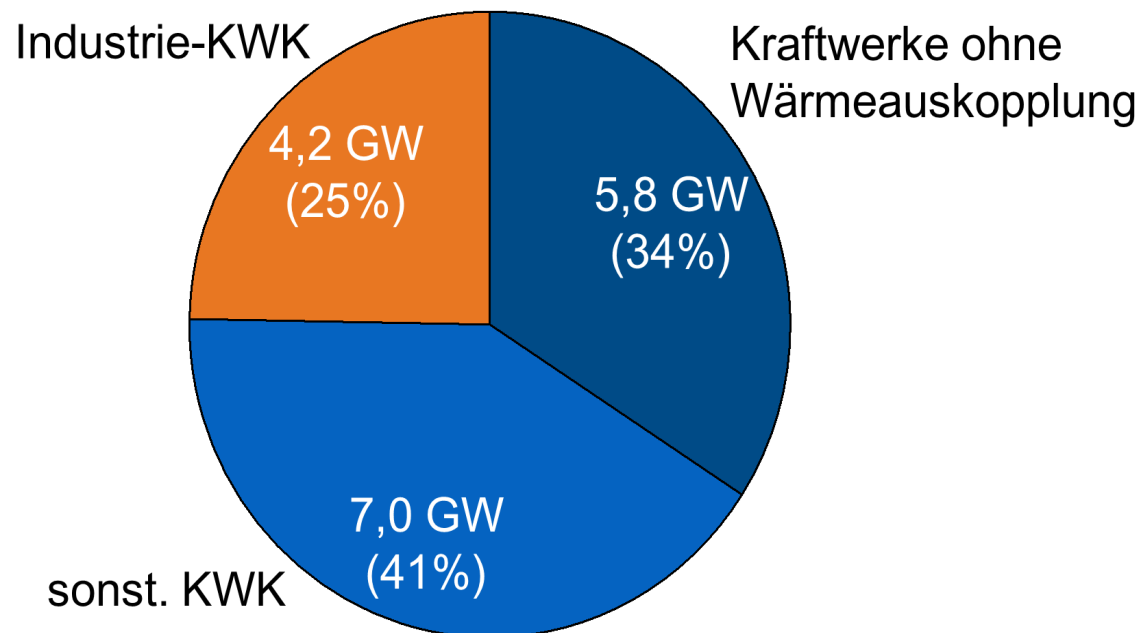
- Bei Wärmebedarf ist der Betrieb auch bei niedrigen Strompreisen wirtschaftlich
- KWK der öffentlichen Versorgung sind in der Heizperiode fast durchgängig im Einsatz → im Sommer selten wirtschaftlich
- Industrieller Wärmebedarf an die Produktion gekoppelt
→ Auslastung der Produktion i.d.R. sehr hoch



Nutzungsgrad Stromerzeugung Deutschland 2014

Quelle: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (D), „Energiedaten“, Stand 10/2015

- Industrie-Kraftwerke liefern elektr. Strom und Prozessdampf an Industrieunternehmen oder Industrieparks
- Kleine Anlagen (BHKWs) verfügen i.d.R. über einen Gasmotor und große Anlagen über eine Gasturbinen



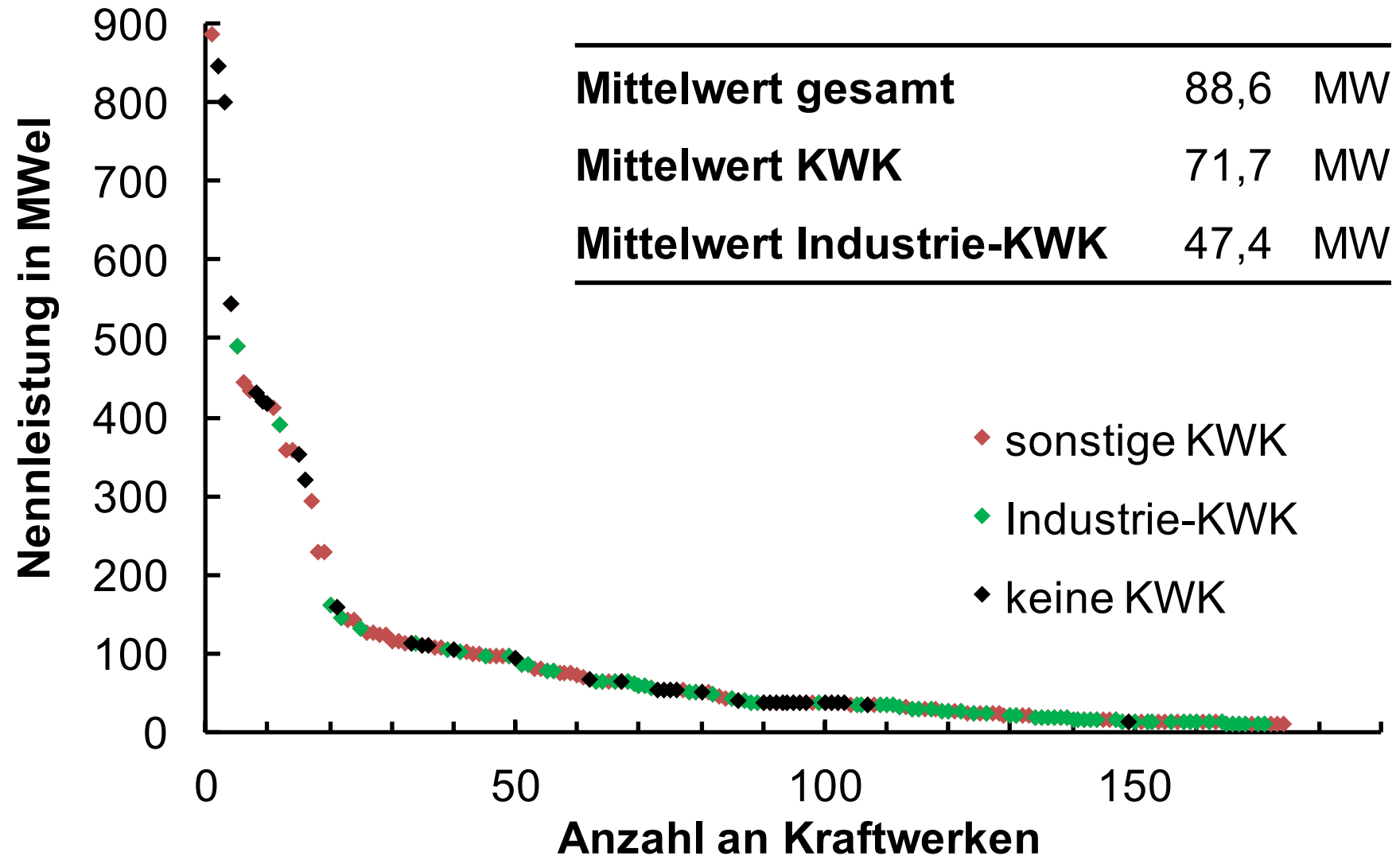
Installierte GuD- und Gasmotor-Kraftwerke >10 MW

Quelle: Umweltbundesamt (D), „Datenbank Kraftwerke in Deutschland“, Stand 09/2015

Bundesnetzagentur, „Kraftwerksliste der Bundesnetzagentur“, Stand 10/2015

KWK in Deutschland

Installierte GuD- und Gasmotor-Kraftwerke >10 MW



Quelle: Umweltbundesamt (D), „Datenbank Kraftwerke in Deutschland“, Stand 09/2015

Bundesnetzagentur, „Kraftwerksliste der Bundesnetzagentur“, Stand 10/2015

Erbringung sekundärer Regelleistung mit industriellen KWK-/ GuD-Kraftwerken

Kraftwerksdaten:

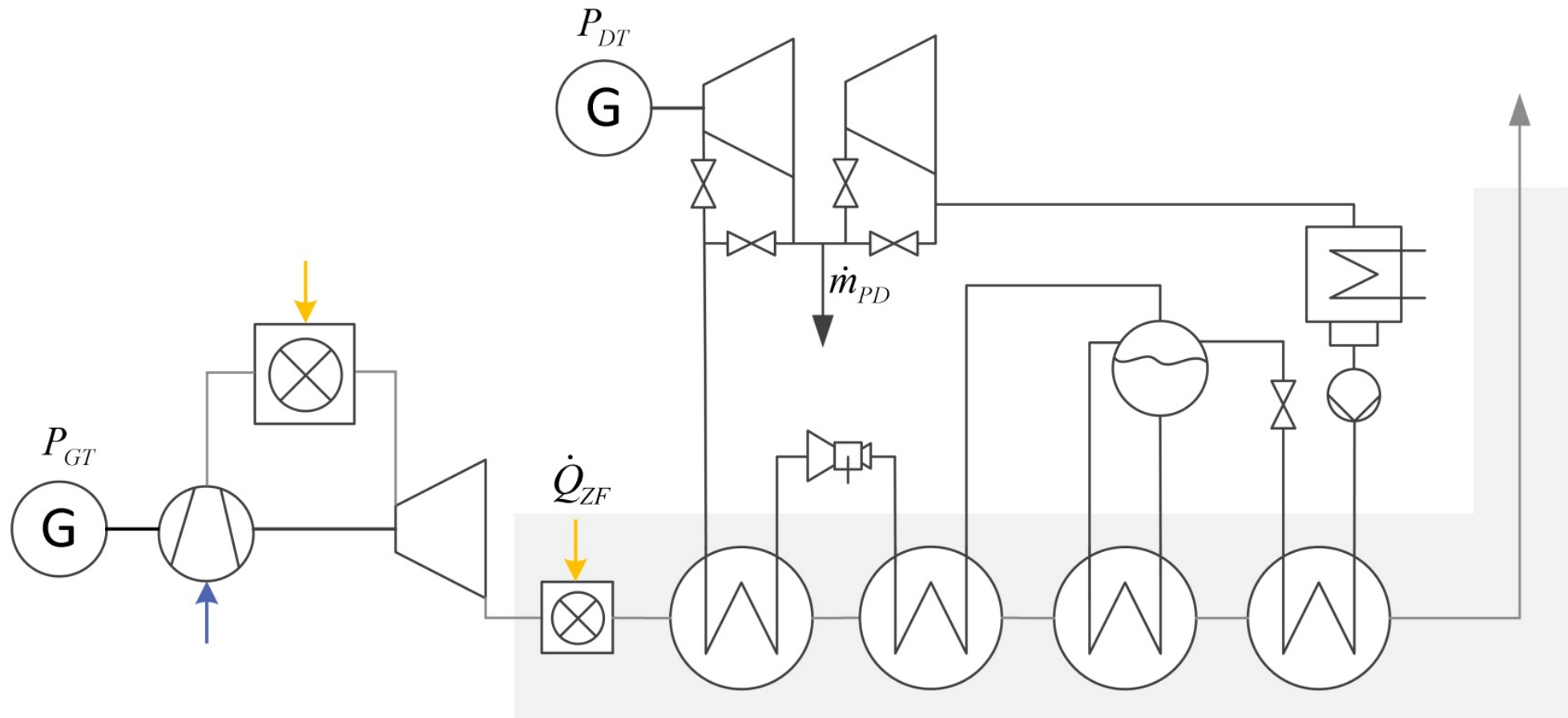
- Betreiber: E.ON Energy Projects
- El. Leistung: 120 MW
- Dampfleistung: 200 T/h
- Gasturbine: General Electric 6FA+e
- Abhitzedampferzeuger mit Zusatzfeuerung
- Entnahmedampfturbine

Ziel:

- Analyse der Lastflexibilität mithilfe der dynamischen Prozesssimulation



Kraftwerk Plattling (Quelle: E.ON Energy Projects)

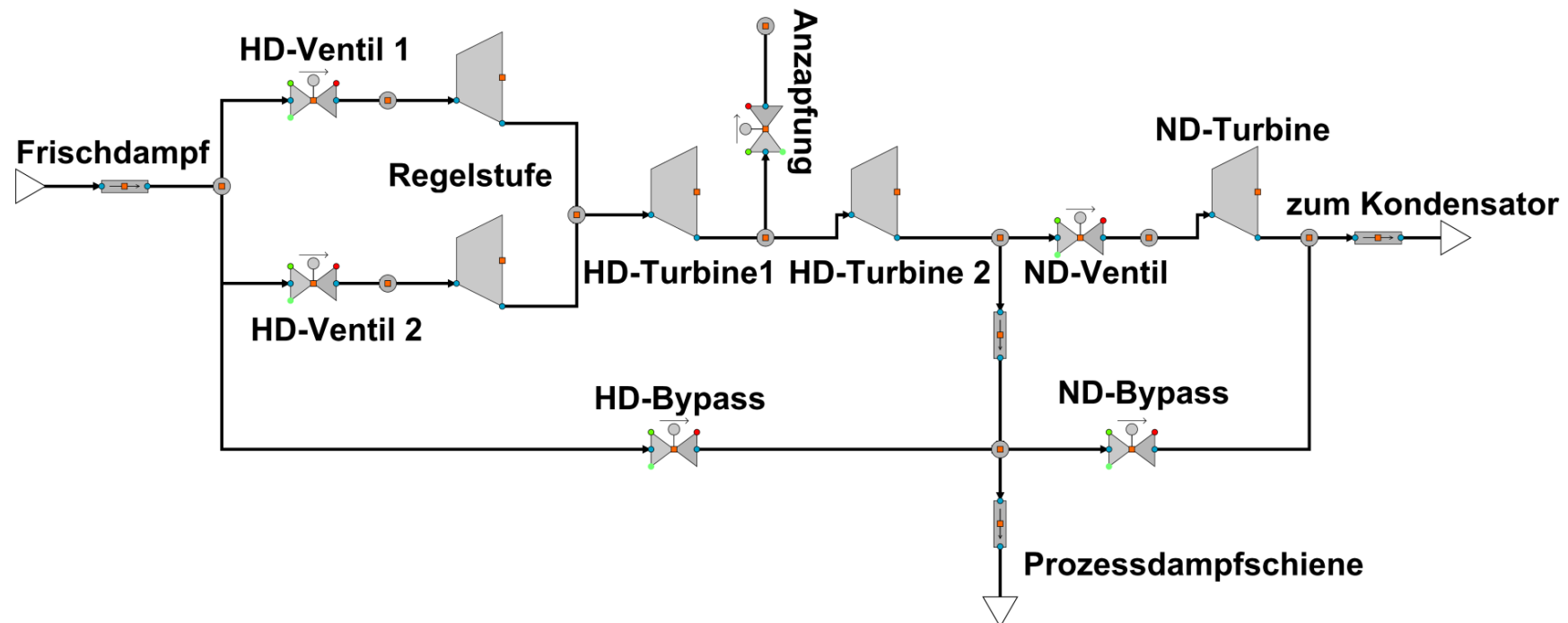


Simulationssoftware: Apros

- 1D-Flussnetz
- Umfangreiche Bibliothek für Prozesskomponenten und Automatisierung

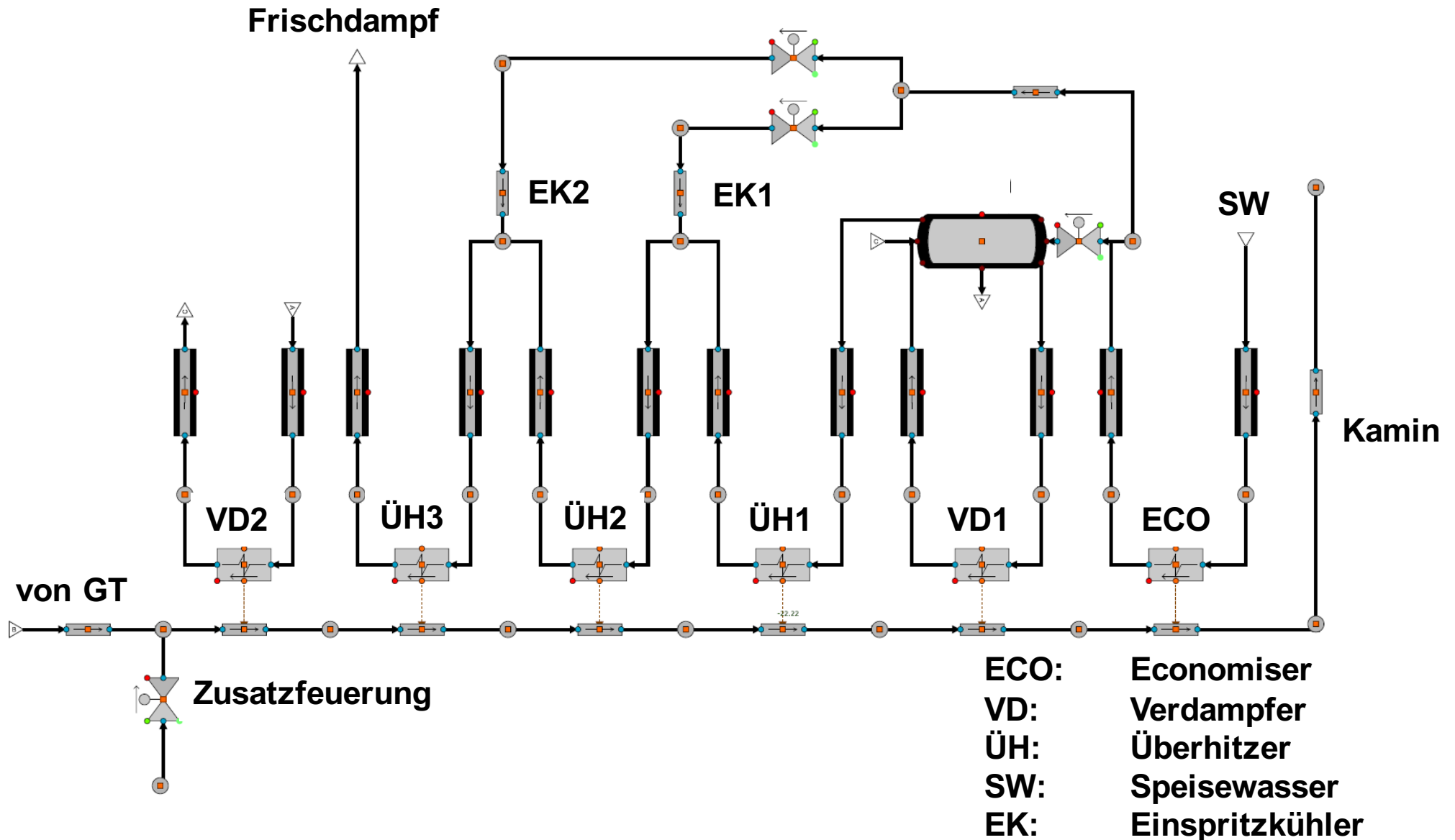


Entnahmekondensationsturbine:



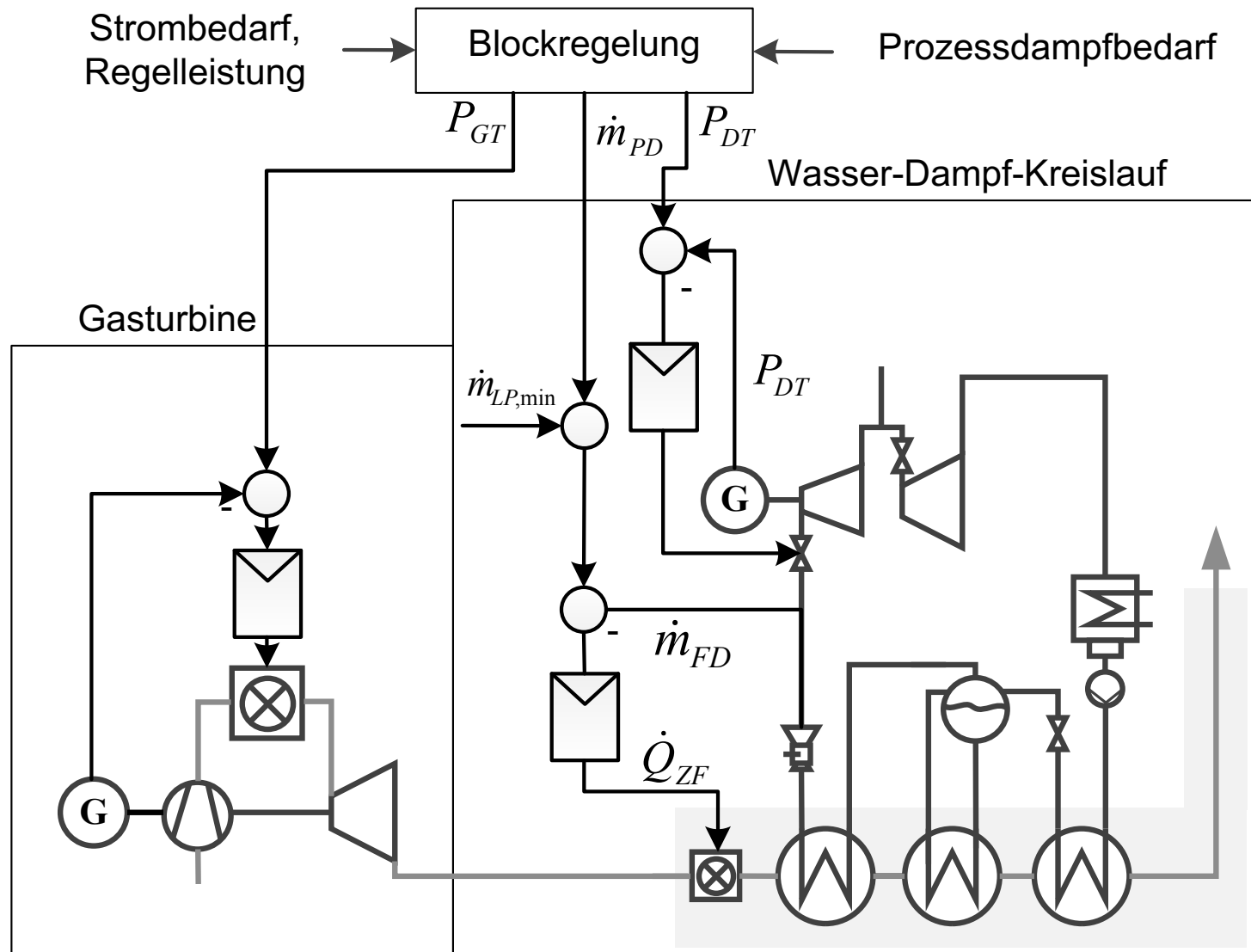
Dynamische Prozesssimulation

Modell Abhitzedampferzeuger



Dynamische Prozesssimulation

Automatisierungssystem / Blockregelung

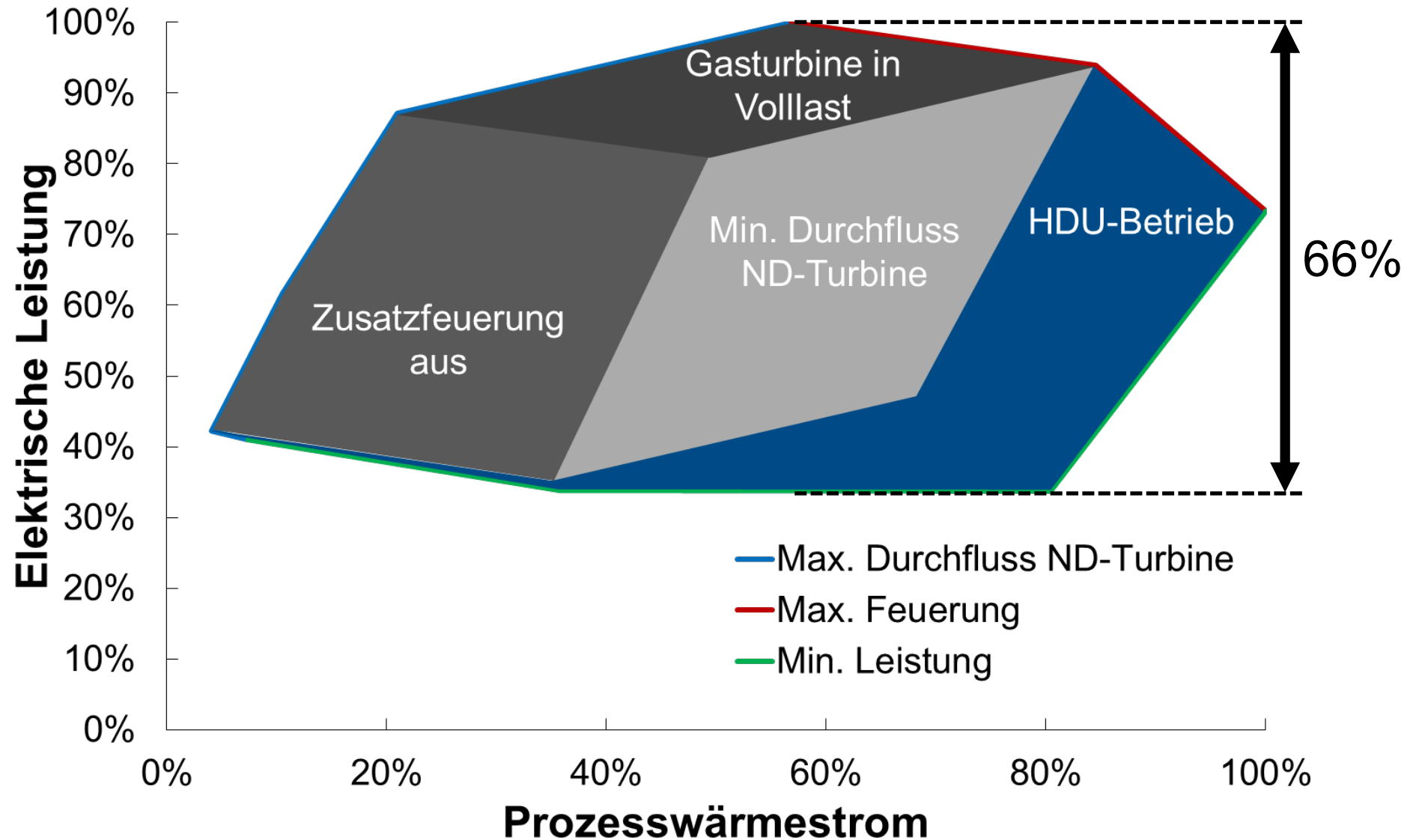


Stationäre Einschränkungen

- Lastbereich
 - Gasturbine
 - Zusatzfeuerung
 - Dampfturbine
- Dampflieferverpflichtung

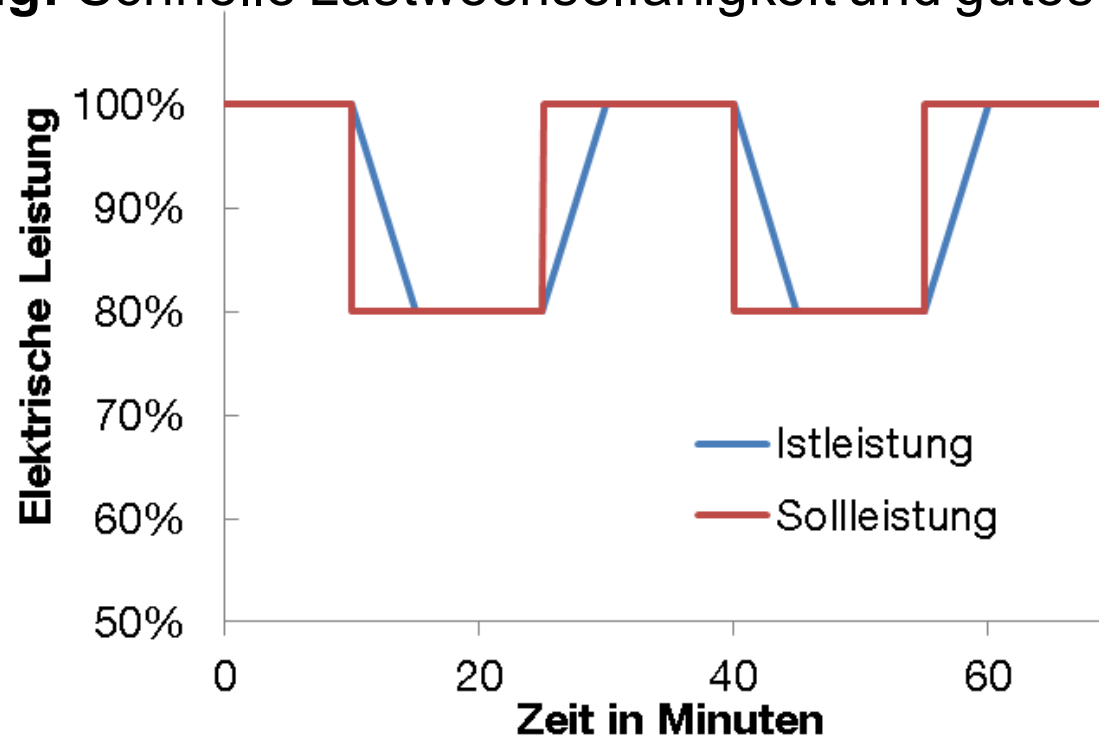
Dynamische Einschränkungen

- Leittechnik
- Zulässige Lastgradienten

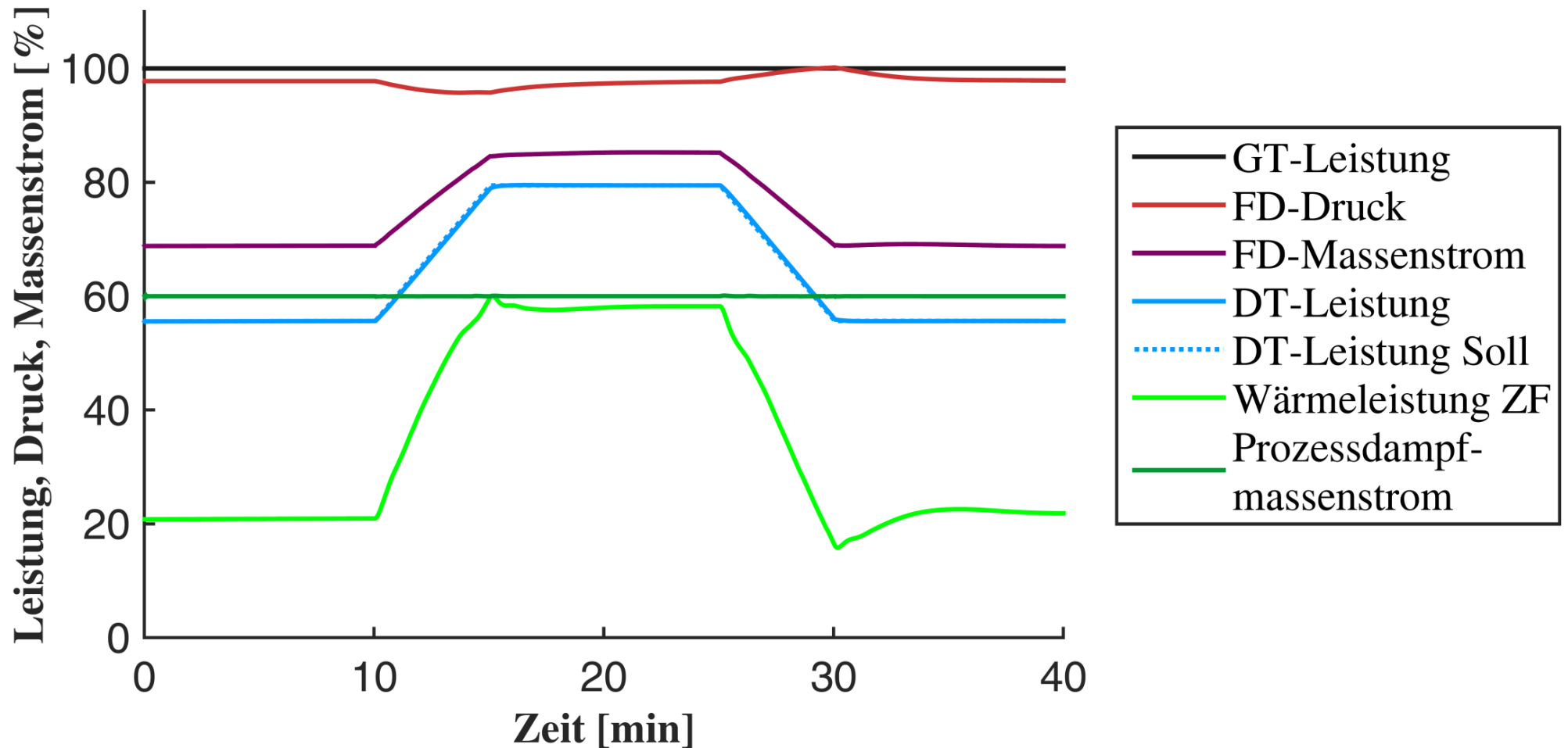


- Laständerung in 5 min
- Vermarktung für eine Woche (Peak, Off-Peak)
- Positive Lastwechsel nur über Dampfturbine (GT-Last 100%)
- Negative Lastwechsel mit Gasturbine und Dampfturbine

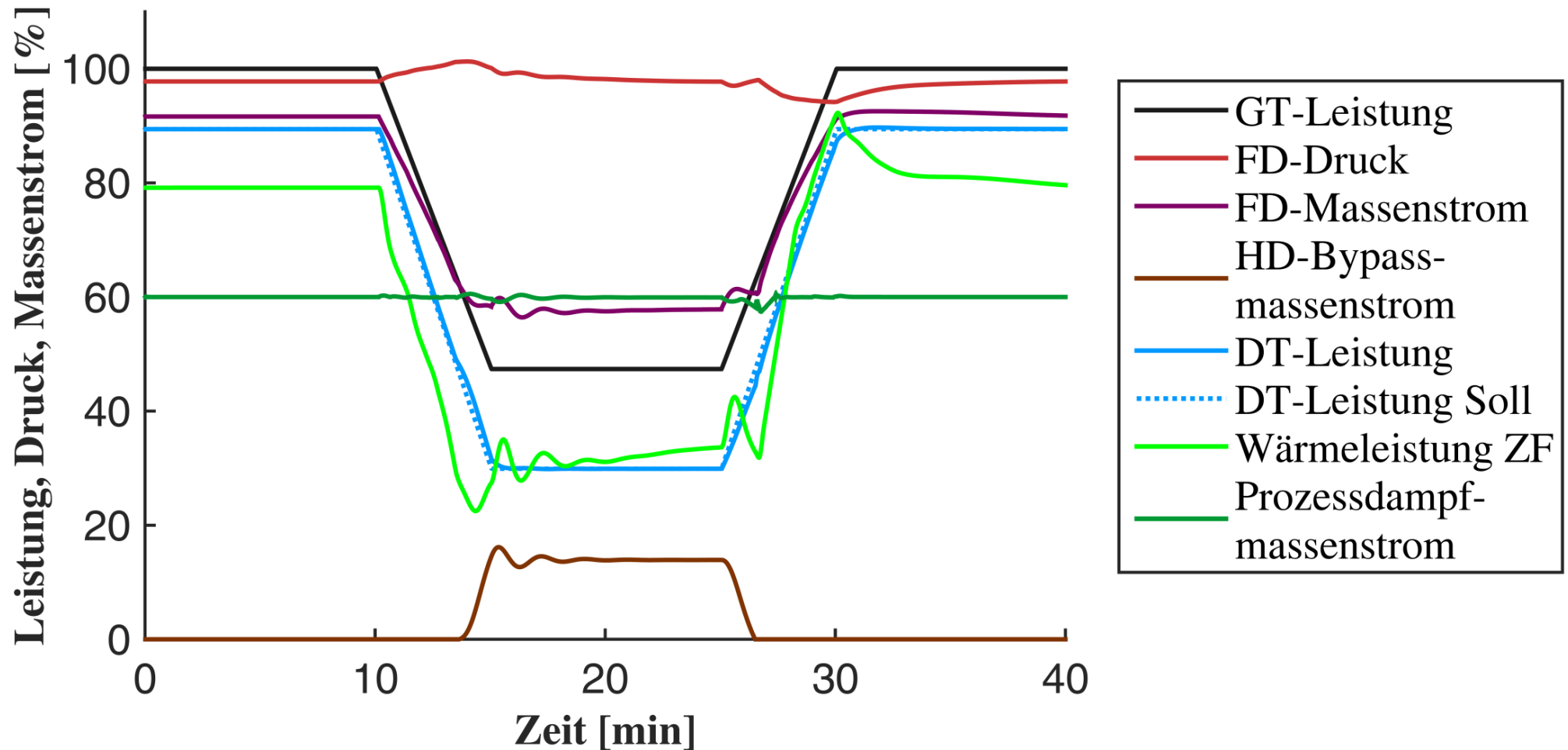
Anforderung: Schnelle Lastwechselfähigkeit und gutes Regelverhalten



Elektr. Leistung: Gasturbine +0% Dampfturbine +33% gesamt 12,5%



Elektr. Leistung: Gasturbine -53% Dampfturbine -55% gesamt -54%



Elektrische Leistung

- Regelverhalten der Gasturbine sehr gut
- Zusatzfeuerung kompensiert die Trägheit des Abhitzedampferzeuger
- Dampfturbinenleistung lässt sich präzise regeln

Prozessdampf

- Zusammenspiel von HD-Regelventil, Hochdruckumleitungsventil und Entnahmeventil ist verantwortlich für die Prozessdampfbereitstellung
 - Komplexes Regelverhalten
- Geringe Schwankungen bei großen Lastwechseln der Gasturbine und der Dampfturbine

- Industrie: Großer, kontinuierlicher Strom- und Wärmebedarf
- Industrie-KWK: Große Kapazität mit großer Auslastung installiert
- Lastflexibilität KWK-GuD: Ein großer Anteil der elektr. Leistung lässt sich unabhängig vom Wärmebedarf einstellen (66%)
- Die elektrische Leistung lässt sich in kurzer Zeit ändern
 - Positive Sekundärregelleistung mit der Dampfturbine (max. 12,5% Lastabsenkung in 5min)
 - Negative Sekundärregelleistung mit der Gas- und der Dampfturbine (max. 54% Lastabsenkung in 5min)

Hochgerechnet auf den gesamten deutschen industriellen KWK-GuD-Kraftwerkspark (4,2 GW) großes Potential flexibel elektrische Leistung bereitzustellen!

Mögliche Betriebsweisen, mit denen die Netzstabilität in Zukunft unterstützt werden kann:

Hohe EE-Einspeisung:

Minimale Stromerzeugung + positive Leistungsreserve

Niedrige EE-Einspeisung:

Maximale Stromerzeugung + negative Leistungsreserve

Aber: Es fehlen die notwendigen Marktanreize.

Aktuell werden verschiedene Maßnahme diskutiert, z.B.

- Regelenergiemarkt: Tägliche Auktionen, stündliche Produkte
- Integration der industrielle KWK in den Strommarkt
→ Netzentgelt und andere staatliche Preisbestandteile dynamisch
- Starker Markt mit großen Preisunterschieden

Flexibilitätpotential von industriellen KWK-GuD-Anlagen in Deutschland

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Technische Universität München
Lehrstuhl für Energiesysteme
Steffen Kahlert
steffen.kahlert@tum.de