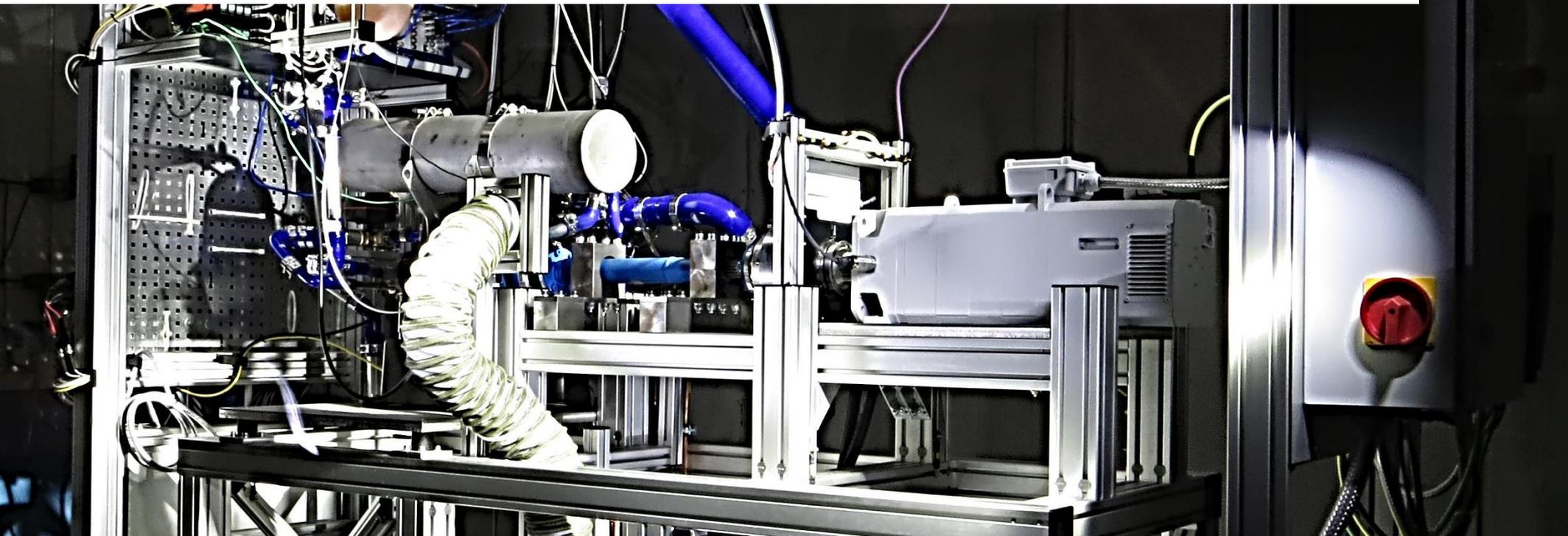


# Betriebsstrategieentwicklung von Ottomotoren für KWK-Anlagen im Kontext von Power-to-Gas Konzepten

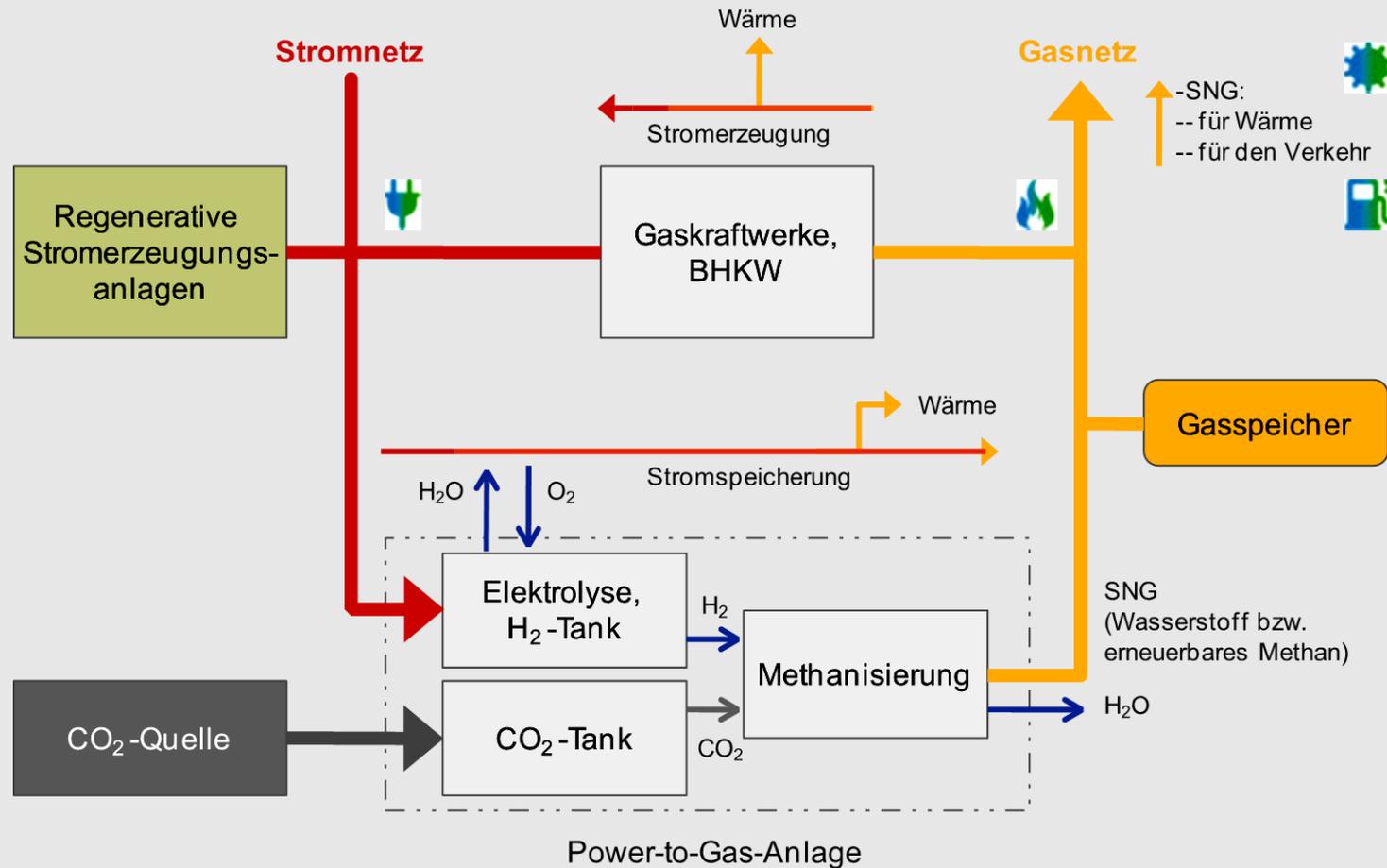


FAKULTÄT FÜR MASCHINENBAU  
Lehrstuhl für Verbrennungsmotoren

EnInnov 2018 | Dr.-Ing. Jens Steinmill | TU Graz | 16.02.2018



# Einleitung: KWK-Anlagen und Power-to-gas



[Quelle: M. Zapf, Stromspeicher und Power-to-Gas im deutschen Energiesystem]



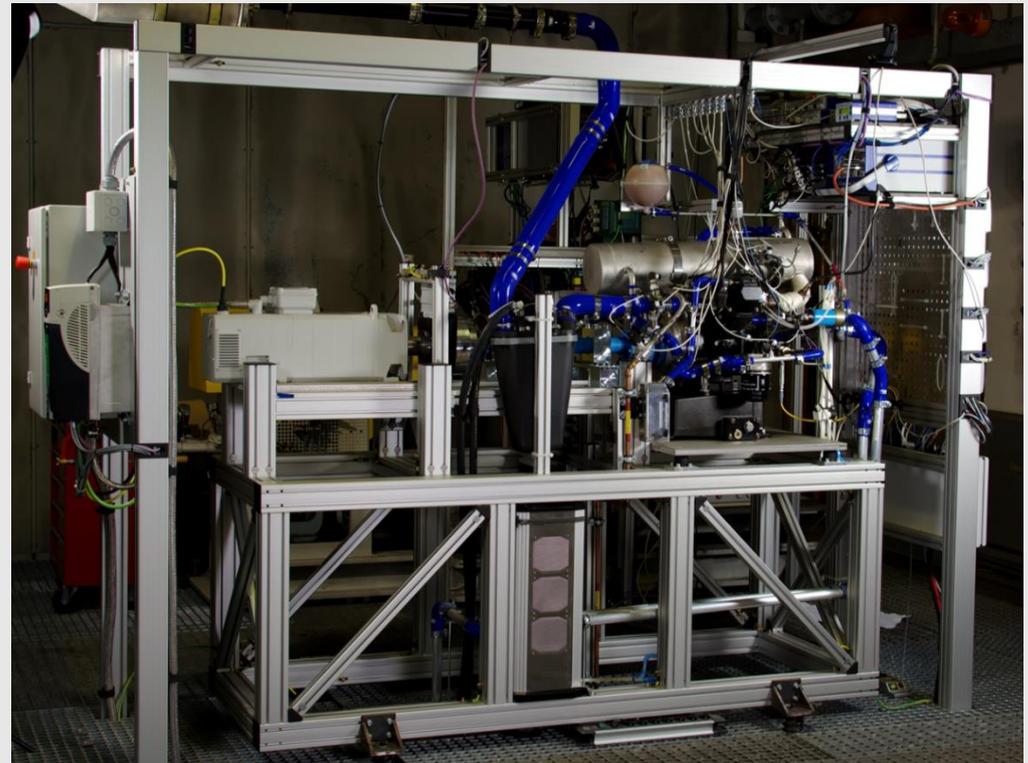
## Einleitung - Motivation

- Regenerative Stromerzeugung unterliegt mittelfristigen Schwankungen
- Power-to-Gas Konzept
  - Bestehendes Erdgasnetz als Speicher
  - Elektrolytische Erzeugung von Wasserstoff mit optionaler Methanisierung
  - KWK-Anlagen für Rückverstromung und Wärmeerzeugung
- Wärmebedarf kann bestehen, während eine Stromproduktion hinderlich ist
- **Erhöhung der Variabilität von KWK-Anlagen in Bezug auf Strom- und Wärmeerzeugung**
- **Ziel: Maximale mögliche Entkopplung von Strom- und Wärmeproduktion**

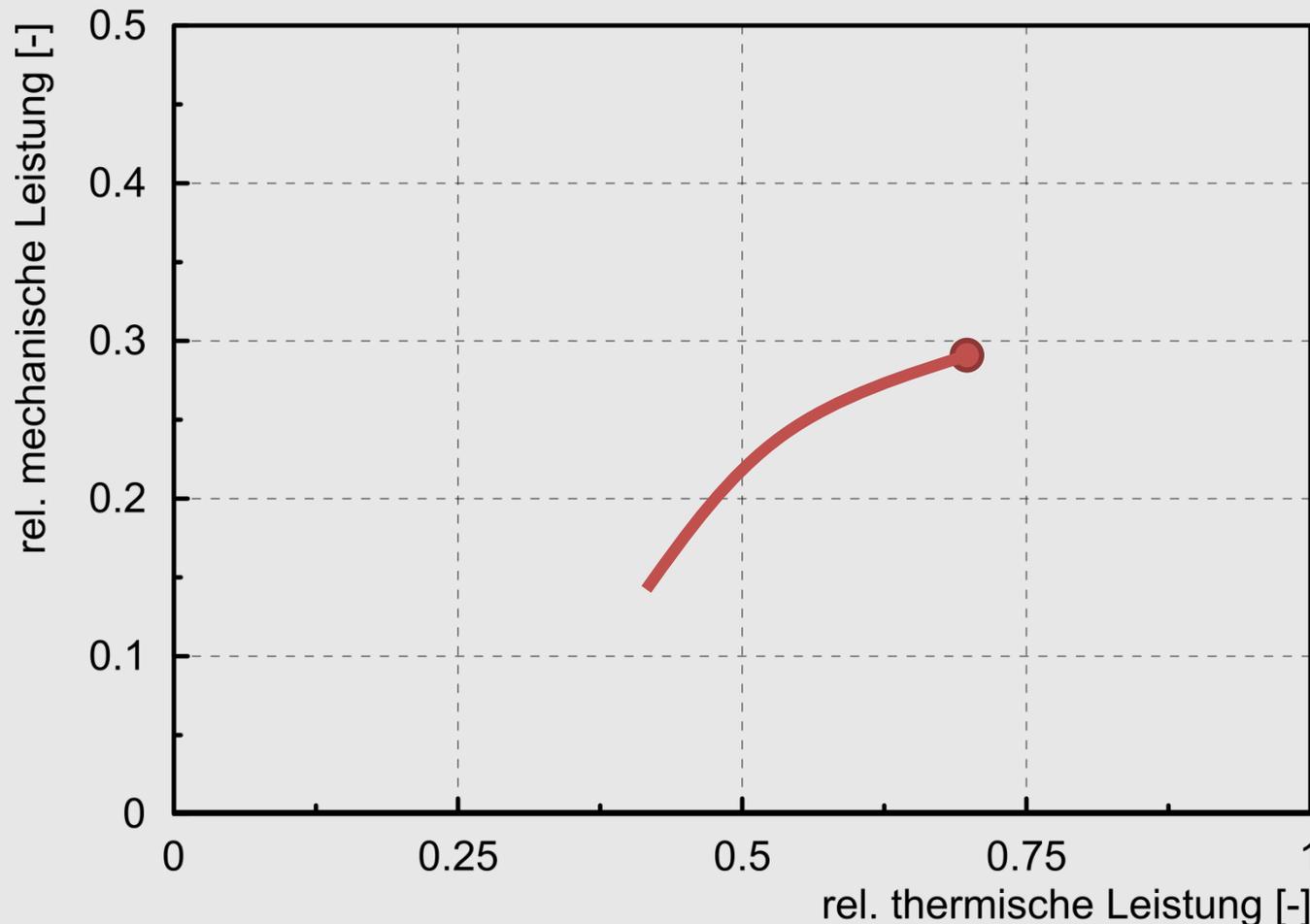
# Entwicklungsumgebung

## Komponenten:

- **Mechanischer Aufbau Prüfstand Kleinmotoren**
- Steuerungs- Regelungs- und Messsystem des Prüfstands
- Rapid-Control-Prototyping Umgebung Schaeffler PROTroniC
- Gesamte Entwicklungsumgebung ist zur Nutzung mit einem Rapid-Control-Prototyping Steuergerät ausgelegt

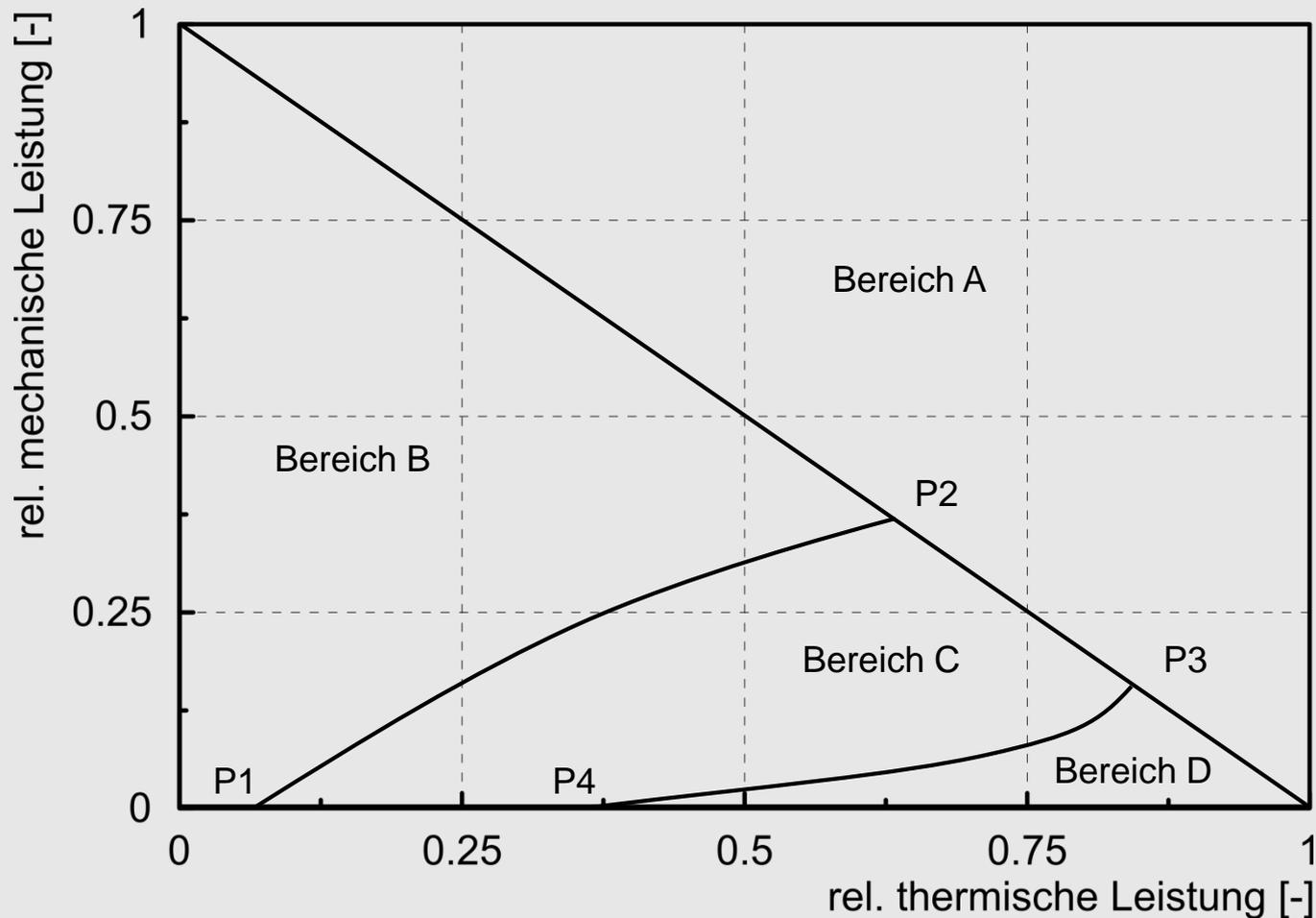


## Leistungsstruktur - aktuelle KWK-Anlagen



- **Meist:**  
Betrieb in einem Betriebspunkt  
Start/Stopp Betrieb
- **Selten:**  
Leistungsvariation durch variable Last oder Drehzahl bei hoher Last
- **Potential:**  
Erweiterung des Betriebsbereiches | Funktionsentwicklung

# Leistungsstruktur – theoretische Betriebsbereiche

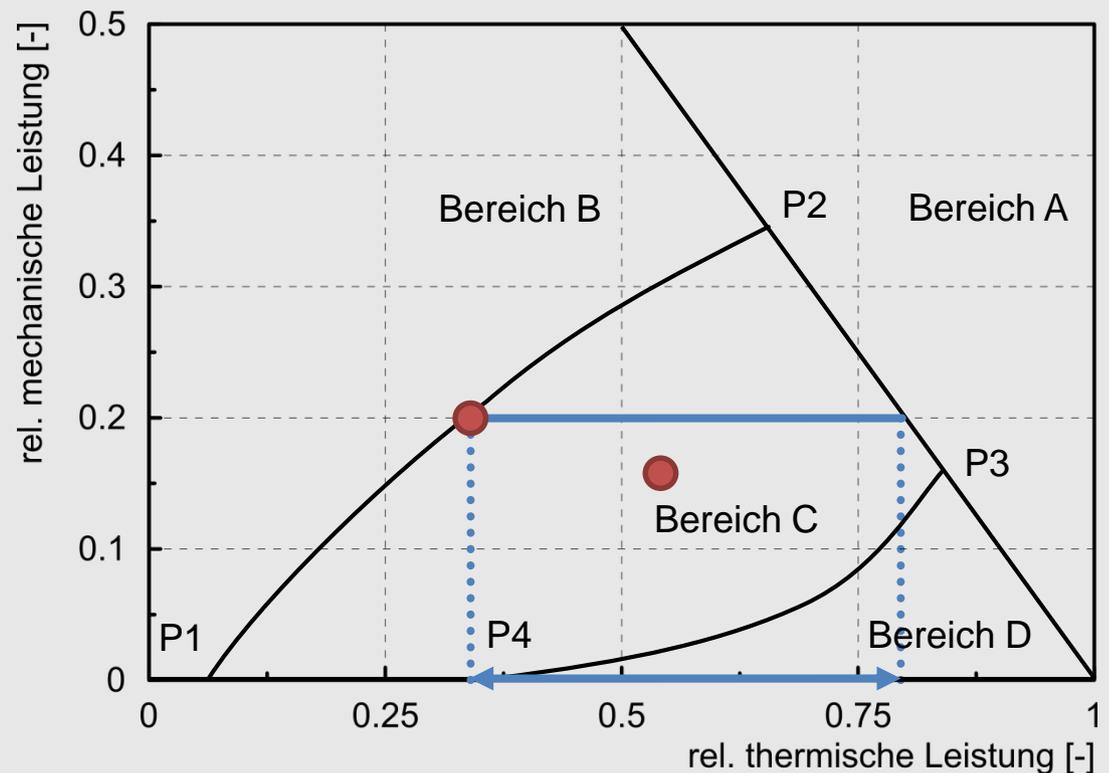


**Potential:**  
 Erweiterung des Betriebsbereiches

- Betriebsmodi:**
- Auf Grenzen (P1 ... P4)
  - In Bereich C

# Leistungsstruktur - Betriebsmodi

- Betriebsmodus in Bereich C:**  
 Anforderung:  
 Mechanisch und Thermisch  
  
**Randbedingung:**  
 Priorisierung der  
 mechanischen  
 Anforderung



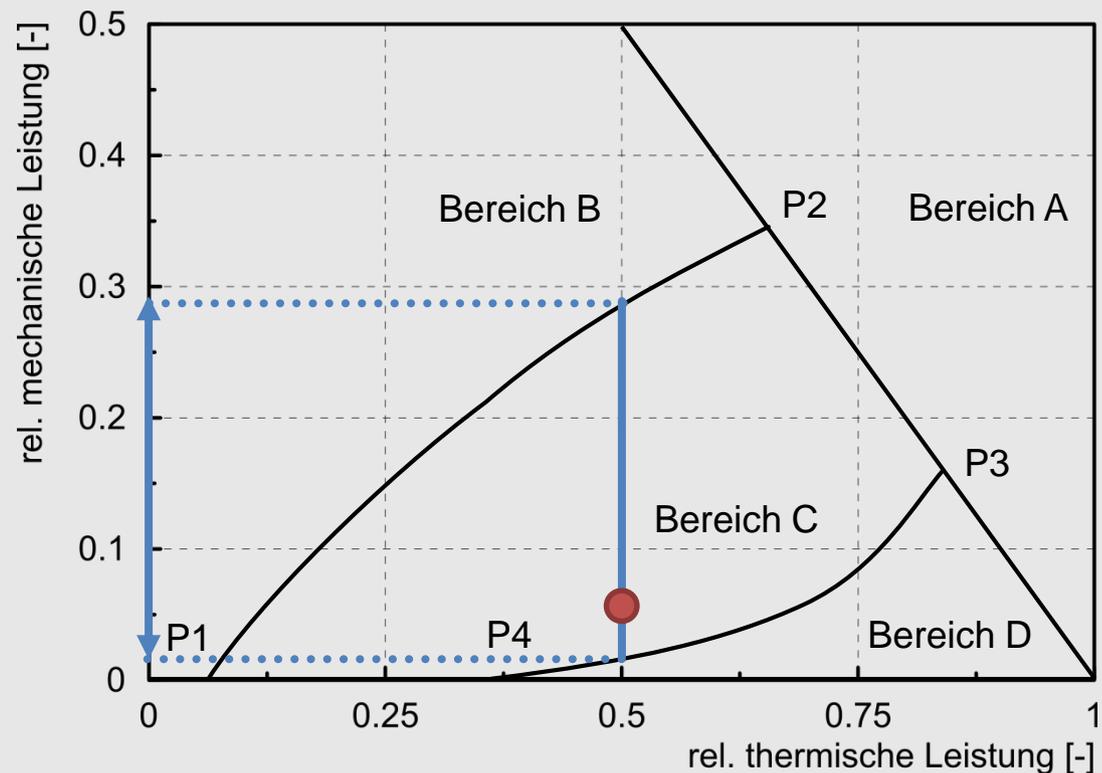
# Leistungsstruktur - Betriebsmodi

- Betriebsmodus in Bereich C:**

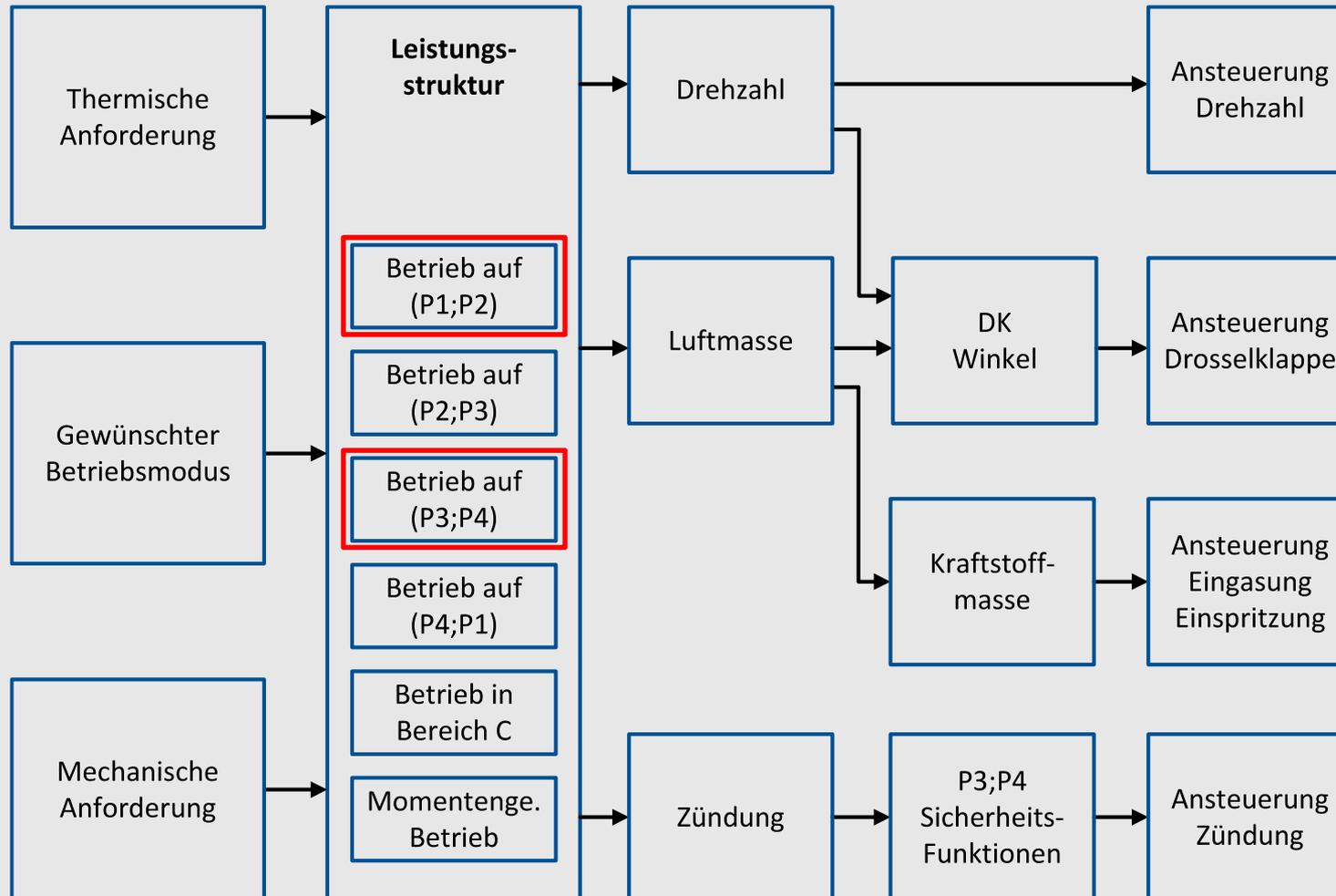
Anforderung:  
 Mechanisch und Thermisch

Randbedingung:  
 Priorisierung der  
 mechanischen  
 Anforderung

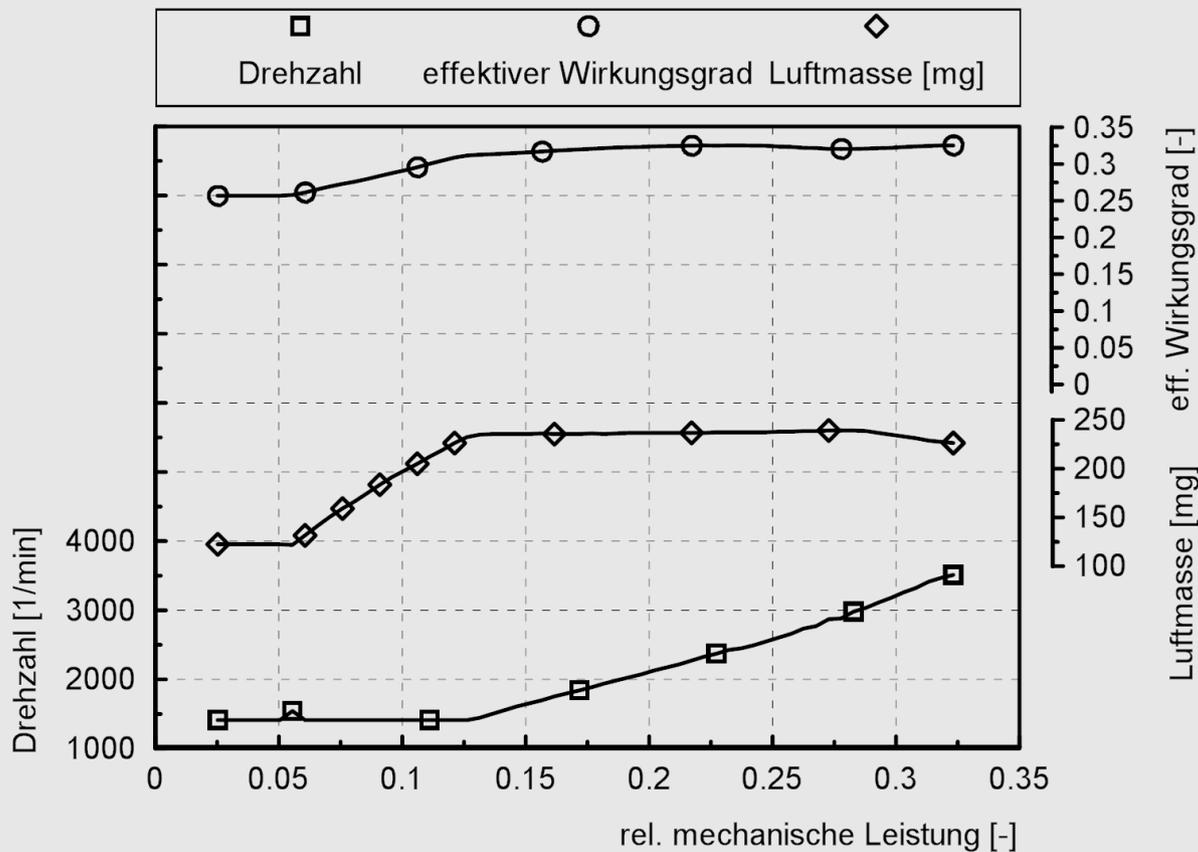
**Randbedingung:**  
**Priorisierung der  
 thermischen  
 Anforderung**



# Leistungsstruktur - Implementierung



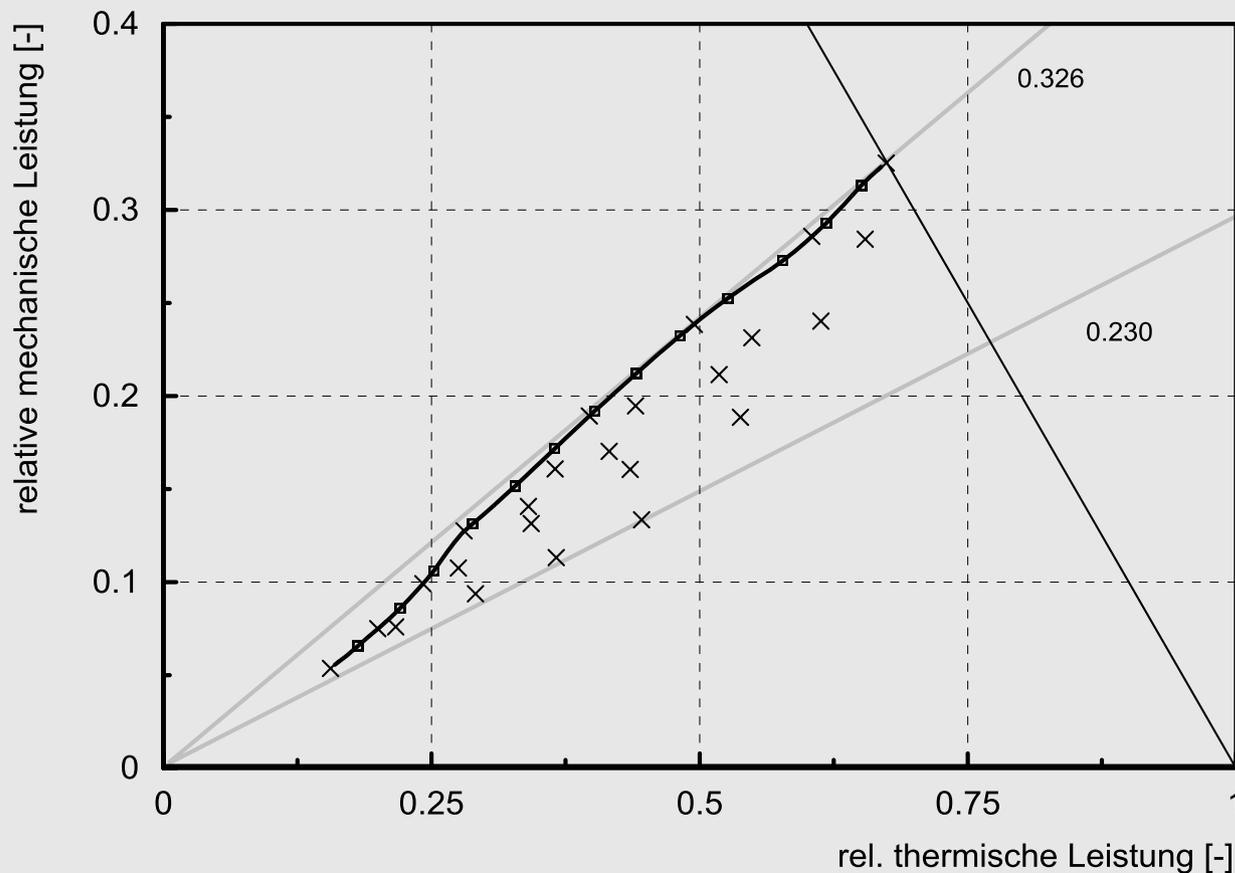
# Anwendung der Leistungsstruktur – (P1;P2)



Motorische Größen auf Grenze (P1;P2)

- Messkampagne: Rastervermessung ca. 700 Betriebspunkte
- Grenze P1;P2 → Maximaler effektiver Wirkungsgrad
- Definition der wirkungsgradoptimalen Drehzahl in Form einer Kennlinie als Funktion von der gewünschten mechanischen Leistung
 
$$n_{eta,opt} = kl_{eta,opt}(P_{e,rel,w})$$
- Momentenstruktur fährt optimalen Betriebspunkt an

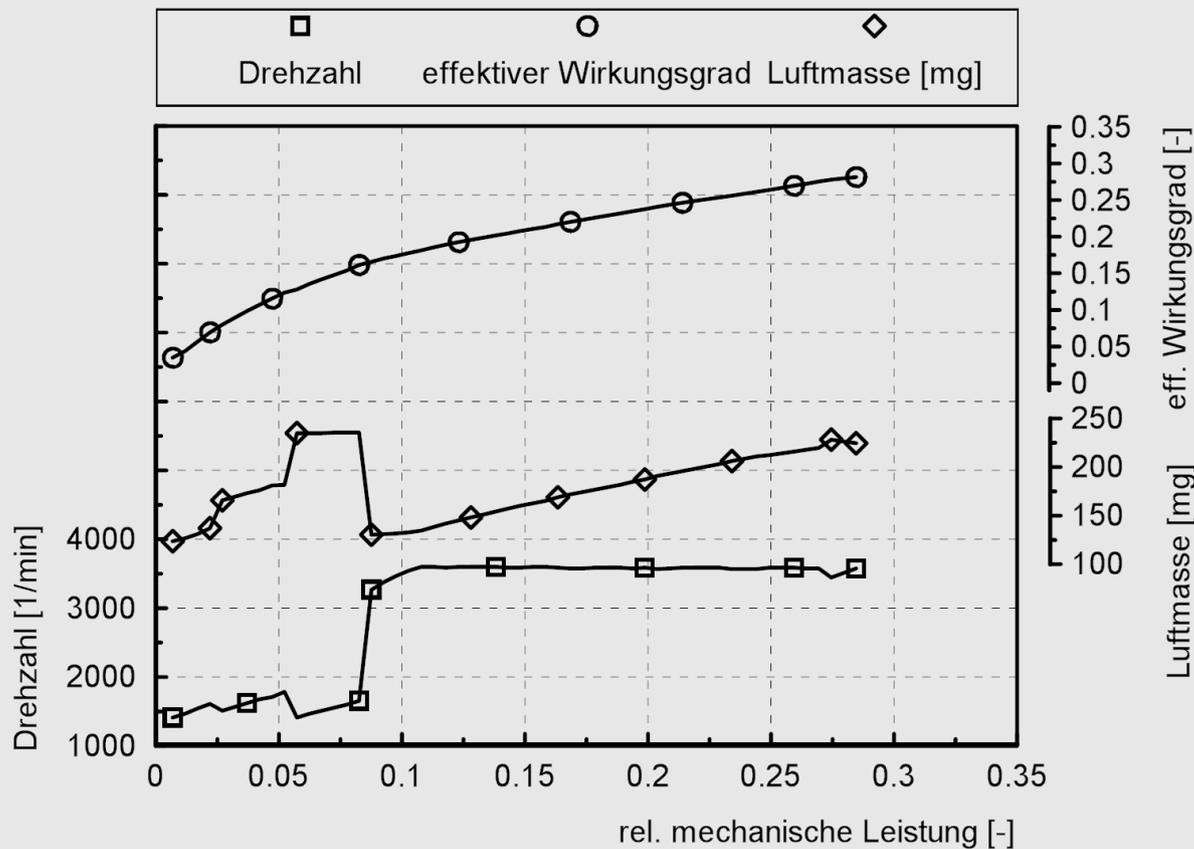
# Anwendung der Leistungsstruktur – (P1;P2)



Grenze (P1;P2) im Leistungsstrukturdiagramm

- Messkampagne: Rastervermessung ca. 700 Betriebspunkte
- Grenze P1;P2 → Maximaler effektiver Wirkungsgrad
- Definition der wirkungsgradoptimalen Drehzahl in Form einer Kennlinie als Funktion von der gewünschten mechanischen Leistung
 
$$n_{eta,opt} = kl_{eta,opt}(P_{e,rel,w})$$
- Momentenstruktur fährt optimalen Betriebspunkt an

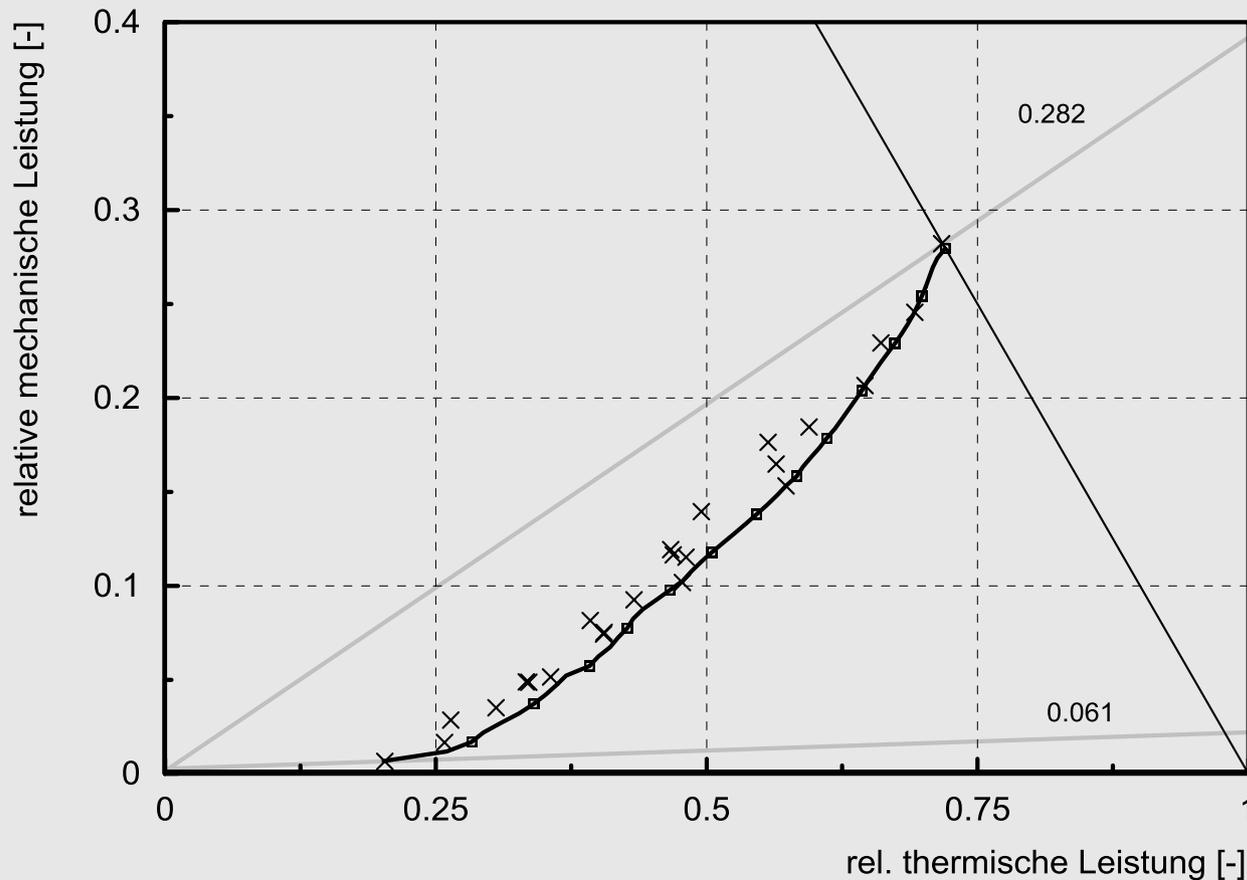
# Anwendung der Leistungsstruktur – (P3;P4)



Motorische Größen auf Grenze (P3;P4)

- Grenze (P3;P4) → Minimaler effektiver Wirkungsgrad
- Grenze definiert durch Verbrennungsstabilität und Abgastemperatur (790 °C)
- Drehzahl, Zündwinkel und Füllung müssen funktional bestimmt werden

## Anwendung der Leistungsstruktur – (P3;P4)



Grenze (P3;P4) im Leistungsstrukturdiagramm

- Grenze (P3;P4) → Minimaler effektiver Wirkungsgrad
- Grenze definiert durch Verbrennungsstabilität und Abgastemperatur (790 °C)
- Drehzahl, Zündwinkel und Füllung müssen funktional bestimmt werden

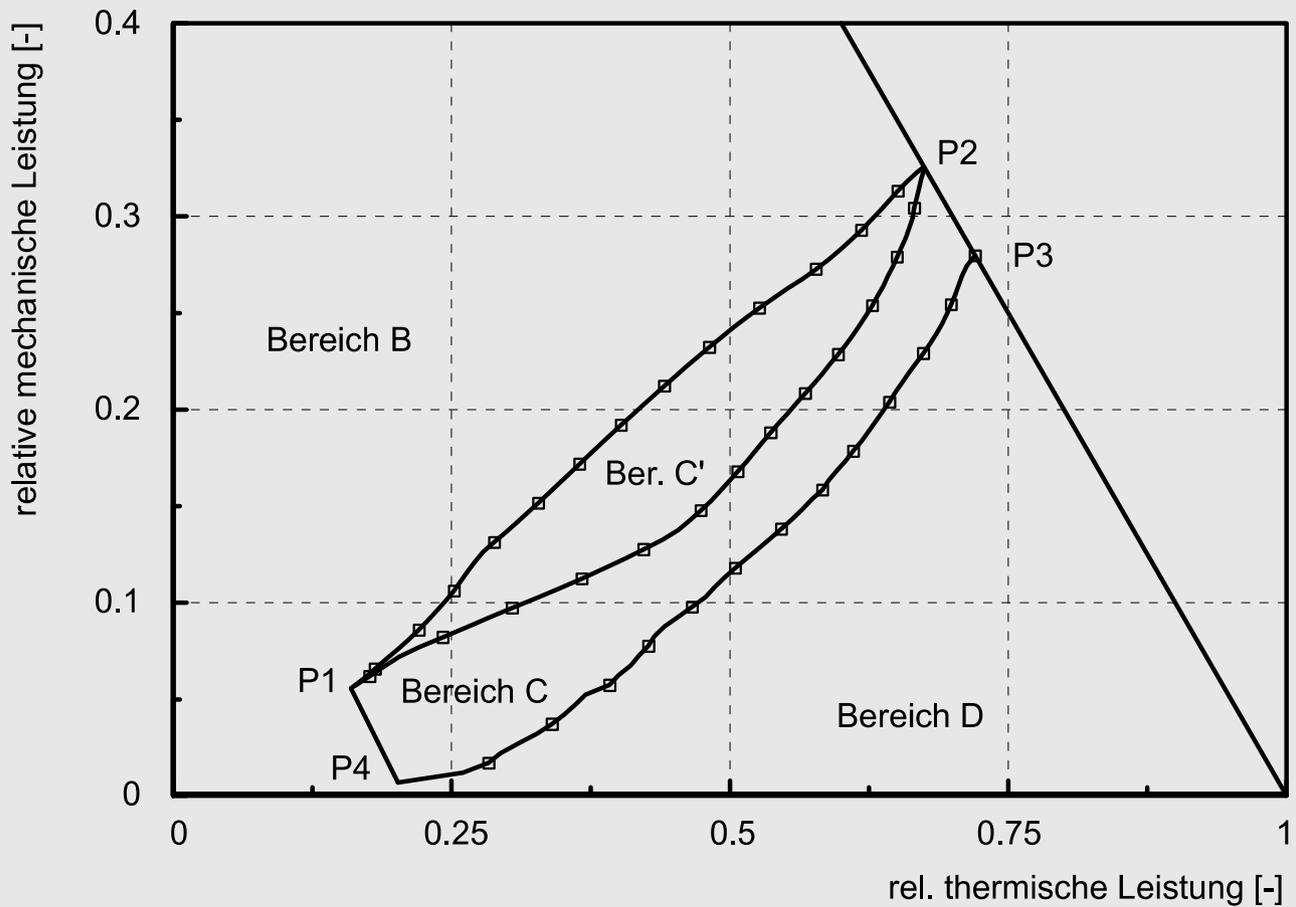


## Anwendung der Leistungsstruktur – (P3;P4)

- $n_{L,1} = kl_{eta,spae}(P_{e,w})$  → Definition der Drehzahl anhand einer Kennlinie
- $P_{th} = kl_{P3,P4}(P_{e,w})$  → Thermische Leistung mit bekannter Grenze P3;P4 bestimmen
- $m_L = \frac{(P_{th,rel} + P_{e,rel}) \cdot P_{g,max} \cdot i}{H_u \cdot n}$  → Luftmasse ergibt sich aus angeforderten Gesamtleistung
- $\eta_W = \frac{P_{e,rel}}{P_{e,rel} + P_{th,rel}}$  → gewünschter effektiver Wirkungsgrad
- $\eta_{ZW} = \frac{\eta_W}{kf_{\eta_{opt}}(n, m_L)}$  → gewünschter Zündwinkelwirkungsgrad
- $ZW_{\Delta} = kl_{\eta_{DZW}}(\eta_{ZW})$  → Zündwinkelwirkungsgradkennlinie → Abstand zum optimalen Zündwinkel

→ Betriebspunkt ist vollständig definiert

# Darstellung der Leistungsstruktur



- Bereich C' → keine ZW  
Verstellung nur Drehzahlvariation
- P1 →  $M_e > 0$  → min. Massenstrom des Gasmischers

	n	$m_{Luft}$	$M_e$	$\eta_e$	$\Delta_{ZW}$
	[1/min]	[mg]	[Nm]	[-]	[°KW]
P1	1400	117	7,24	0,256	0
P2	3600	222	17,08	0,326	0
P3	3599	222	14,82	0,282	13
P4	1398	118	0,14	0,005	34



## Zusammenfassung

- Rückverstromung von regenerativ erzeugtem Erdgas → KWK Anlagen
- Leistungsstruktur maximiert Variationsmöglichkeiten von Wärme und Stromabgabe → Entkopplung innerhalb der anfahrbaren Grenzen
- Darstellung der Betriebsbereiche im Leistungsstrukturdiagramm
- Exemplarische Anwendung der Leistungsstruktur als Funktionssatz zur Motorsteuerung

# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

