

Bestehende Kraftwerke sind Teil der Zukunftslösung – Umrüstung als Brücke zur Klimaneutralität Fuel Switch Konzepte

**Jürgen Klebes
Dr. Thomas Sonntag-Rösing
04.12.2025**

1. Einführung

2. Fuel Switch Konzepte

3. Technische Realisierung

4. Wirtschaftlichkeitsanalyse

5. Zusammenfassung und Fazit

AUTOREN

Autoren

Jürgen Klebes

Dipl.-Ing. Maschinenbau, Spezialist für Thermodynamik und Kraftwerksprozesse.
Über 30 Jahre Erfahrung in der Auslegung, Projektierung und der thermodynamischen Optimierung von Gas- und Dampfturbinenkraftwerken sowie von Dampfturbinen.
Langjährige Leitungsfunktionen bei Babcock-Borsig, Babcock-Hitachi, RWE, Hitachi Power Europe und Mitsubishi Power Europe, mit Schwerpunkten auf Konzept-engineering, Machbarkeitsstudien, Wirtschaftlichkeitsanalysen und der Berechnung von Garantiewerten bei internationalen Kraftwerksbauprojekten.



Dr. Thomas Sonntag-Rösing

Promovierter Chemieingenieur mit über 25 Jahren Erfahrung im internationalen Anlagen- und Maschinenbau und langjähriger Führungsverantwortung bei Hitachi Power Europe und Mitsubishi Power Europe, zuletzt als SVP & Bereichsleiter für Vertrieb, Projektierung und Geschäftsentwicklung u.a. im EPC- und Komponentengeschäft.
Zuvor technischer Leiter im Bereich F&E für Vergasungs- und Wasserstofftechnologien sowie Projektmanager in europäischen Brennstoffzellenprojekten.
Seit 2023 freiberuflicher Ingenieur spezialisiert auf Beratung, Geschäftsentwicklung sowie auf Angebots- und Projektmanagement im Anlagen- und Maschinenbau.



EINFÜHRUNG

Ausgangslage

- Energiewende erfordert neue flexible Kraftwerkskapazitäten
- Einführung Kapazitätsmechanismen in Diskussion, Start 2027
- Geplante Neubauten überwiegend als GuD-Anlagen und Peaker (open-cycle)
- Geringe Einsatzzeiten erwartet: wirtschaftlicher Betrieb mit großen Herausforderungen
- Modernen Kohlekraftwerken (USC-Blöcke) droht das Aus in (spätestens) 2033, dann Rückbau und Entsorgung

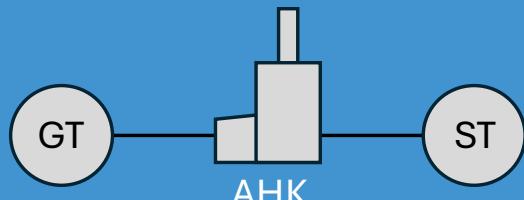
Alternative Option zum Neubau

- Umrüstung geeigneter Kohleblöcke auf Erdgas, später ggf. auf Wasserstoff
- Zusätzlich: Gasturbinen-Vorschaltung - Gasturbine ersetzt Frischlüfter und liefert Verbrennungsluft sowie zusätzliche elektrische Leistung
 - Steigerung von Anlagenleistung und –wirkungsgrad des Kohleblocks
 - Schnellstartfähigkeit, Netzbesicherung

FUEL SWITCH-KONZEPTE

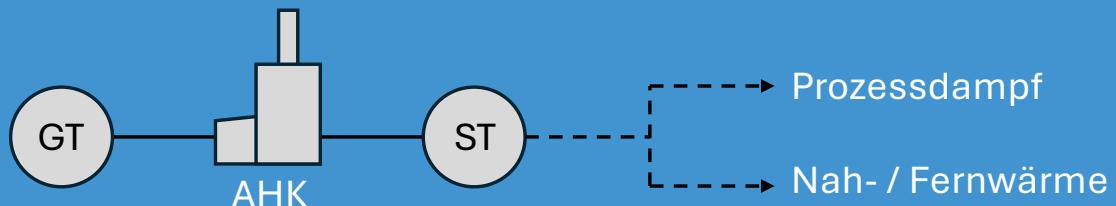
2. Fuel Switch Konzepte: Neubau GuD-Anlagen

1. Neue GuD-Anlagen (reine Stromproduktion), evtl. Weiterverwendung vorhandener Dampfturbinen nach Retrofit.



Moderne Leistungsklassen ca. 550 MW bis ca. 900 MW; Wirkungsgrade Neuzustand und 100%-Last: ca. **60% bis max. 63% (netto)**

2. Neue GuD-Anlagen mit KWK



Moderne Leistungsklassen ca. 600 MW bis 900 MW; Brennstoff-Nutzungsgrade ~ 85% Netto (je nach Verhältnis Strom/Wärme)

Abkürzungen:

GT Gasturbine

DT Dampfturbine

AHK Abhitzekessel

DE Dampferzeuger (vor Umrüstung Kohle gefeuert)

Bemerkung: Leistungen und Wirkungsgrade sind für den Einzelfall jeweils zu untersuchen

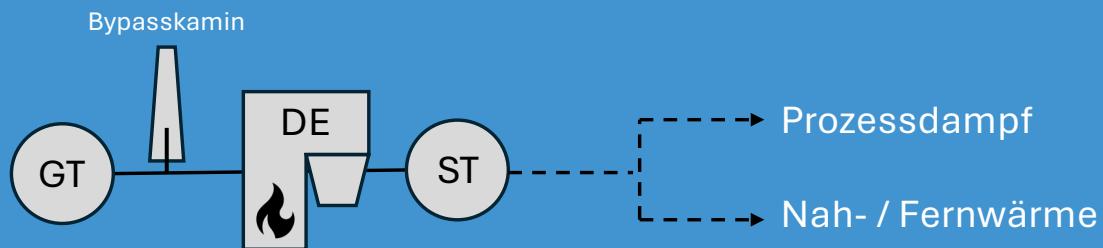
2. Fuel Switch Konzepte: Umrüstung bestehender USC-Kohleblöcke auf Erdgas/H₂

3. Bestandsanlagen (Kohle) auf Erdgas/H₂ umgerüstet



Leistungsklassen je nach Altanlage bis ca. 1.100 MW; Nettowirkungsgrade nach Umrüstung (reine Stromproduktion, 100%-Last)
ca. 45% bis ca. 50%, abhängig z.B. von Dampfdaten; Brennstoff-Nutzungsgrade ~ 70% (netto, je nach Verhältnis Strom/Wärme)

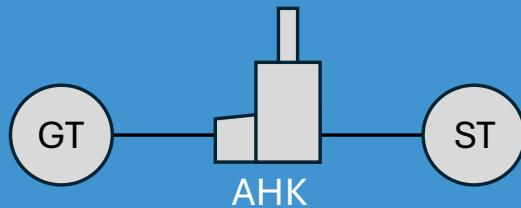
4. Bestandsanlagen (Kohle) auf Erdgas/H₂ umgerüstet + neue GT



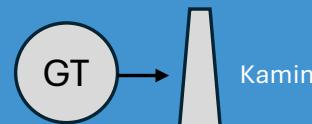
Moderne Leistungsklassen bis ca. 1.600 MW; Nettowirkungsgrade ca. 53 - 56% für moderne USC-Blöcke; Brennstoff-Nutzungsgrade ~ 70% Netto (je nach Verhältnis Strom/Wärme)

2. Fuel Switch Konzepte: GuD / Netzbesicherung / Umrüstung Kohleblock mit Vorschalt-GT

5. Neue GuD-Anlagen (reine Stromproduktion) und Netzbesicherungsanlage

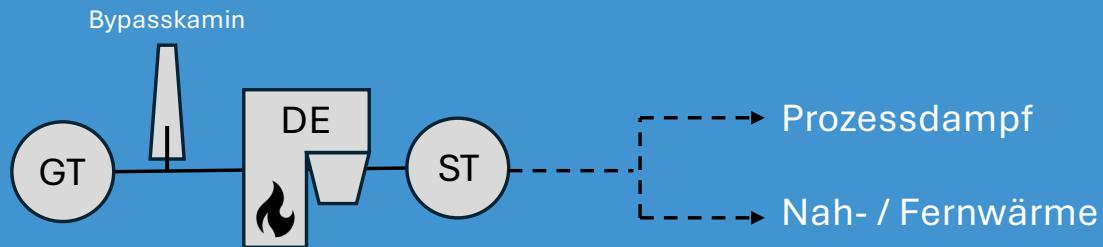


Moderne GuD: ca. 550 MW bis ca. 900 MW - Wirkungsgrade (neu) und 100%-Last: ca. **60% bis max. 63% netto**



Netzbesicherung (Open Cycle): ca. 40 MW bis ca. 300 MW Wirkungsgrade Neuzustand und 100%-Last: ca. 40% Netto

6. Bestandsanlagen (Kohle) auf Erdgas/ H₂ umgerüstet + neue GT

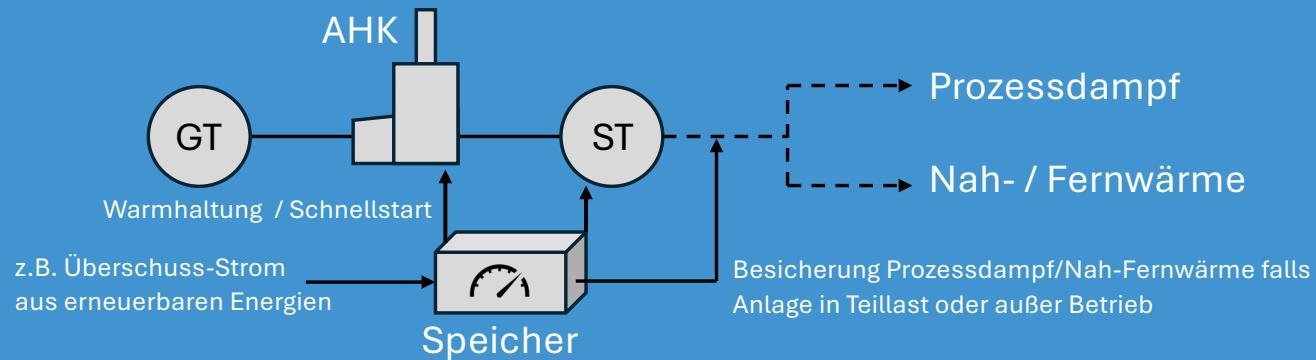


Moderne Leistungsklassen bis ca. 1.600 MW - Wirkungsgrade (neu) bei 100%-Last: ca. **53 - 56% Netto**
Netzbesicherung: GT-Überbauung z.B. ca. 200 MW (1 GT)
Abwärmenutzung bei GT-Schnellstart über Bypasskamin zur Vorwärmung des Dampfteils möglich; somit reduzierte Anfahrverluste

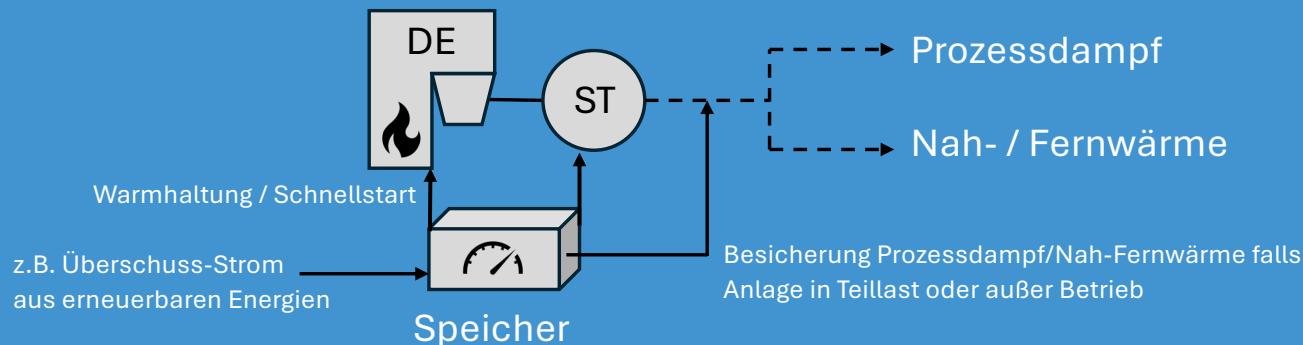
FUEL SWITCH-KONZEPTE (mit Wärmespeicher)

2. Fuel Switch Konzepte: Integration von Speichersystemen (1/2)

2B. Neue GuD-Anlage mit KWK

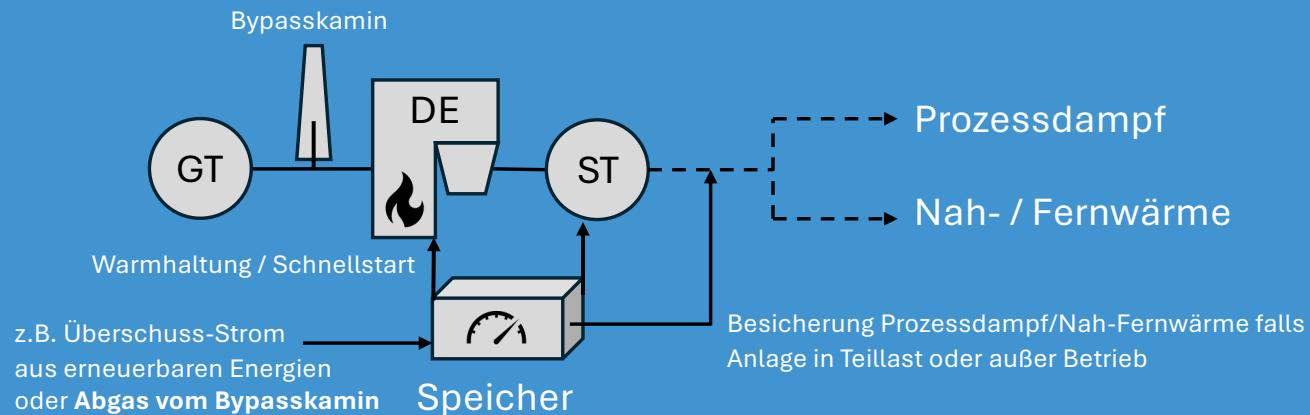


3B. Bestandsanlage (Kohle) umgerüstet auf Erdgas/H₂



2. Fuel Switch Konzepte: Integration von Speichersystemen (2/2)

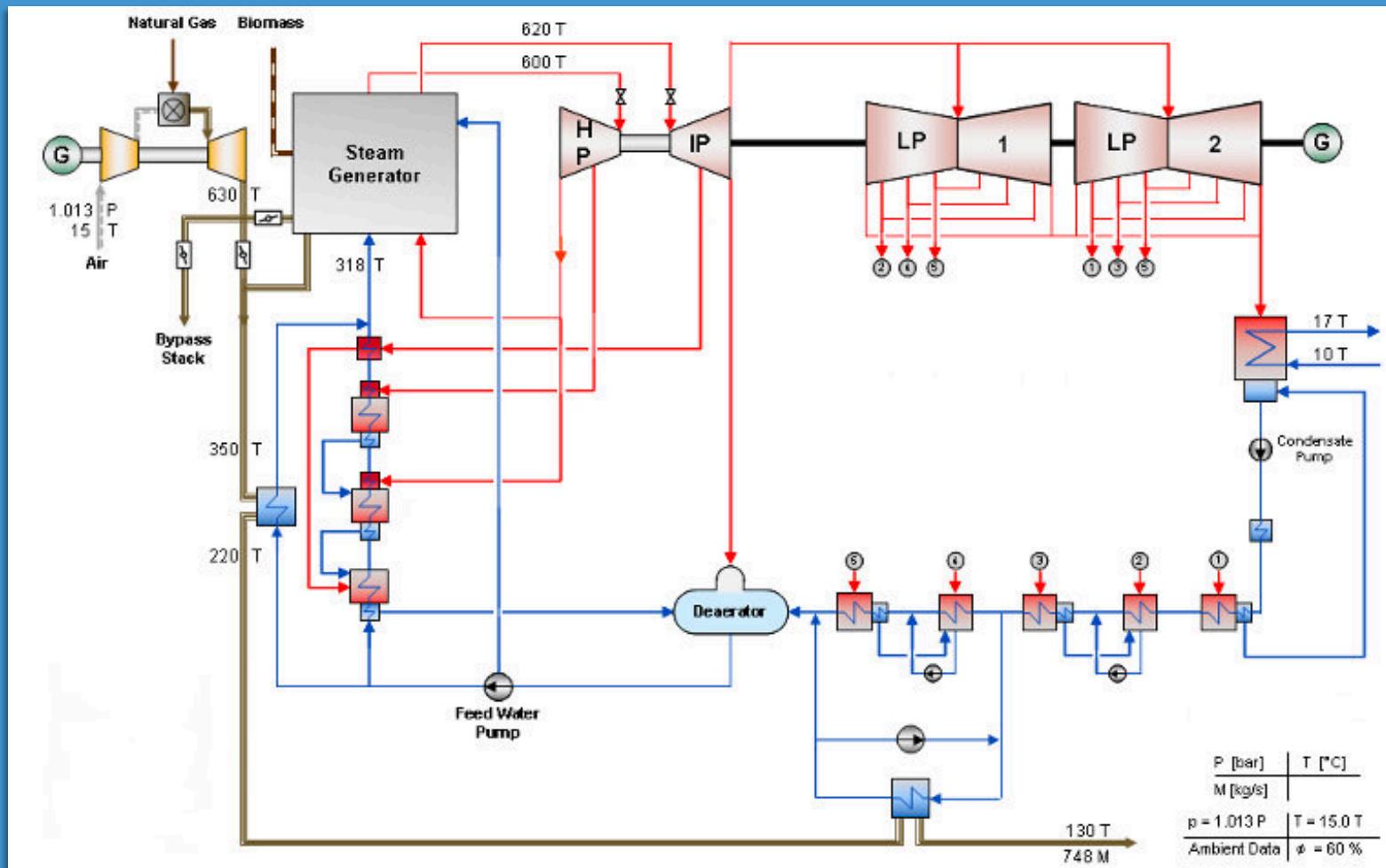
4B. Bestandsanlage (Kohle) umgerüstet auf Erdgas/H₂ und Vorschalt-Gasturbine



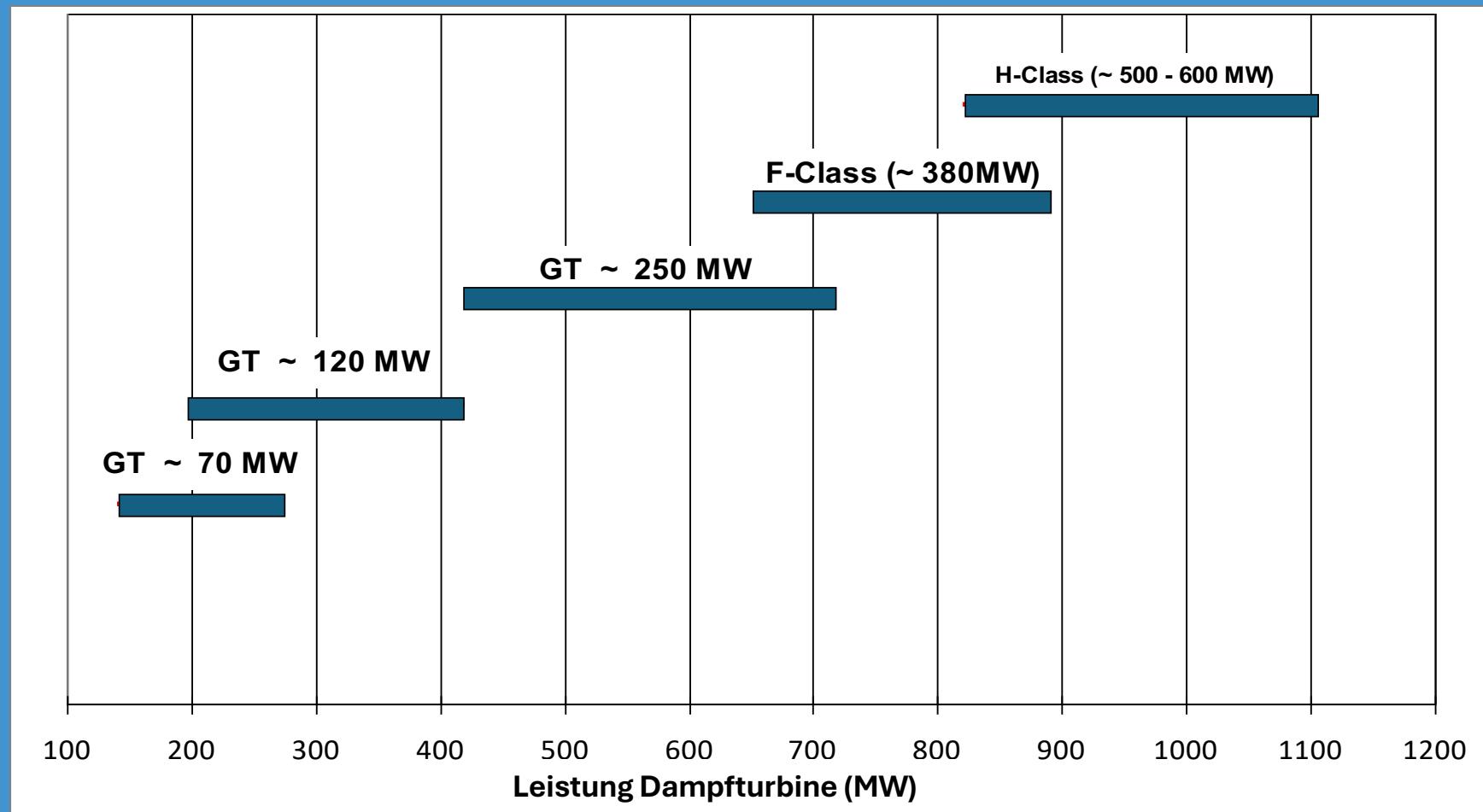
Vorgeschlagenes Konzept

FUEL SWITCH MIT VORSCHALTGASTURBINE

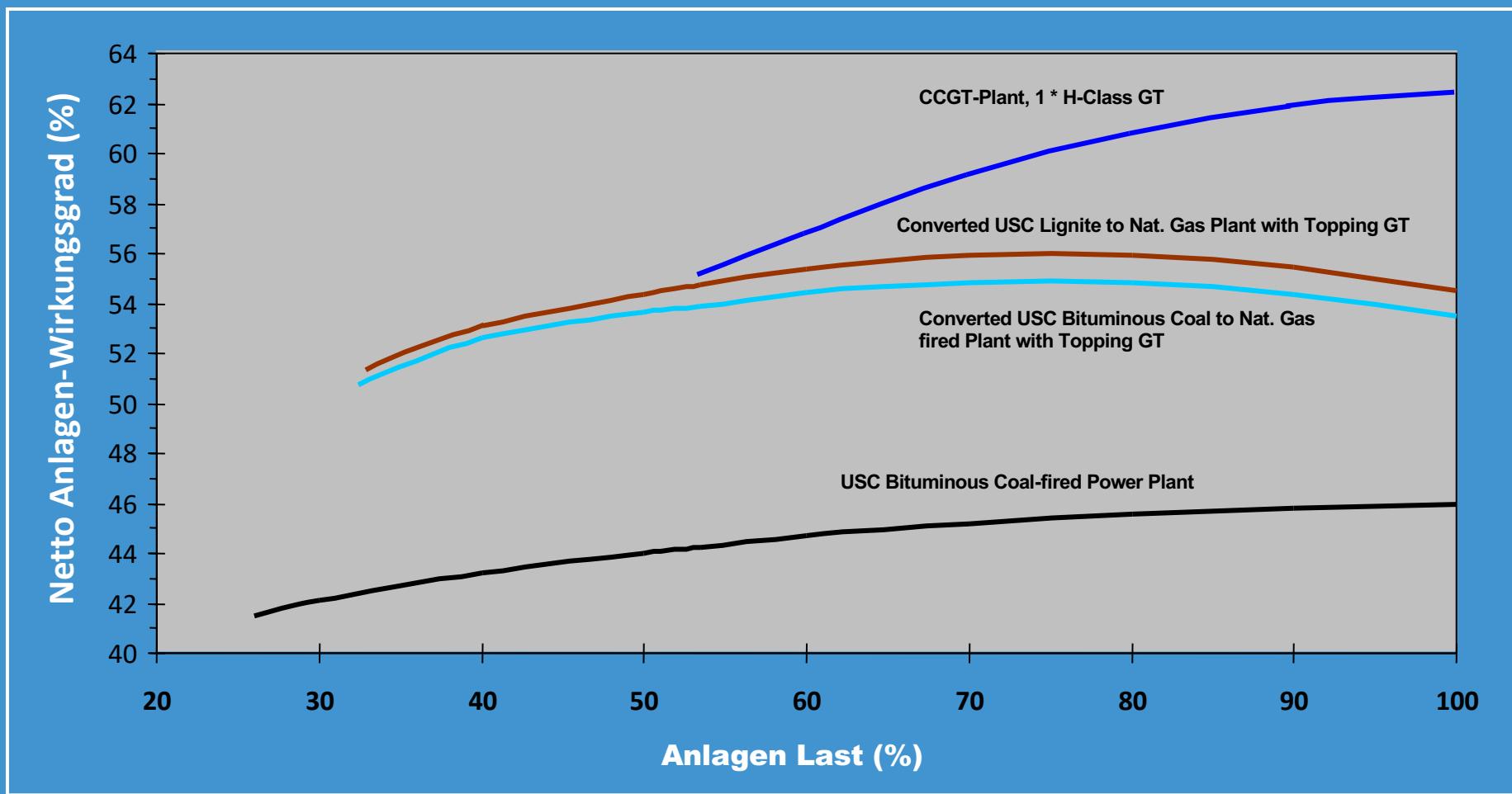
2. Fuel Switch Konzepte: Beispiel: Anlagenschema mit Vorschalt-Gasturbine



2. Fuel Switch Konzepte: Auswahldiagramm: Leistung GT vs. Leistung DT



2. Fuel Switch Konzepte: Netto-Anlagenwirkungsgrad vs. Anlagenlast



2. Fuel Switch Konzepte: Vergleich Anlagenkonzepte

	Elektrische Nettoleistung (bei reiner Stromerzeugung)	Wirkungsgrad Netto (bei reiner Stromerzeugung)	Brennstoff- Ausnutzungsgrad Netto (KWK-Betrieb)
	MWe	%	%
Neue GuD Anlage mit einer Gasturbine	800 - 900	62 - 63	
Neue GuD-Anlage, eine Gasturbine und Kraft-/Wärmekopplung	800 - 900	62 - 63	bis ca. 85 (je nach Wärmeproduktion)
Bestandsanlage (USC-Kohle) auf Erdgas/H ₂ umgerüstet	750 - ~ 1.050	~ 50	bis ca. 70
Bestandsanlage (USC-Kohle) auf Erdgas/H ₂ umgerüstet mit neuer Vorschalt-Gasturbine (Leistungsdaten abhängig von Bestandsanlage)	1.200 – 1.600	~ 57	bis ca. 70 Im GT-Solobetrieb ggf. höher
Angaben mit moderner Gasturbine der 500-600 MW-Klasse (kleinere Gasturbine möglich)			
Keine Betrachtung von z.B. Feststoff-Wärmespeichern			

TECHNISCHE REALISIERUNG

**Vergabepreisentwicklung –
Kostenschätzung - Termine**

3. Technische Realisierung: Vergabepreisentwicklung GuD-Neubau (2019-2025)

Land	Kraftwerk	Leistung MWe	# Linien	Jahr	EPC Preis (MEuro)	Euro/kWe
Griechenland	Agios Nikolaos	826	1	2019	322 €	390 €
Polen	Dolna Odra	1.366	2	2020	1.126 €	824 €
Italien	Tavazzano	800	1	2021	400 €	500 €
Polen	Grudziadz	560	1	2022	470 €	839 €
Polen	Adamow	560	1	2024	636 €	1.136 €
UK	Teeside	742	1	2025	955 €	1.287 €
Polen	Kozienice	1.336	2	2025	1.499 €	1.122 €

Quelle: Eigene Projekte bzw. Presseberichte/Internet

3. Technische Realisierung: CAPEX-Abschätzung Neubau 800 MW GuD-Anlage

Komponente / System	Rel. Anteil an Gesamtanlage	Kosten bei 900 €/kW Scenario	Kosten bei 1.100 €/kW Scenario
GT/ST + Generator + Auxiliaries	38 %	274 M€	334 M€
HRSG	13 %	94 M€	106 M€
ET/LT	11 %	79 M€	97 M€
BoP (incl. SCR), Rohrleitungen, Kabeltrassen	15 %	108 M€	123 M€
Bau (Gründung, Gebäude, Straßen, Blitzschutz ...)	12 %	86 M€	106 M€
Montage, IBN, Tests, HSE, Doku	11 %	79 M€	114 M€
	100%	720 M€	880 M€

3. Technische Realisierung: Planung und Umsetzung



- 1. Genehmigungsanforderungen:** Nutzungsänderung, Umwelt- und Betriebsgenehmigungen
- 2. Stelllegung evtl. Rückbau kohlebezogener Anlagen**
- 3. Kessel-/Feuerungssanierung bzw. –ersatz:** u.a. Umrüstung/Austausch Brenner, Feuerraumgeometrie
- 4. Bautechnische Anpassungen:** u.a. Neubau GT-Maschinenhaus, Bypasskamin
- 5. Montage und Integration Gasturbine und Bypasskamin**
- 6. Dampferzeugung und –konditionierung:** Überprüfen Dampfleitungen, Speisewasser- und Kondensatsysteme
- 7. Gasversorgung:** Anschluss Gasversorgung / Wasserstoffversorgung, Abrechnungsmetering, Sicherheitsarmaturen
- 8. Hilfsanlagen**
- 9. Elektrische / Steuerung- und Leittechnische Integration**

3. Technische Realisierung: Zeitbedarf Vorplanung und Umsetzung



BRENNSTOFFUMSTELLUNG

Vorplanung / Genehmigung und Nutzungsänderung / Engineering

ca. 15 Monate

Vorbereitung / Beschaffung

ca. 9-12 Monate

Umbau / IBS / Tests (während Blockstillstand)

ca. 8 Monate

Typische Gesamtdauer

ca. 32 MONATE

+ INTEGRATION „Gasturbine“ (nach GT-Verfügbarkeit)

+ 12-18 MONATE

NEUBAU GUD-ANLAGEN UND PEAKER

Peaker: - aktuell: typische Gesamtdauer **bis zu 36 Monaten**

- Verfügbarkeit GT zeitkritisch

GuD-Anlage: - aktuell: typische Gesamtdauer **bis zu >72 Monate**

- Verfügbarkeit Großkomponenten kritisch (Gas- und Dampfturbine, Generatoren, Trafos), teilweise erst ab >2028 lieferbar, Slot-Reservierung nötig

3. Technische Realisierung: CAPEX-Abschätzung Umstellung Kohle auf Gas

Arbeitspaket	Kosten [Mio. €]
Umrüstung 800 MW Kohlekraftwerk auf Gas inkl. dafür notwendiger Rückbauten	200
Integration 500 MW Gasturbine/Generator sowie Hilfssysteme	345
Gasanschluss, Abgasreinigung, Bypasskamin	50
Engineering, Genehmigungen, PM	30
GESAMT (ca.)	625

Bei Verwendung von H₂ als Brennstoff ist der CAPEX um etwa 6 - 8% höher.

Aus dem o.g. CAPEX ergibt sich bei rund **1.300 MW** Anlagenleistung ein spezifischer CAPEX von **481 Euro/kWe** – demgegenüber steht bei spezifischer CAPEX von **1.100 Euro/kWe** für eine neue GuD-Anlage mit **800 MWe**.

✓ **Spezifischer CAPEX um 56% reduziert**

WIRTSCHAFTLICHKEITSANALYSE

-

Gegenüberstellung:

800 MW GuD vs. 1.270 MW Umrüstung inkl. Vorschalt-GT

-

Kapitalwertbetrachtung – Stromgestehungskosten – CO₂ Emissionen

4. Wirtschaftlichkeitsanalyse: Kapitalwertbetrachtung

Erdgaspreis: 10,0 Euro/GJ CO ₂ -Abgabe: 100 Euro/t					
äquiv. Vollast- stunden	Strom- Mindest-Verkaufspreis (Grenzkosten GuD)	Kapitalwerte		Kapitalwerte (Break Even)	
		Ergebnisse für Topping-GT + Bestandsanlage		Ergebnisse für neue GuD, 800 MW	
h/a	Cent/kWh	Euro/MWh	Mill. Euro	Mill. Euro	
1000	22.35	223.50	608.3	0	
2000	15.67	156.70	451.5	0	
3000	13.45	134.50	294.8	0	
4000	12.33	123.30	138.3	0	

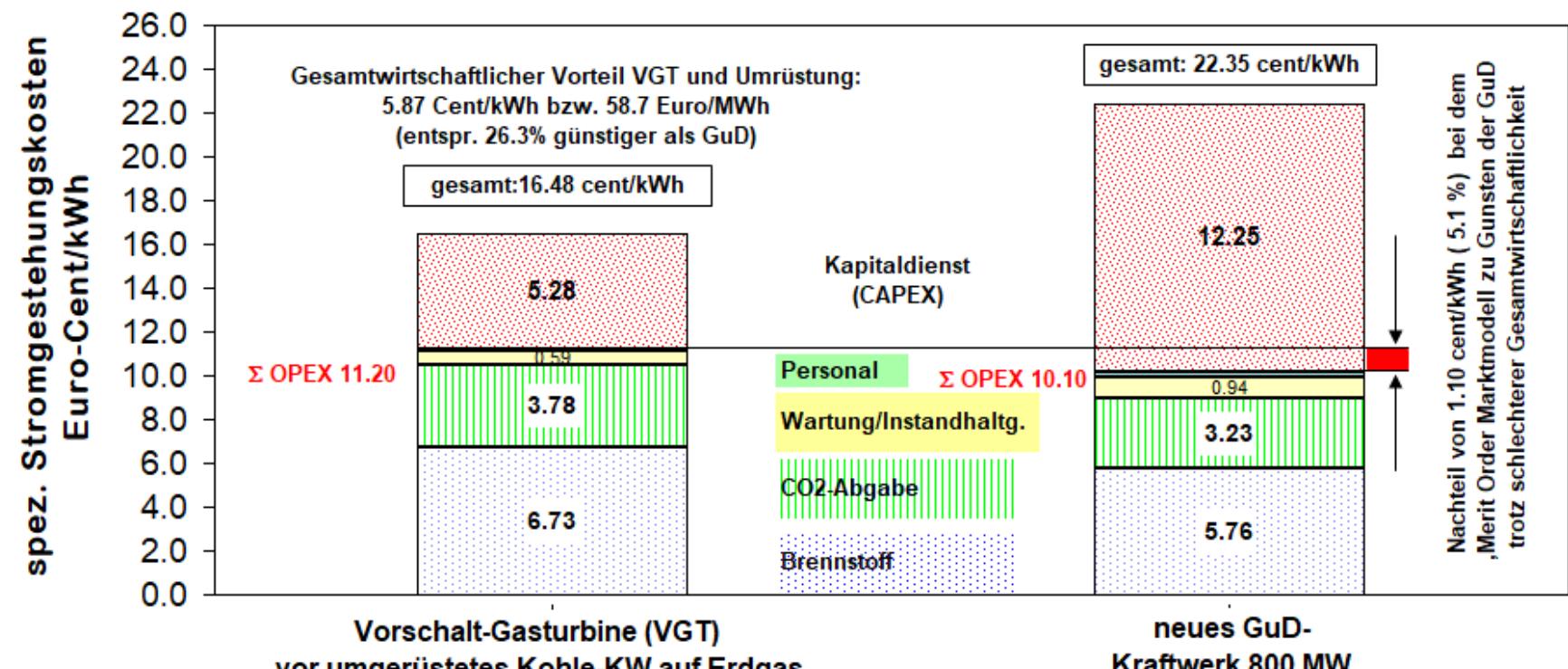
Erdgaspreis: 14,0 Euro/GJ CO ₂ -Abgabe: 100 Euro/t					
äquiv. Vollast- stunden	Strom- Mindest-Verkaufspreis (Grenzkosten GuD)	Kapitalwerte		Kapitalwerte (Break Even)	
		Ergebnisse für Topping-GT + Bestandsanlage		Ergebnisse für neue GuD, 800 MW	
h/a	Cent/kWh	Euro/MWh	Mill. Euro	Mill. Euro	
1000	24.66	246.60	624.5	0	
2000	18.46	184.60	499.1	0	
3000	15.75	157.50	343.4	0	
4000	14.64	146.40	202.9	0	

1. Die gezeigten Kapitalwerte (Profit über 25 Jahre als Barwert) sind trotz Annahmen zu Ungunsten der GT-Vorschaltung immer für diese Variante höher.
2. Zukünftige Marktmodelle (Kapazitätsmarkt) und Berücksichtigung von z.B. Teillastfahrweisen begünstigen den Kapitalwert-Typ mit Vorschalt-GT und Bestandsanlage.

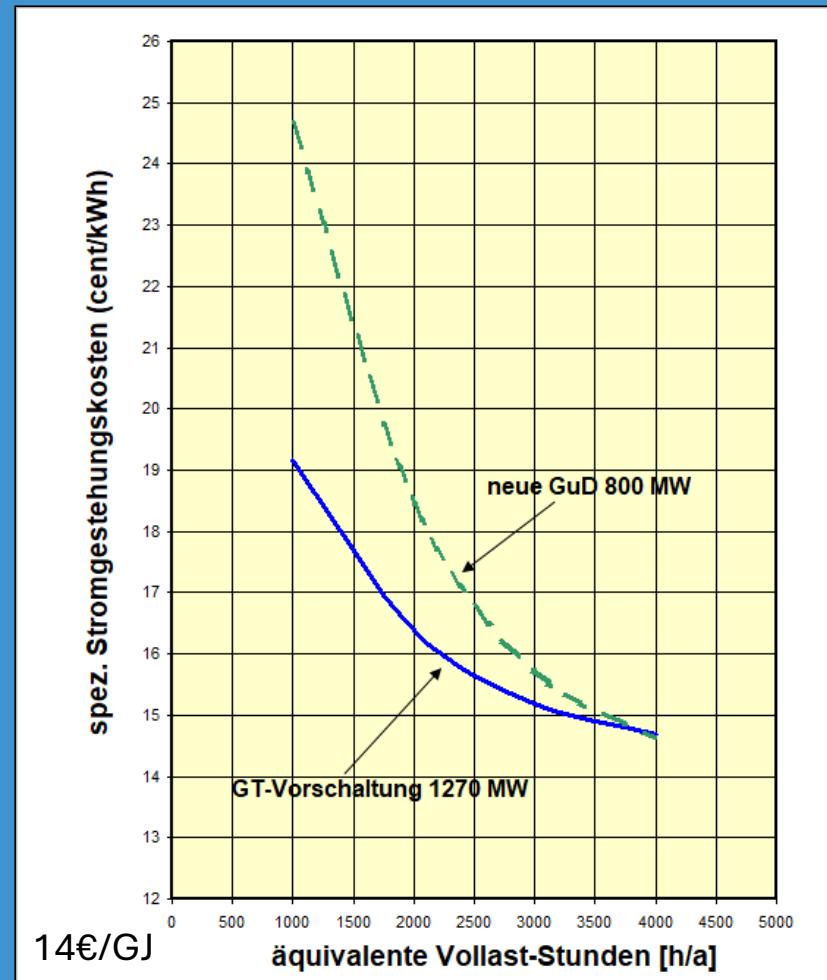
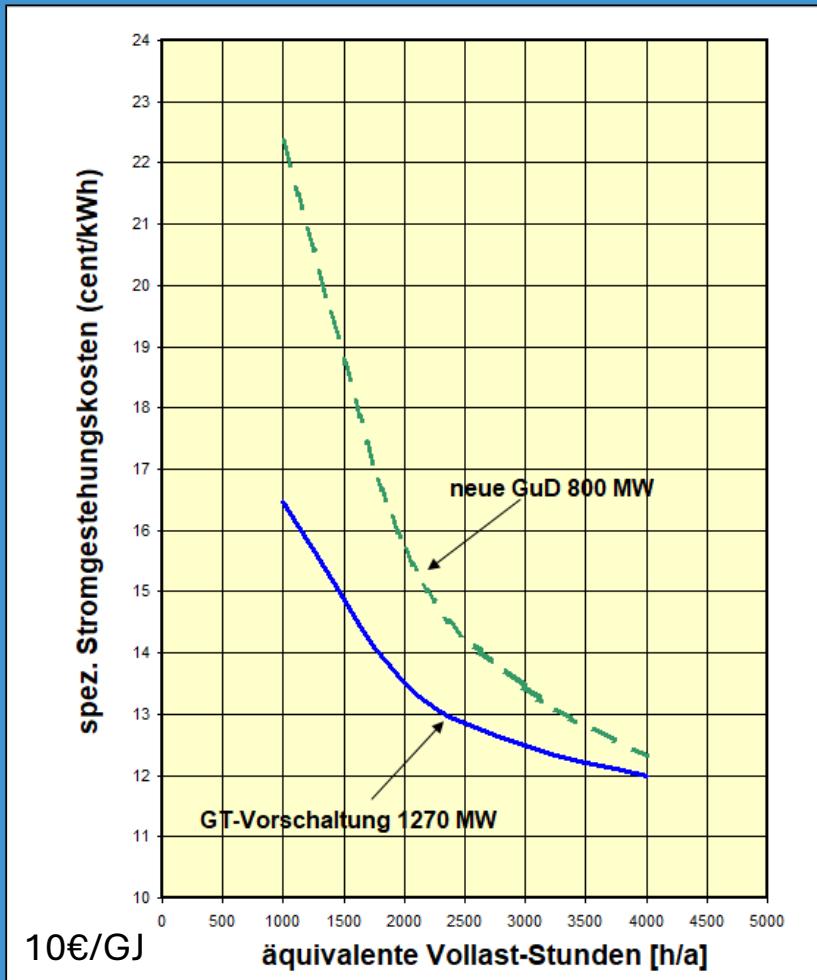
4. Wirtschaftlichkeitsanalyse: Vergleich Stromgestehungskosten

Berechnungsbeispiel:

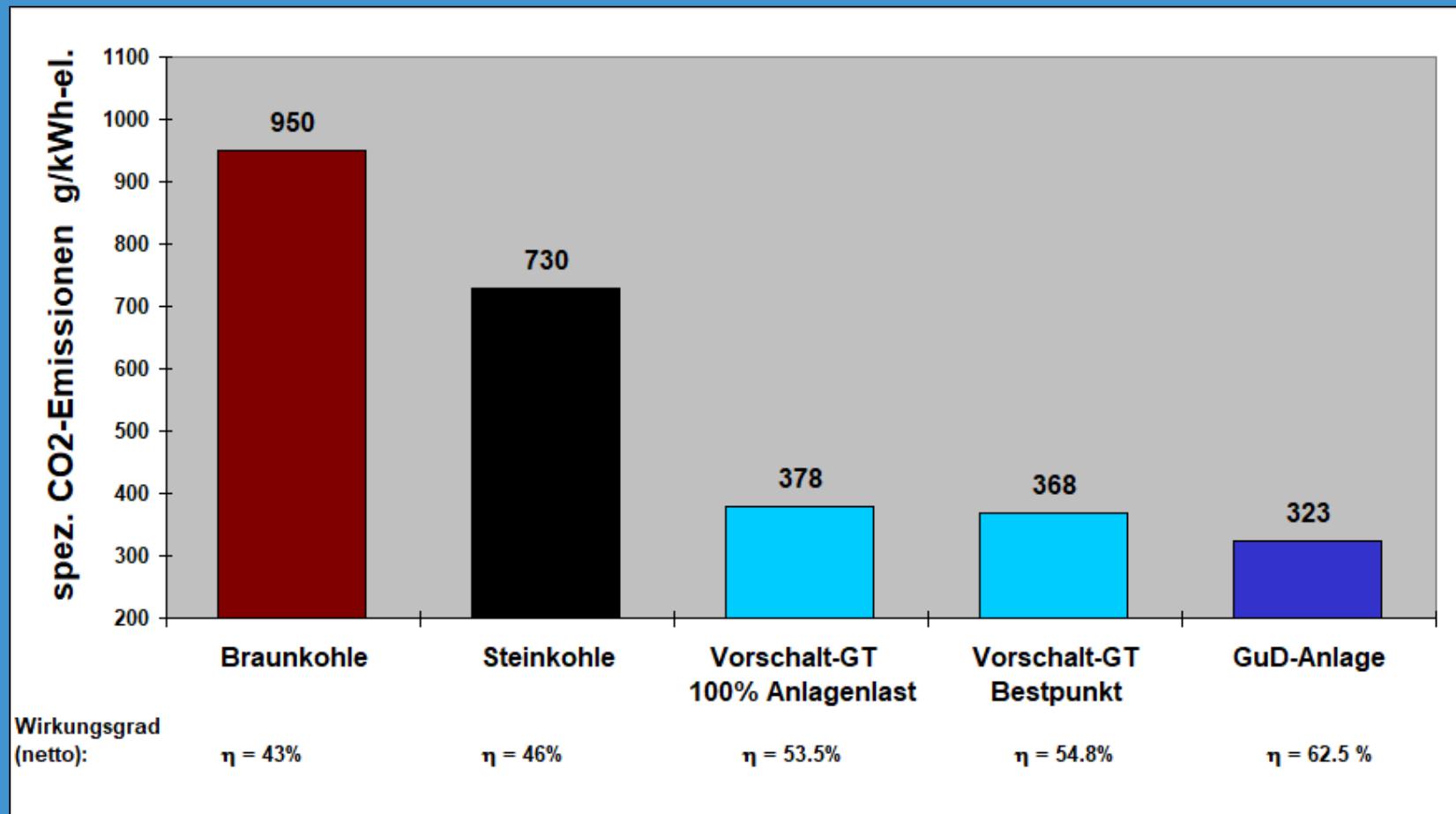
Äquivalente Vollast-Stunden: 1000 h/a
Gaspreis 10 Euro/GJ (Hu)
CO2-Abgabe: 100 Euro/t



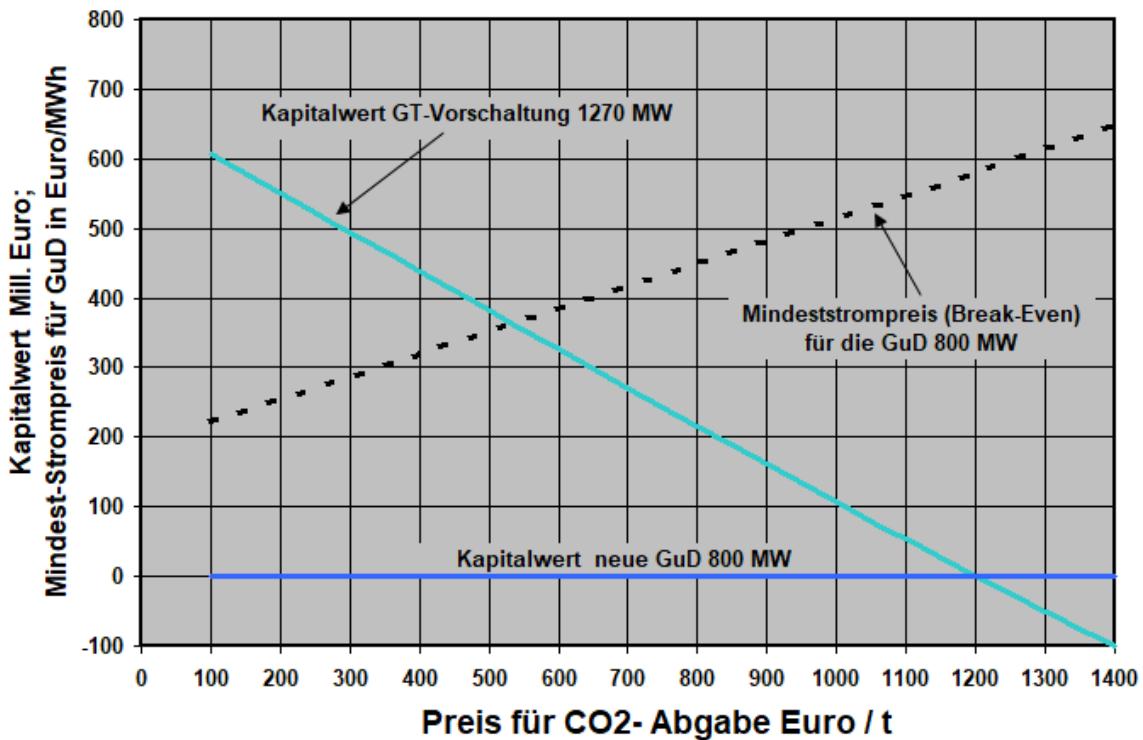
4. Wirtschaftlichkeitsanalyse: Stromgestehungskosten nach Vollaststunden



2. Fuel Switch Konzepte: Spezifische CO₂-Emissionen



2. Fuel Switch Konzepte: Kapitalwert zu CO₂-Emissionspreis



Um den Kapitalwert für eine neue GuD 800 MW-Klasse nicht in den negativen Bereich abgleiten zu lassen, ist der Stromverkaufspreis gemäß der gestrichelten Linie erforderlich.

Wird dieser Stromverkaufspreis auch für die untersuchte Variante mit GT-Vorschaltung eingesetzt, ergibt sich der Kapitalwert für die GT-Vorschaltung gemäß Diagramm.

Gerechnet mit einem Brennstoffpreis 10 €/GJ und 1.000 äquivalente Vollaststunden/Jahr

ZUSAMMENFASSUNG

6. Zusammenfassung: Konzepte

1. Die Wirtschaftlichkeitsdaten sind zunächst nur vereinfacht für den Vollastbetrieb gerechnet. **Berücksichtigung von Lastprofil, Schnellstarteigenschaften und hohen Lastrampen führt zu Vorteilen der GT-Vorschaltung.**
2. Gasturbine mit Bypasskamin können **in kurzer Zeit mit hohen Gradienten gestartet** werden, ohne Startzeit von Dampferzeuger oder Dampfturbine berücksichtigen zu müssen.
3. **Hohe Flexibilität, Betrieb mit sehr geringer Last** entweder nur über die Gasturbine oder über den Kessel ohne Gasturbine über vorhandenen Frischlüfter und Saugzug. **Mindestlast durch Gasfeuerung niedriger verglichen mit Kohle.**
4. **Niedrige spezifische Investmentkosten** (< 60% verglichen mit neuer GuD) erhöhen die Wirtschaftlichkeit und ergeben **niedrige spezifische Stromgestehungs-Vollkosten.**

6. Zusammenfassung: Konzepte

5. **GT-Vorschaltung besonders geeignet für Anlagen mit Wärmeauskopplung**, da die vorhandene Infrastruktur der Fernwärmeverzeugung beibehalten werden kann. Die neu zu installierenden Rauchgas-Economizer können für die wirtschaftliche Fernwärmeverzeugung mit herangezogen werden.
6. Die **Anlage kann schrittweise auf Wasserstoff umgerüstet und betrieben werden**, zunächst nur der Kessel, später die Gasturbine. Sie kann ‚Hydrogen-Ready‘ konzipiert werden, was ggf. bei der Auslegung (Materialwahl, Anlagen-Layout etc.) berücksichtigt werden muss.
7. **Kombination von Marktkraftwerk und Netzbesicherungsanlage möglich**, dabei ist Vorwärmung des Dampfteils über GT-Abgase möglich (Erhöhter Brennstoffausnutzung, reduzierte Anfahrkosten).

5. Fuel Switch Konzepte: Vor- / Nachteile

	GuD	GuD KWK	Kohle zu Gas/H2 ohne GT	Kohle zu Gas/H2 mit GT
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> - hoher Wirkungsgrad - Anlagenstandard 	<ul style="list-style-type: none"> - hohe Brennstoffausnutzung - geringe Stromproduktionskosten 	<ul style="list-style-type: none"> - geringer Investitionsaufwand - KWK bliebe in Betrieb - geringe Produktionsvollkosten bei 500 - 2.000 h/a 	<ul style="list-style-type: none"> - geringer Investitionsaufwand (45% spezifischer Invest im Vergleich zu GuD mit neuer DT) - KWK bliebe in Betrieb - Geringe Produktionsvollkosten bei 1.000 h/a - Stromgestehungs kosten ca. 67% ggü. GuD - Teillastwirkungsgrad höher als bei Vollast - kurze Startzeiten
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> - hohe Investkosten - hoher Wirkungsgrad rechnet sich nicht unter 2.000 h/a 	<ul style="list-style-type: none"> - hohe Investkosten - hoher Wirkungsgrad rechnet sich nicht unter 2.000 h/a 	<ul style="list-style-type: none"> - lange Anfahrzeiten (durch Speicher verkürzbar) - geringerer Wirkungsgrad als GuD - Brennstoffausnutzung bei Fernwärmeanschluss ggf. höher als GuD ohne KWK 	<ul style="list-style-type: none"> - lange Anfahrzeiten für den Dampfteil (durch Speicher verkürzbar) - geringerer Wirkungsgrad als GuD - Brennstoffausnutzung bei Fernwärmeanschluss ggf. höher als GuD ohne KWK
Bemerkungen		Kosten durch vorhandene DT reduzierbar	<ul style="list-style-type: none"> - Umrüstkosten nur für Dampferzeuger sowie für Gasversorgung 	<ul style="list-style-type: none"> - Umrüstkosten nur für Dampferzeuger, Gasversorgung und Zubau GTG mit Bypasskamin und Abgaskanal

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Kontaktinformationen

Dr. Thomas Sonntag-Rösing
Ingenieurbüro C4SP

Geer 46
D-48653 Coesfeld
M: +49 151 16507200
E: t_sonntag-roesing@c4sp.de
W: www.c4sp.de

Jürgen Klebes

M: +49 173 256 5574
E: juergenklebes@aol.com