



Hochschule Kempten  
University of Applied Sciences

# CO<sub>2</sub>-Emissionen und Energiekosten verschiedener Systeme der Kraft-Wärme- Kälte-Kopplung

ASUE-Fachtagung 26. – 27. Oktober 2010

Prof. Dr. Bernd Biffar

Hochschule Kempten



# Inhalt

---

1. Einleitung
2. Referenzsysteme
3. CO<sub>2</sub>-Emissionen
4. Energiekosten
5. Zusammenfassung

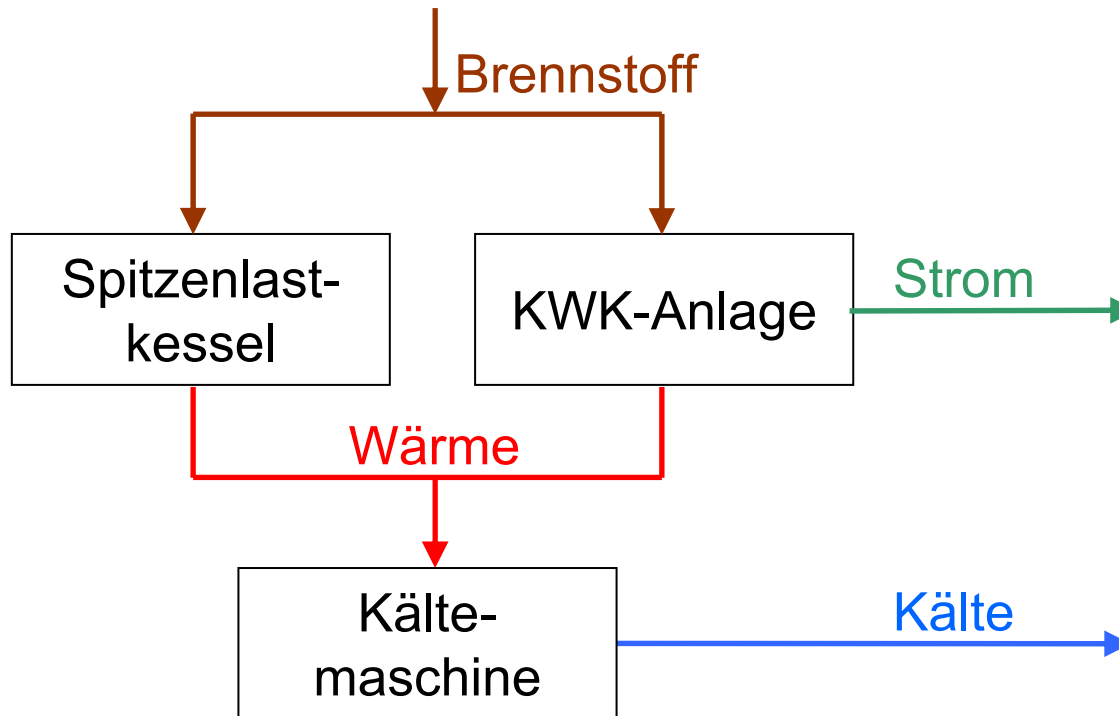
# 1 Einleitung

---

- Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) kann
  - Primärenergiebedarf BRD reduzieren
  - Beitrag zur Reduzierung der CO<sub>2</sub>-Problematik leisten
- Politik: Erhöhung des KWK-Stromanteils auf 25 % bis 2020
- Kernthema: Wie kann Wärmenutzung KWK-Anlagen erhöht werden, so dass für Wirtschaftlichkeit ausreichende Volllaststundenzahl und damit Ausbau KWK erreicht wird?
- Ansatzpunkt:
  - Wärmeerzeugung von KWK-Anlagen wird zur Herstellung von Kälte mit Absorptionskältemaschinen verwendet => Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung (KWKK)
  - Wärme- und Kältebedarf sind saisonal gegenläufig, KWKK kann Auslastung KWK-Anlage erhöhen

# 1 Einleitung

## Prinzip der KWKK:



# 1 Einleitung

---

=> Wie sinnvoll ist KWKK aus ökologischer und ökonomischer Sicht?

Berechnung und Vergleich der

- CO<sub>2</sub>-Emissionen
- Energiekosten

von KWKK-Anlagen und getrennter Versorgung mit Strom und Kälte

# 1 Einleitung

---

## Berechnungsparameter:

### ➤ Technik

- elektrischer Nutzungsgrad KWK-Anlage
- thermischer Nutzungsgrad KWK-Anlage
- Nutzungsgrad Kessel
- Emissionsfaktor Stromerzeugung
- COP Kältemaschinen (E-Turbo, ein- und zweistufiger Absorber)

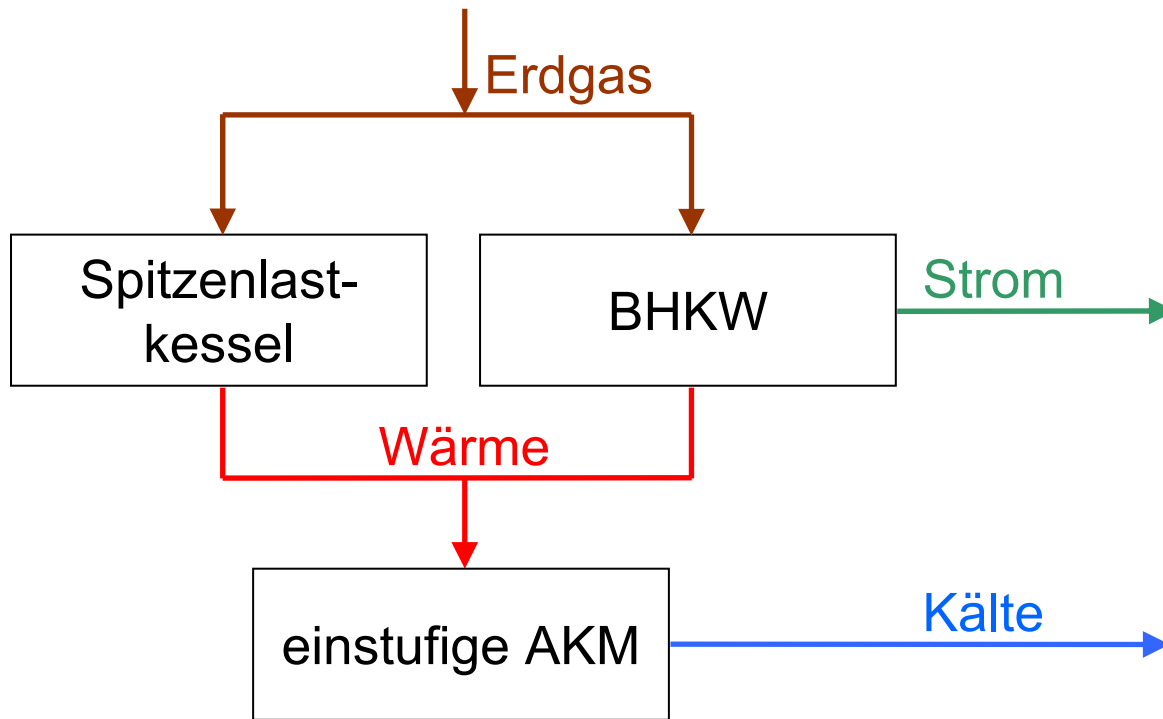
### ➤ Wirtschaftlichkeit

- Brennstoffpreis
- Strompreis

Vollständige  
Parametervariation sehr  
umfangreich => Definition  
typischer Referenzsysteme  
und Berechnung von zwei  
Preisszenarien

## 2 Referenzsysteme

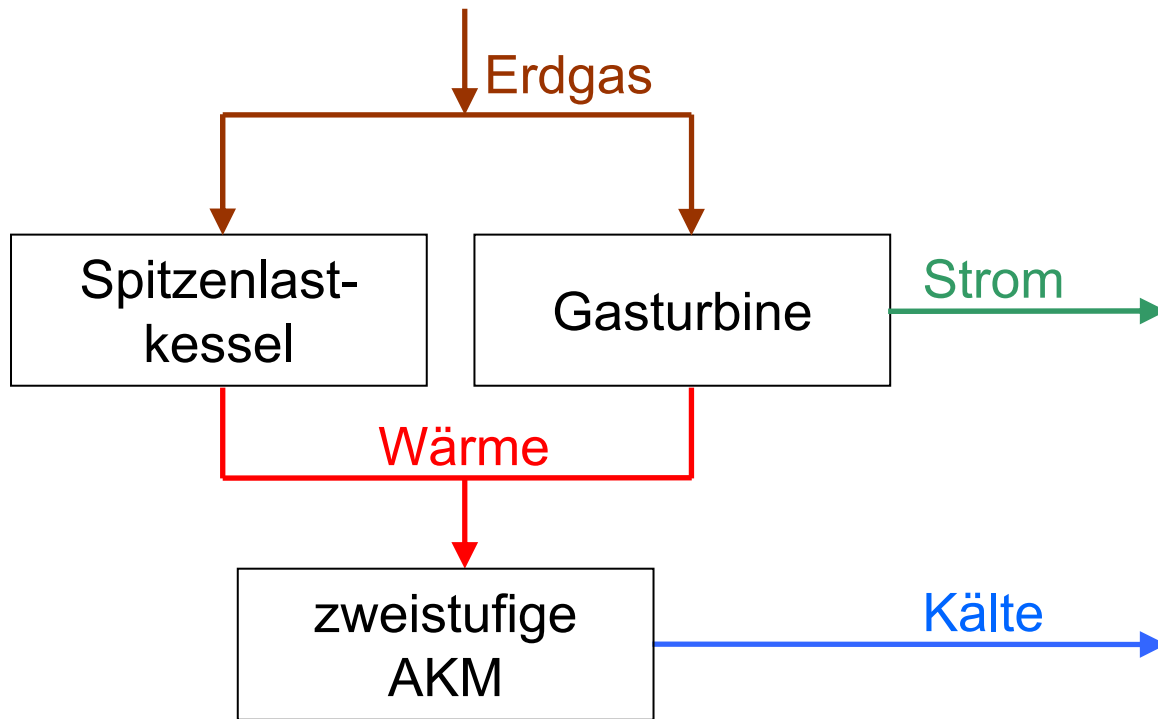
### 1. Blockheizkraftwerk mit einstufiger Absorptionskältemaschine (AKM)



$\eta_{el, \text{BHKW}}$	40 %
$\eta_{th, \text{BHKW}}$	45 %
$\eta_{\text{Spitzenlastkessel}}$	90 %
$COP_{\text{AKM}}$	0,6

## 2 Referenzsysteme

### 2. Gasturbinenanlage mit einstufiger Absorptionskältemaschine

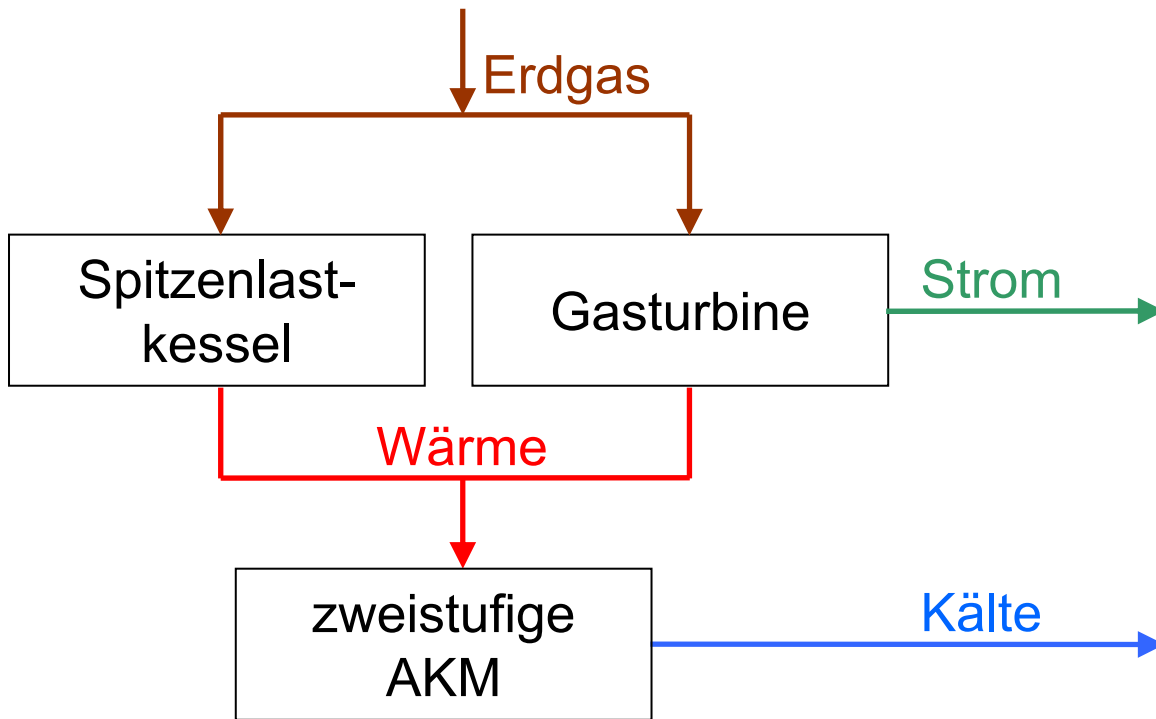


$\eta_{el, GT}$	30 %
$\eta_{th, GT}$	50 %
$\eta_{Spitzenlastkessel}$	90 %
$COP_{AKM}$	0,6



## 2 Referenzsysteme

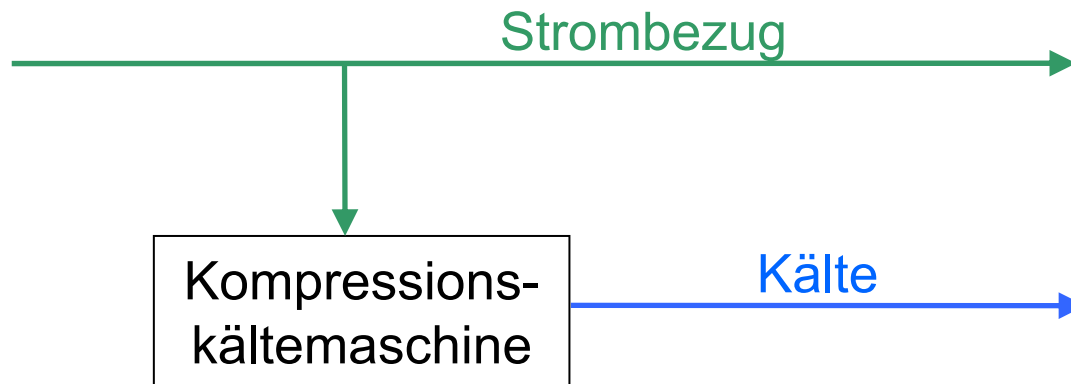
### 2. Gasturbinenanlage mit zweistufiger Absorptionskältemaschine



$\eta_{el, GT}$	30 %
$\eta_{th, GT}$	50 %
$\eta_{Spitzenlastkessel}$	90 %
$COP_{AKM}$	1,1

## 2 Referenzsysteme

### 3. Getrennte Versorgung mit Kompressionskältemaschine

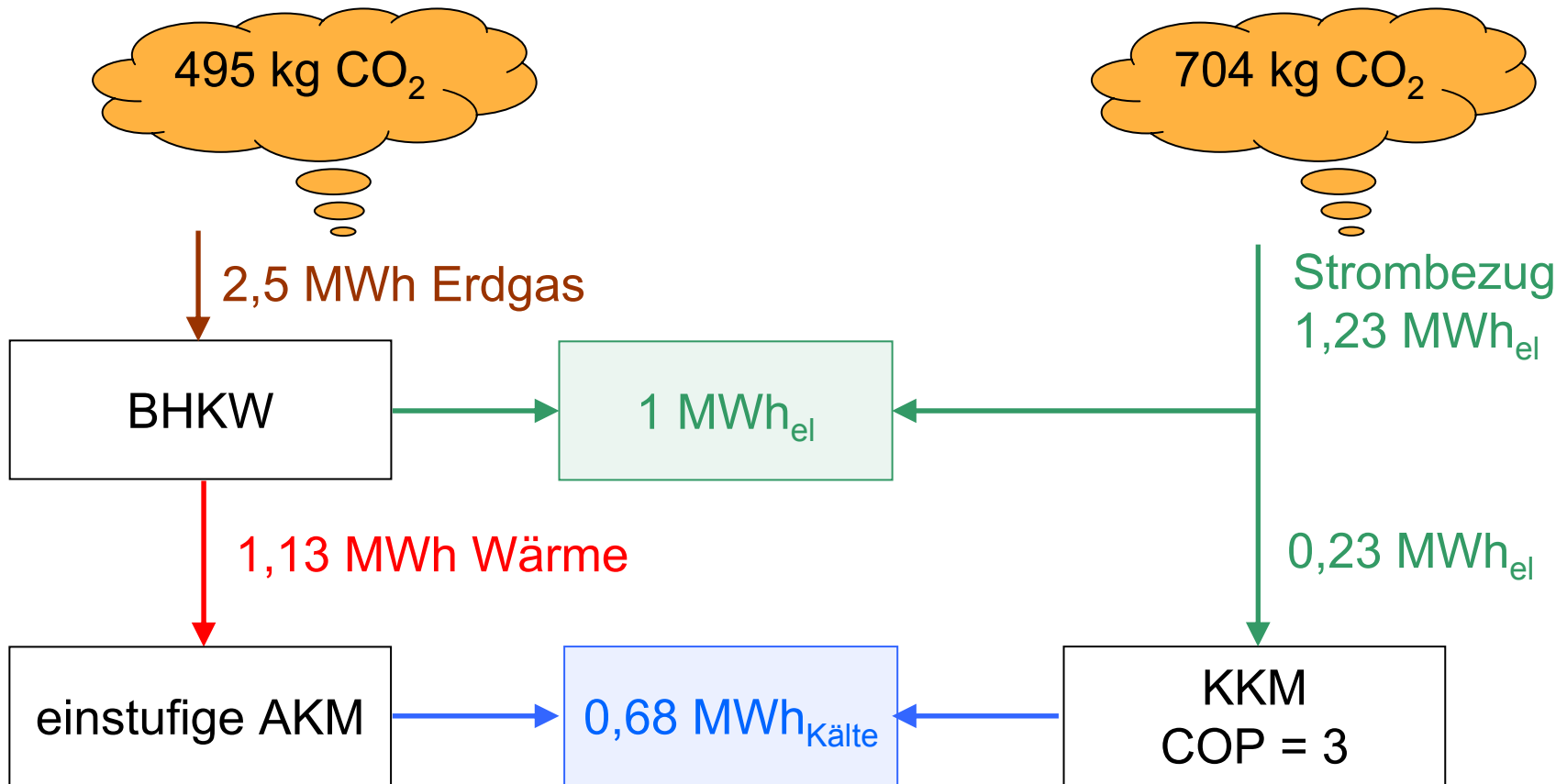


$$COP_{\text{mäßige Kältemaschine}} = 3$$

$$COP_{\text{gute Kältemaschine}} = 5$$

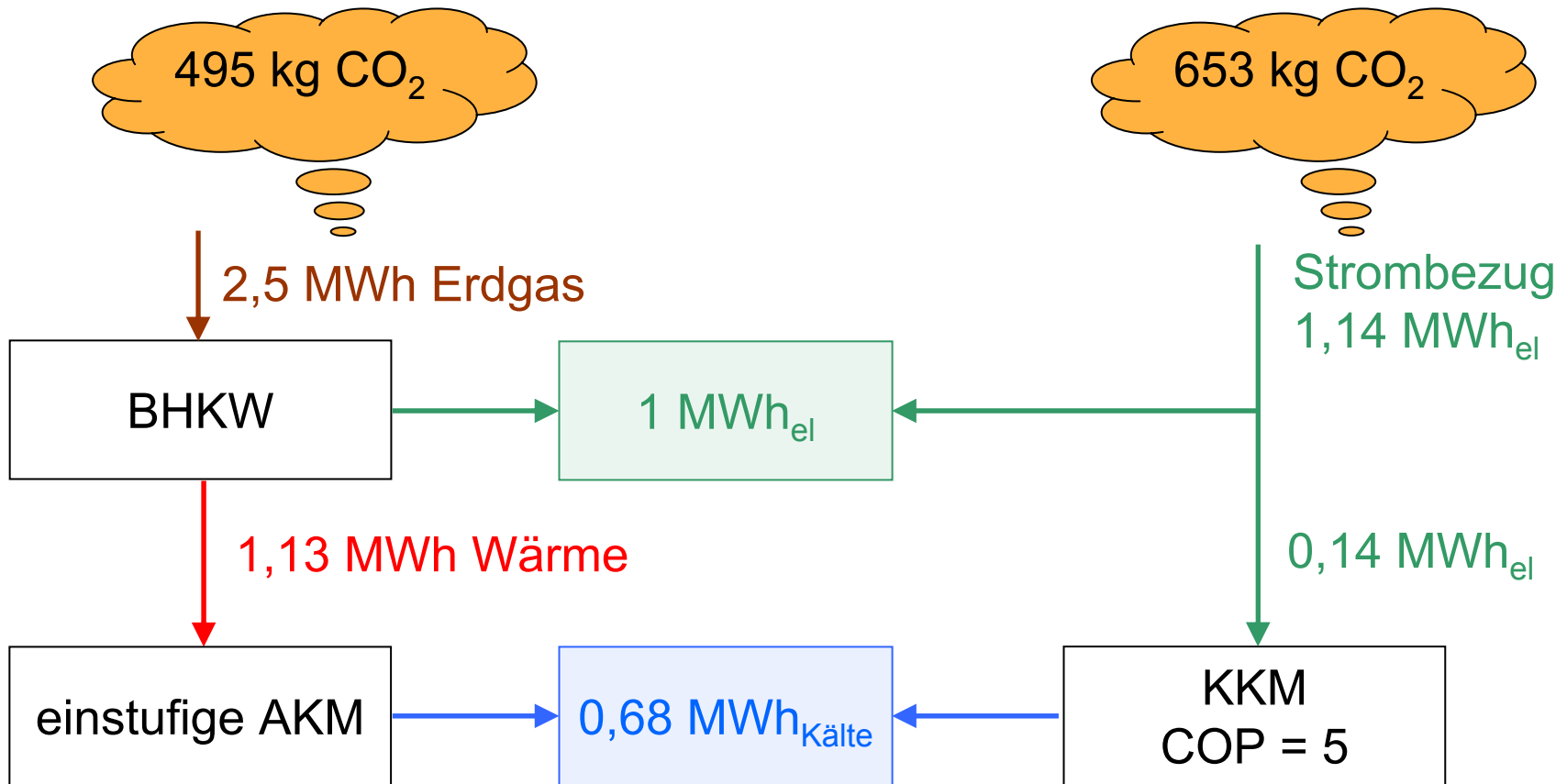
# 3 CO<sub>2</sub>-Emissionen

## 1. KWKK mit BHKW und einstufiger AKM versus getrennte Versorgung



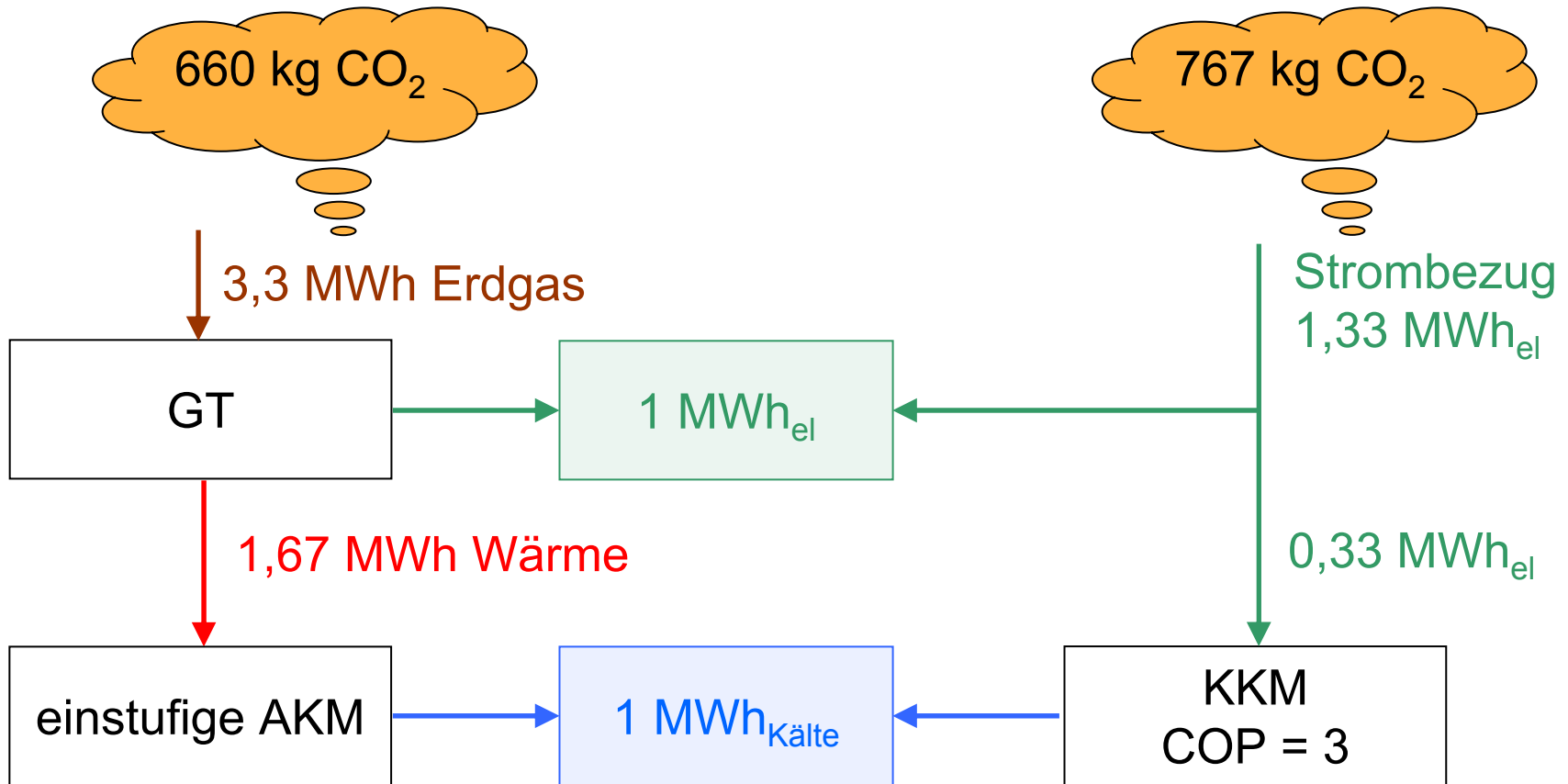
# 3 CO<sub>2</sub>-Emissionen

## 1. KWKK mit BHKW und einstufiger AKM versus getrennte Versorgung



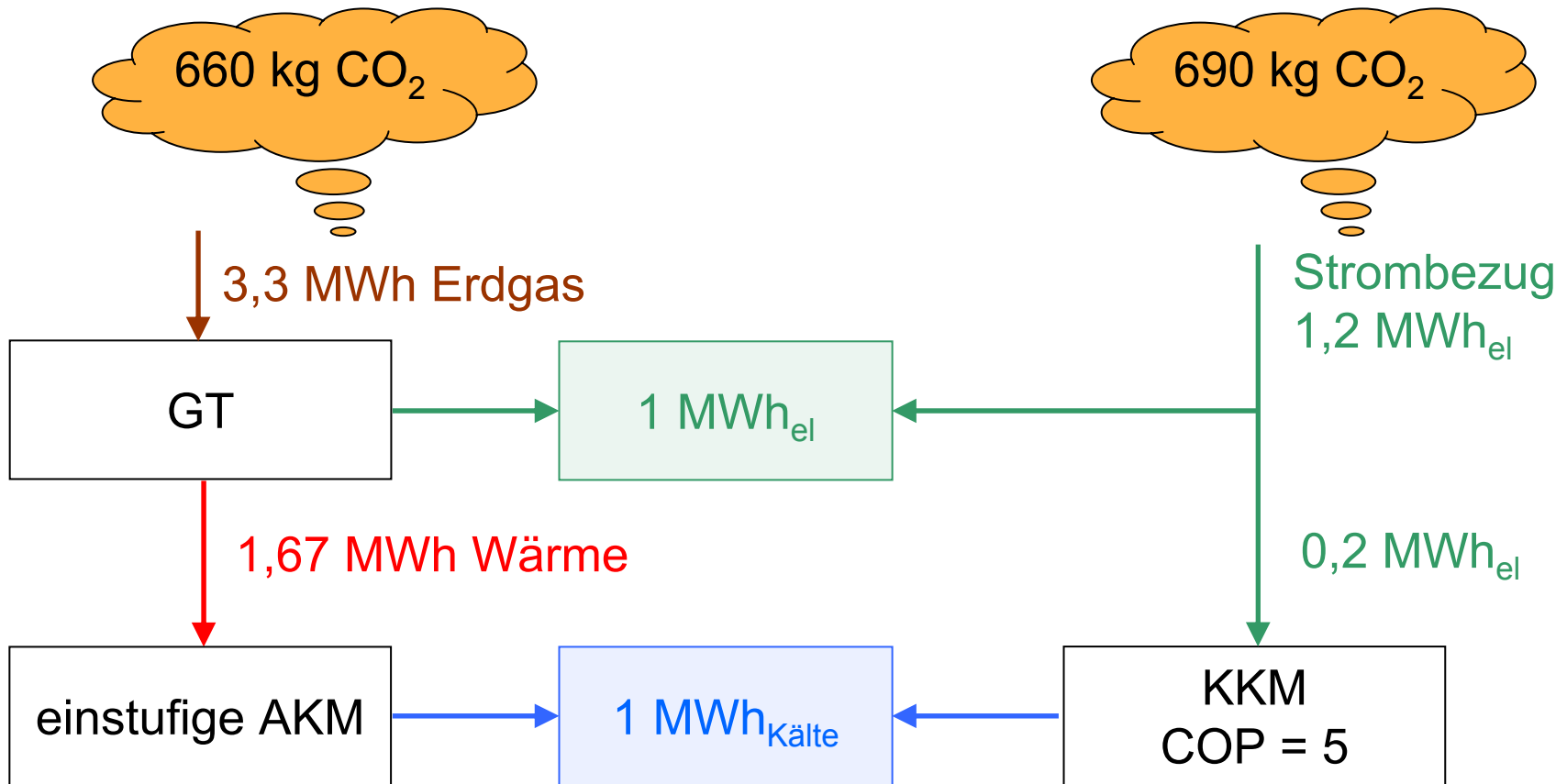
# 3 CO<sub>2</sub>-Emissionen

## 2. KWKK mit GT und einstufiger AKM versus getrennte Versorgung



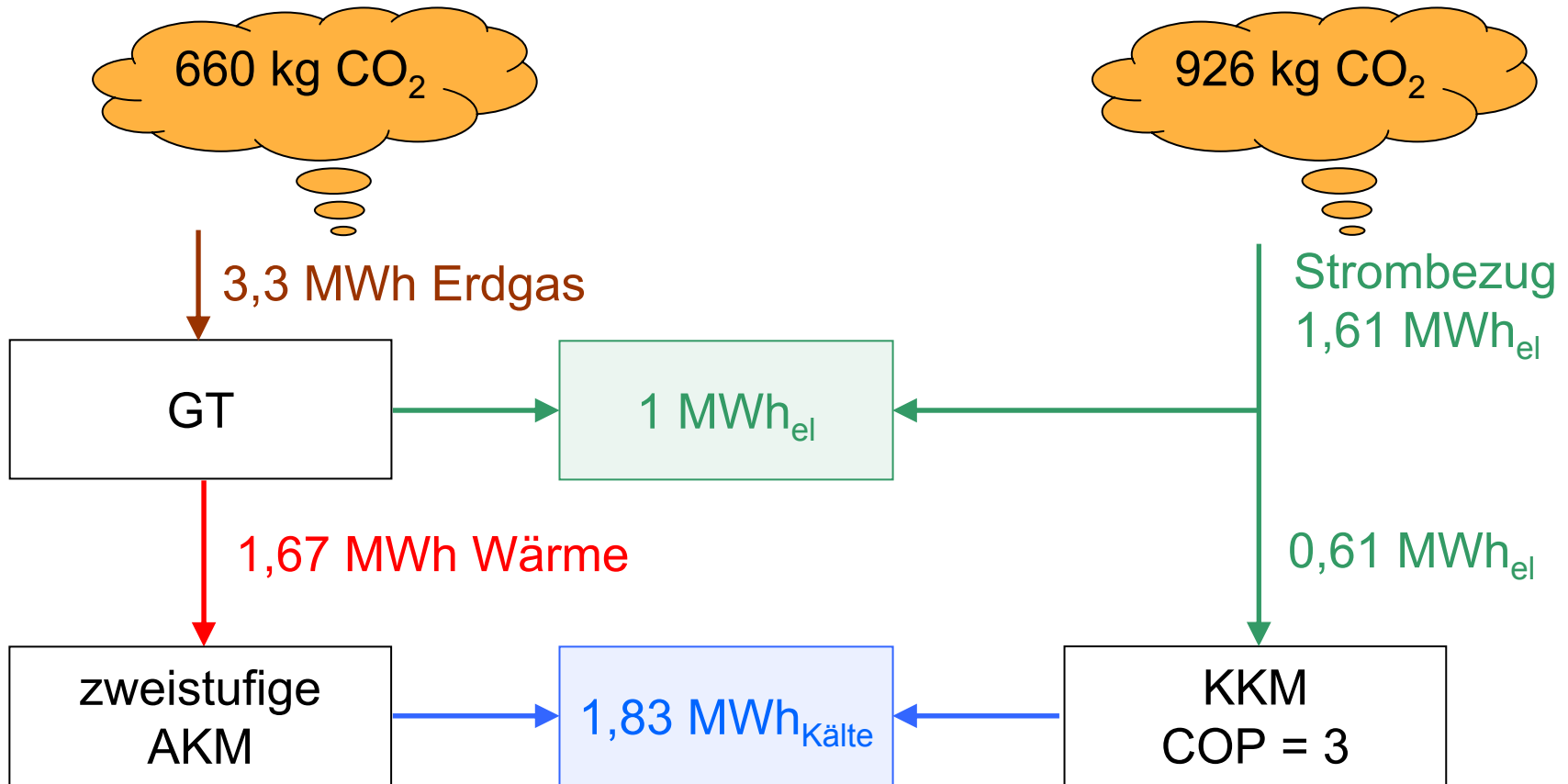
# 3 CO<sub>2</sub>-Emissionen

## 2. KWKK mit GT und einstufiger AKM versus getrennte Versorgung



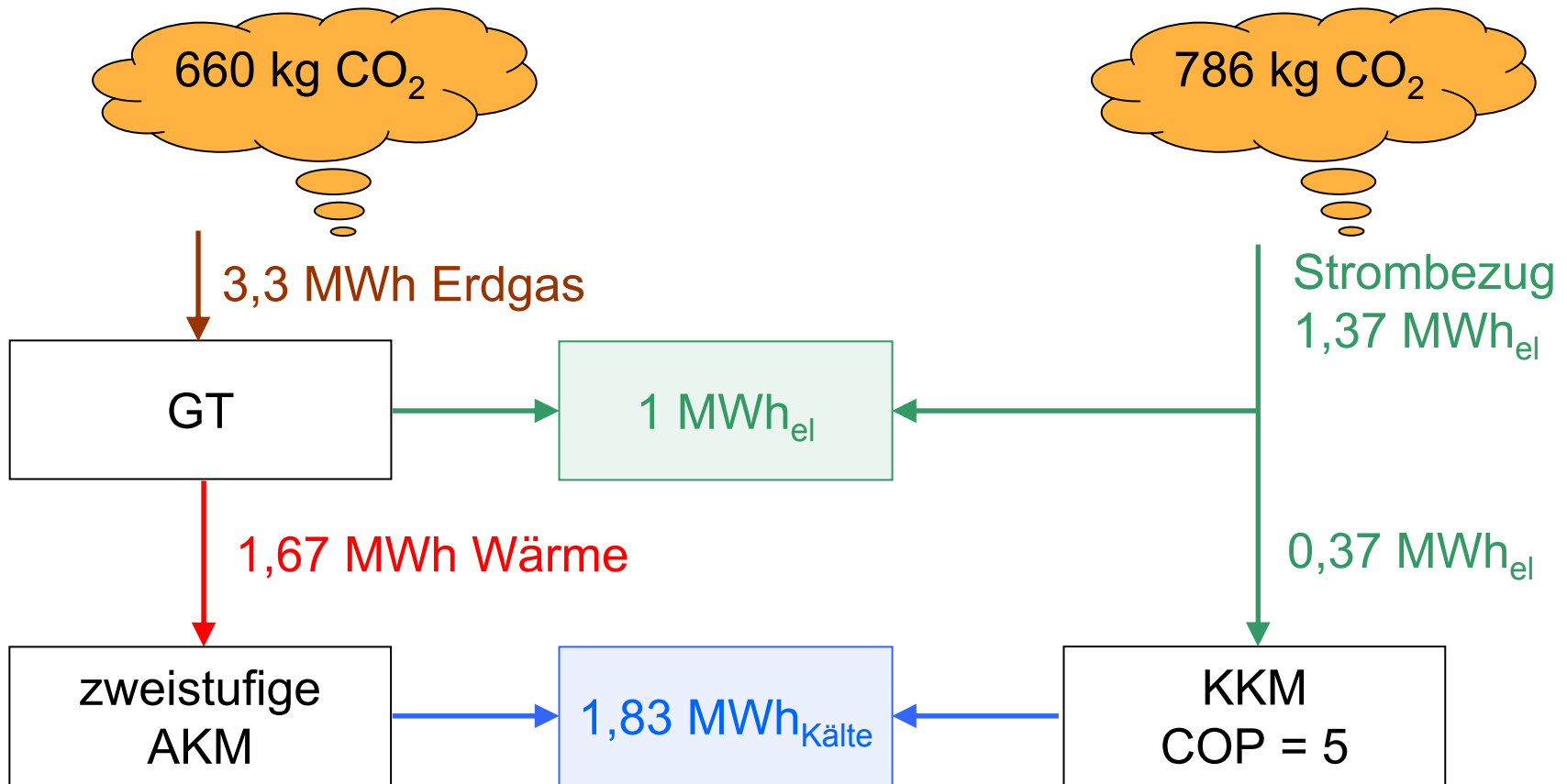
# 3 CO<sub>2</sub>-Emissionen

## 3. KWKK mit GT und zweistufiger AKM versus getrennte Versorgung



# 3 CO<sub>2</sub>-Emissionen

## 3. KWKK mit GT und zweistufiger AKM versus getrennte Versorgung





# 3 CO<sub>2</sub>-Emissionen

Zusammenfassung der Berechnungsergebnisse:

<i>System</i>	<i>CO<sub>2</sub>-Emissionen KWKK</i>	<i>COP<sub>KKM</sub></i>	<i>CO<sub>2</sub>-Emissionen getrennte Versorgung</i>
<i>BHKW/ein- stufige AKM</i>	495 kg	3	704 kg
		5	653 kg
<i>GT/ein- stufige AKM</i>	660 kg	3	767 kg
		5	690 kg
<i>GT/zwei- stufige AKM</i>		3	926 kg
		5	786 kg

KWKK reduziert CO<sub>2</sub>-Emissionen (???)

## 3 CO<sub>2</sub>-Emissionen

---

- Berechnung enthält Brennstoffeffekt: Erdgaseinsatz bei KWKK wird verglichen mit Brennstoffmix Stromerzeugung BRD

=> Elimination Brennstoffeffekt

- Verstromung des in KWK-Anlage eingesetzten Erdgases in GuD-Anlage

=> Emissionsfaktor Strombezug 400 g/kWh<sub>el</sub> statt 575 g/kWh<sub>el</sub>

# 3 CO<sub>2</sub>-Emissionen

Berechnungsergebnisse bei identischem Brennstoffeinsatz:

<i>System</i>	<i>CO<sub>2</sub>-Emissionen KWKK</i>	<i>COP<sub>KKM</sub></i>	<i>CO<sub>2</sub>-Emissionen getrennte Versorgung</i>
<i>BHKW/ein- stufige AKM</i>	495 kg	3	490 kg
		5	454 kg
<i>GT/ein- stufige AKM</i>	660 kg	3	533 kg
		5	480 kg
<i>GT/zwei- stufige AKM</i>		3	644 kg
		5	547 kg

Identischen Brennstoffeinsatz vorausgesetzt, trägt KWKK bei den betrachteten Systemen nicht zur CO<sub>2</sub>-Einsparung bei

## 4 Energiekosten

- Keine Vollkostenrechnung für Anlagen, sondern Betrachtung von Energiekosten als wesentlichem Kostenparameter bestehender Anlagen => Entscheidungsbasis für Anlageneinsatzplanung
- Preisszenarien (Großabnehmer):

<i>Szenario</i>	<i>Strompreis<sup>(a)</sup> in c/kWh<sub>el</sub></i>	<i>Gaspreis<sup>(b)</sup> in c/kWh<sub>Ho</sub></i>
1	11,0	3,5
2	8,5	2,0

(a) inkl. EEG-/KWK-Umlage, Stromsteuer

(b) ohne Ökosteuer (Annahme: vollständige Rückerstattung für KWK)

# 4 Energiekosten

- Grenzfallbetrachtung Anlagenbetreiber: Mit Brennstoffeinsatz wird Stromeinkauf vermieden, Wärmeabsatz muss mindestens Differenz zwischen Brennstoff- und Strombezugskosten erbringen => minimaler Wärmepreis
- minimaler Wärmepreis < 0 => KWK-Anlage ist schon durch Stromerzeugung wirtschaftlich, zusätzlicher Wärmeabsatz durch Kälteerzeugung in KWKK verbessert Wirtschaftlichkeit

<i>Preisszenario</i>	<i>BHKW</i>		<i>GT</i>	
	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>1</i>	<i>2</i>
Stromkosten in c/kWh <sub>el</sub>	11,0	8,5	11,0	8,5
Brennstoffkosten für Erzeugung 1 kWh <sub>el</sub> in c	9,6	5,5	12,8	7,3
Minimaler Wärmepreis in c/kWh <sub>th</sub>	< 0	< 0	1,1	< 0

## 4 Energiekosten

---

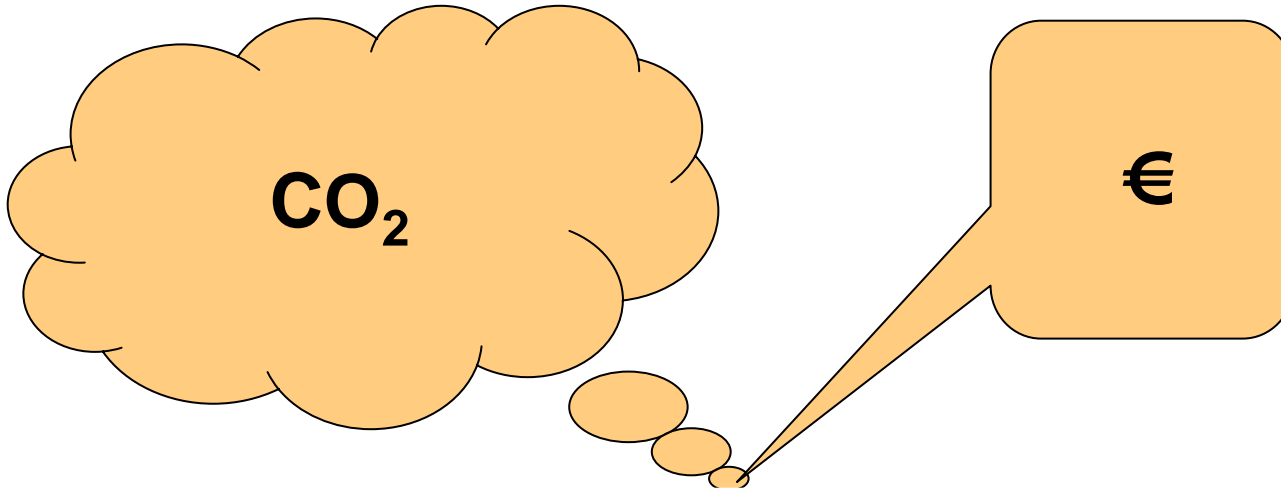
- minimaler Wärmepreis  $< 0$  mit einer Ausnahme:  $1,1 \text{ c/kWh}_{\text{th}}$  für KWKK mit Gasturbinenanlage und Preisszenario 1, daraus resultiert
  - Preis Kälteerzeugung mit einstufiger AKM:  $18 \text{ €/MWh}_{\text{Kälte}}$
  - Preis Kälteerzeugung mit zweistufiger AKM:  $10 \text{ €/MWh}_{\text{Kälte}}$
- Preis für Kälte, die aus bezogenem Strom erzeugt wird
  - bei  $COP = 3$ :  $37 \text{ €/MWh}_{\text{Kälte}}$
  - bei  $COP = 5$ :  $22 \text{ €/MWh}_{\text{Kälte}}$

=> In allen betrachteten Szenarien sind die Energiekosten für Kälteerzeugung in KWKK geringer als für Strombezug und Kälteerzeugung mit KKM  
*(nicht pauschal verallgemeinerbar!)*

## 5 Zusammenfassung

---

- Kälteerzeugung aus Wärme kann durch Erhöhung des Wärmeabsatzes von KWK-Anlagen deren Zubau ermöglichen
- CO<sub>2</sub>-Emissionen der KWKK
  - Verwendung Emissionsfaktor Strommix BRD => Reduzierung der globalen CO<sub>2</sub>-Emissionen, beinhaltet Brennstoffeffekt
  - Systemvergleich mit identischem Brennstoff Erdgas => Erhöhung der globalen CO<sub>2</sub>-Emissionen
- Energiekosten
  - Bei betrachteten Preisszenarien ist KWKK wirtschaftlich, sie kann abhängig von aktueller Preissituation auch unwirtschaftlich sein => kontinuierliche Analyse der Betriebskosten erforderlich
  - Berechnungen beinhalten nur Energiekosten  
Anlageneinsatzoptimierung => für Investitionsentscheidung müssen Kapitalkosten berücksichtigt werden



***Vielen Dank für Ihre  
Aufmerksamkeit – gibt es  
Fragen?***