



**Burgenland**

Bildung im  
Herzen Europas.

# Effizienzsteigerung durch Kraft-Wärme-Kälte- Kopplungs-Systeme

Bilanzierungstool

**12. Symposium Energieinnovation**



R. Krottil



17. Februar 2012

# Inhalt

---

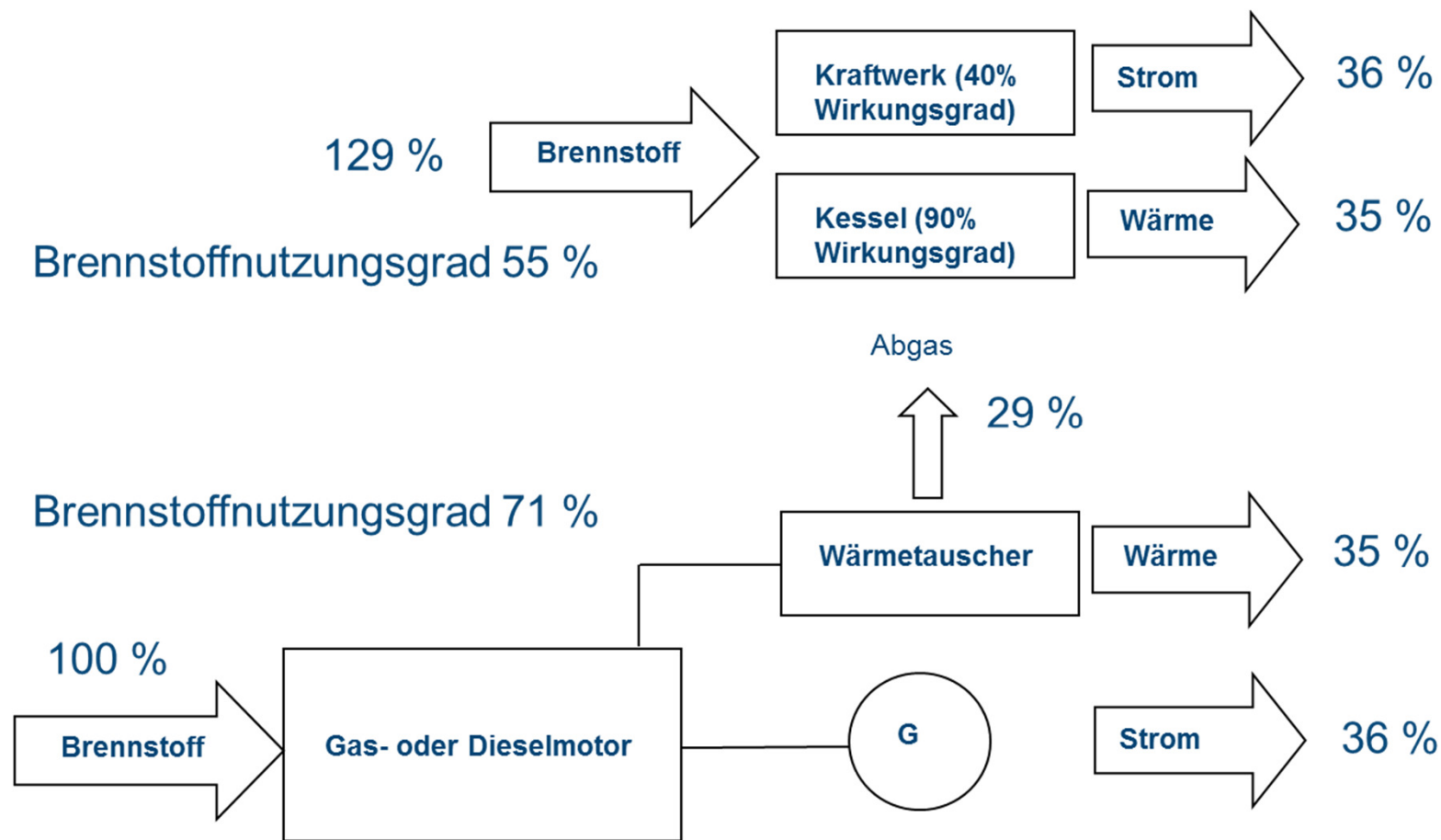
- **Einleitung**
- **Bewertungsmodell**
- **Kenngroßen**
- **KWKK-Tool**
- **Zusammenfassung und Ausblick**

- **KWKK-Systeme leisten einen Beitrag zur:**
  - gleichzeitigen Bereitstellung von Strom, Wärme und Kälte
  - Effizienzsteigerung
  - Primärenergieeinsparung
  - Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen



# Einleitung

## ▪ Getrennte und gekoppelte Energiebereitstellung

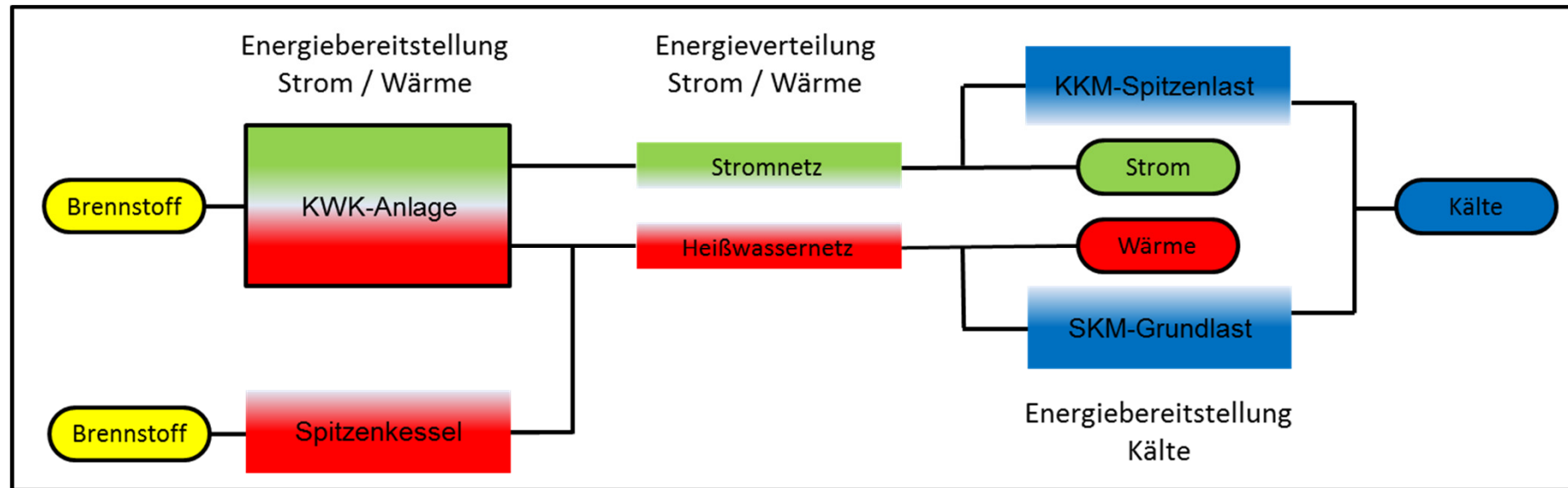


# Einleitung

---

- **Dies bedarf:**
  - der Kenntnis der technischen, wirtschaftlichen und ökologischen Rahmenbedingungen
  - einer energetischen, ökonomischen und ökologischen Analyse des Energieversorgungssystems

# Bewertungsmodell



# Kenngrößen

## ▪ Energetische und exergetische Bewertung:

$$\eta_{KWKK} = \frac{Q_{Br} \cdot [(\eta_{V,el} \cdot \eta_{el} + \eta_{th} \cdot \eta_{V,HW}) + V_{Br} \cdot \eta_{SPK} \cdot \eta_{V,HW}] + Q_{0,SKM} \cdot \left[ \left(1 - \frac{1}{\beta_{SKM}}\right) + V_{Q_0} \cdot \left(1 - \frac{1}{\beta_{KKM}}\right) \right]}{Q_{Br} (1 + V_{Br})}$$

$$\eta_{ex,KWKK} = \frac{Q_{Br} \cdot \left[ \eta_{V,el} \cdot \eta_{el} + \eta_{V,ex} \cdot \left(1 - \frac{T_u}{T_{HW,mittel}}\right) \cdot (\eta_{th} + \eta_{SPK} \cdot V_{Br}) \right] + \left(\frac{T_u}{T_{K,mittel}} - 1\right) \cdot Q_{0,SKM} \cdot \left[ \left(1 - \frac{1}{\beta_{SKM}}\right) + V_{Q_0} \cdot \left(1 - \frac{1}{\beta_{KKM}}\right) \right]}{Q_{Br} (1 + V_{Br})}$$

# Kenngrößen

## ▪ Primärenergieeinsatz des KWKK-Systems:

- Strom:  $PE_{Strom} = f_{PE} \cdot q_{BP} \cdot E_{el,Ab} \quad [kWh_{PE}]$

- Wärme:  $PE_{Wärme} = f_{PE,Wärme} \cdot Q_{HW,Ab} \quad [kWh_{PE}]$

$$f_{PE,Wärme} = \frac{v_{th} + V_{Br} \cdot V_{PE}}{\eta_{V,HW} \cdot (\eta_{th} + \eta_{SPK} \cdot V_{Br} \cdot V_{PE})} \quad [kWh_{PE}/kWh_{Wärme}]$$

- Kälte:

- Kompressionskältemaschine:  $PE_{Kälte,KKM} = f_{PE} \cdot q_{BQ_0,KKM} \cdot Q_{0,KKM} \quad [kWh_{PE}]$

- Sorptionskältemaschine:  $PE_{Kälte,SKM} = \frac{f_{PE,Wärme}}{\beta_{SKM}} \cdot Q_{0,SKM} \quad [kWh_{PE}]$



# Kenngrößen

## ▪ **Ökonomische und ökologische Bewertung:**

### ▪ Strom:

$$X_{el} = q_{BP} \cdot X_{Br}$$

$X_{el}$  (1) spezifische Stromkosten  $k_{el}$  [Cent/kWh<sub>el</sub>]

(2) spezifische Emissionen der Strombereitstellung  $e_{\text{Stoff},el}$  [kg<sub>Stoff</sub>/kWh<sub>el</sub>]

$X_{Br}$  (1) spezifische Brennstoffkosten  $k_{Br}$  [Cent/kWh<sub>Br</sub>]

(2) spezifische Emissionen des Brennstoffes  $e_{\text{Stoff},Br}$  [kg<sub>Stoff</sub>/kWh<sub>Br</sub>]

(z.B. Stoffe: CO<sub>2</sub>, CO, Staub (TSP), SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, NMVOC,.....)

# Kenngrößen

## ▪ **Ökonomische und ökologische Bewertung:**

### ▪ Wärme:

$$X_{\text{Wärme}} = \frac{v_{th} \cdot X_{Br} + X_{Br,Sp.} \cdot V_{Br}}{\eta_{V,HW} \cdot (\eta_{th} + \eta_{SPK} \cdot V_{Br})}$$

- $X_{\text{Wärme}}$
- (1) spezifische Wärmekosten  $k_{\text{Wärme}}$  [Cent/kWh<sub>Wärme</sub>]
  - (2) spezifische Emissionen der Wärme  $e_{\text{Stoff,Wärme}}$  [kg<sub>Stoff</sub>/kWh<sub>Wärme</sub>]
- $X_{Br,Sp.}$
- (1) spezifische Brennstoffkosten Spitzenkessel  $k_{Br,Sp.}$  [Cent/kWh<sub>Br,Sp.</sub>]
  - (2) spezifische Emissionen des Brennstoffes Spitzenkessel  $e_{\text{Stoff,Br,Sp.}}$  [kg<sub>Stoff</sub>/kWh<sub>Br,Sp.</sub>]

# Kenngrößen

## ▪ Ökonomische und ökologische Bewertung:

### ▪ Kälte:

▪ Kompressionskältemaschine:  $X_{KKM, Kälte} = q_{BQ_0, KKM} \cdot X_{Br}$

$X_{KKM, Kälte}$  (1) spezifische Kältekosten KKM  $k_{KKM, Kälte}$  [Cent/kWh<sub>Kälte</sub>]

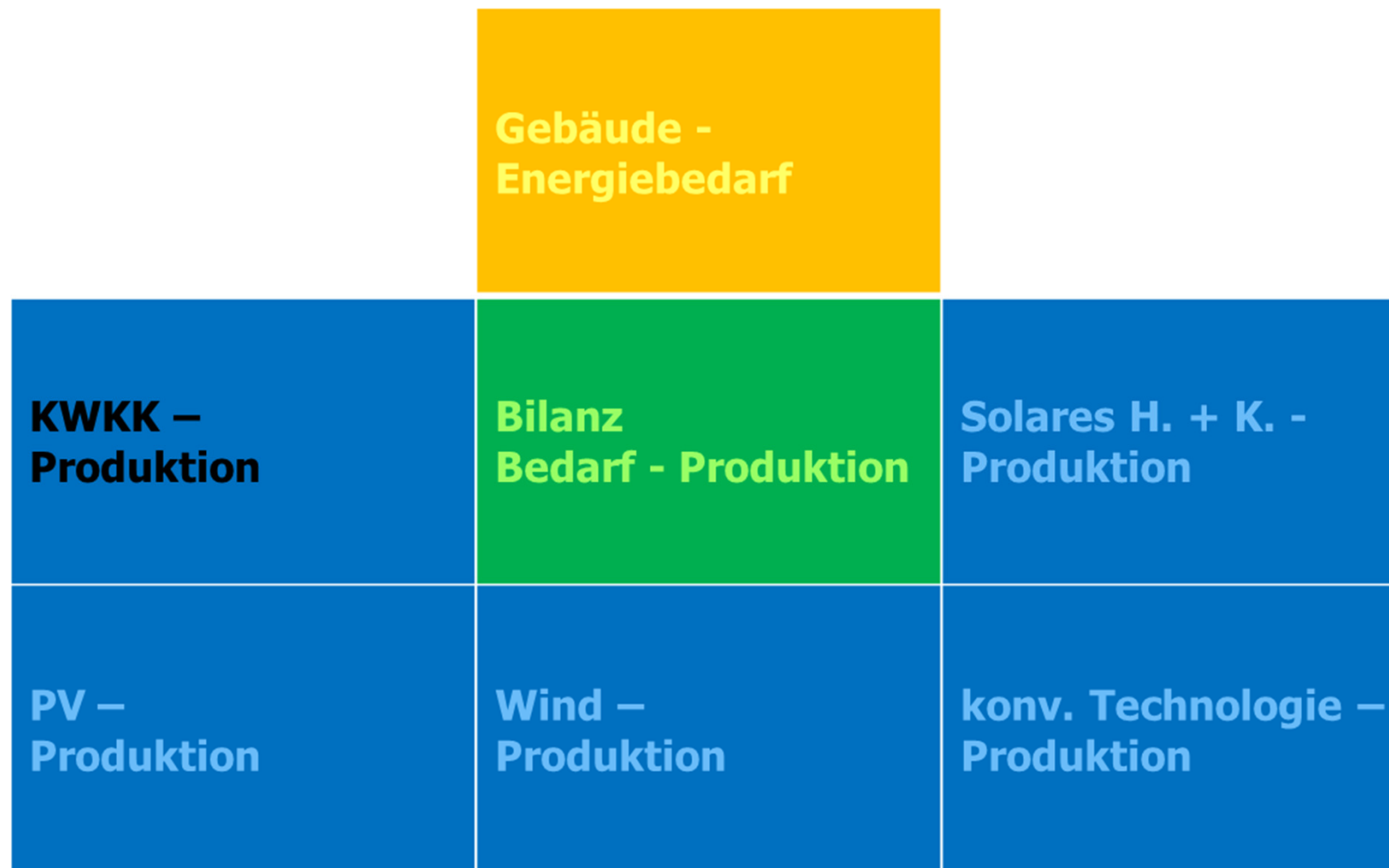
(2) spezifische Emissionen der Kälte KKM  $e_{Stoff, KKM, Kälte}$  [kg<sub>Stoff</sub>/kWh<sub>Kälte</sub>]

▪ Sorptionskältemaschine: 
$$X_{SKM, Kälte} = \frac{X_{Wärme}}{\beta_{SKM}} = \frac{v_{th} \cdot X_{Br} + X_{Br, Sp.} \cdot V_{Br}}{\beta_{SKM} \cdot \eta_{V, HW} \cdot (\eta_{th} + \eta_{SPK} \cdot V_{Br})}$$

$X_{SKM, Kälte}$  (1) spezifische Kältekosten SKM  $k_{SKM, Kälte}$  [Cent/kWh<sub>Kälte</sub>]

(2) spezifische Emissionen der Kälte SKM  $e_{Stoff, SKM, Kälte}$  [kg<sub>Stoff</sub>/kWh<sub>Kälte</sub>]

# KWKK-Tool



### KWKK-System

#### Energetische Daten

Energiebedarf Gebäude einlesen  
 Energiebedarf Gebäude manuell eingeben

Strom:  [kWh/a]  
Wärme:  [kWh/a]  
Kälte:  [kWh/a]

Spitzenkessel:

Spitzenlast Wärme:  $V_{QHW} = 0,40$  [-]  
Spitzenlast Kälte:  $V_{Q0} = 0,20$  [-]

Heißwasservorlauftemperatur:  [°C]  
Heißwasserrücklauftemperatur:  [°C]  
Kaltwasservorlauftemperatur:  [°C]  
Kaltwasserrücklauftemperatur:  [°C]  
Kühlwasservorlauftemperatur:  [°C]  
Kühlwasserrücklauftemperatur:  [°C]

#### Energieverteilung

Stromnetz:

Heißwassernetz:

Verteilungsgrad:  [-]

#### Ökonomische & ökologische Daten

Brennstoffkosten KWKK-Anlage:  
  [EUR/m<sup>3</sup><sub>Bt</sub>]

Brennstoffkosten Spitzenkessel:  
  [EUR/m<sup>3</sup><sub>Bt</sub>]

Das Projekt „Build2Zero – ganzheitliche Konzepte zur Umsetzung von Nullenergiegebäuden“ wurde vom Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (BVI/IT) innerhalb der Programme „Plus“ in OCER (Kooperationsrahmen) unterstützt.

R. Krottil

### Ergebnisse

#### Energetische Daten

Primärenergiebedarf:  
Strom: 49540 [kWh/a]  
Wärme: 42749 [kWh/a]  
Kälte KKM: 3230 [kWh/a]  
Kälte SKM: 55318 [kWh/a]  
Summe: 150836 [kWh/a]

Brennstoffenergie Gesamt: 143953 [kWh/a]  
Brennstoffenergie KWKK-Anlage: 116065 [kWh/a]  
Brennstoffenergie Spitzenkessel: 27888 [kWh/a]

Kälteenergie KKM: 7492 [kWh/a]  
Kälteenergie SKM: 37458 [kWh/a]

Nutzungsgrad KWKK-Anlage: 0,786 [-]  
Exergetischer Nutzungsgrad KWKK-Anlage: 0,367 [-]  
Nutzungsgrad KWKK-Anlage: 0,84 [-]

Elektrischer Nutzungsgrad: 0,334 [-]  
Thermischer Nutzungsgrad KWKK-Anlage: 0,511 [-]  
Nutzungsgrad Spitzenkessel: 0,85 [-]

Jahresarbeitszahl KKM: 3,22 [-]  
Jahresarbeitszahl SKM: 0,89 [-]

#### Ökonomische & ökologische Daten

Stromkosten: 3003 [EUR/a]  
Wärmekosten: 2980 [EUR/a]  
Kältekosten KKM: 195,8 [EUR/a]  
Kältekosten SKM: 3856 [EUR/a]  
Summe: 10034 [EUR/a]

CO<sub>2</sub> Emissionen Strom: 10394 [kg/a]  
CO<sub>2</sub> Emissionen Wärme: 10315 [kg/a]  
CO<sub>2</sub> Emissionen KKM: 677,7 [kg/a]  
CO<sub>2</sub> Emissionen SKM: 13348 [kg/a]  
Summe: 34734 [kg/a]

#### Spezifische Energiekosten

Strom: 0,08422 [EUR/kWh<sub>el</sub>]  
Wärme: 0,09154 [EUR/kWh<sub>Wärme</sub>]  
Kälte KKM: 0,02613 [EUR/kWh<sub>Kälte</sub>]  
Kälte SKM: 0,1029 [EUR/kWh<sub>Kälte</sub>]

#### Spezifische CO<sub>2</sub> Emissionen

Strom: 292 [gCO<sub>2</sub>/kWh<sub>el</sub>]  
Wärme: 317 [gCO<sub>2</sub>/kWh<sub>Wärme</sub>]  
Kälte KKM: 90 [gCO<sub>2</sub>/kWh<sub>Kälte</sub>]  
Kälte SKM: 356 [gCO<sub>2</sub>/kWh<sub>Kälte</sub>]



# Zusammenfassung und Ausblick

---

- **Effizienter Einsatz von KWKK-Systemen bedarf:**
  - **einer energetischen, ökologischen und ökonomischen Gesamtanalyse des Energieversorgungssystems**
  - **unter Berücksichtigung der dort vorherrschenden technischen, wirtschaftlichen und ökologischen Rahmenbedingungen.**
- **KWKK-Tool dient zur Analyse von Kraft-Wärme-Kälte-Kopplungs-Systemen**
- **Weiterentwicklung des KWKK-Tool in Richtung stundenabhängiger Verbrauchsenergiedaten**

---

**Wenn wir Veränderung  
haben wollen,  
müssen wir uns verändern!**