

Aus der FW 309 Teil 6

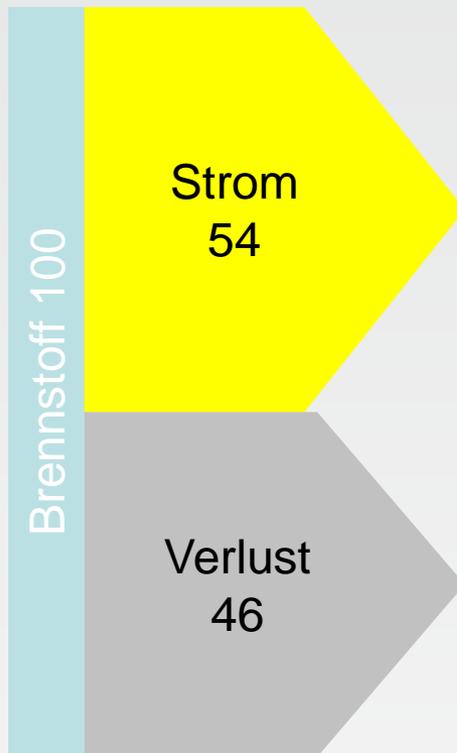
Bilanzierung der Wärmeauskopplung aus Stromerzeugungsanlagen



U. Müller, AGFW e.V.
Frankfurt am Main

Die Stromerzeugung in einem Heizkraftwerk - ein Beispiel

Die Strom-Erzeugung in einer GuD-Anlage (450 MW elektrisch)



Kennzahl: **Jahresnutzungsgrad**

$$\text{Strom (54) / Brennstoff (100) = 0,54}$$

Die gekoppelte Strom- und Wärmeerzeugung in der gleichen Anlage

Die gekoppelte Strom- und Wärme-Erzeugung in der gleichen GuD-Anlage (450 MW elektrisch)



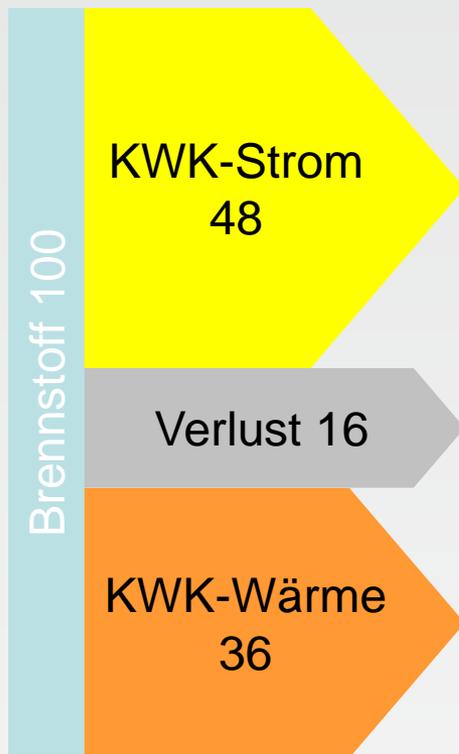
Kennzahl: **Stromverlustkennzahl**

$$\text{Stromverlust (6) / Wärme (36) = 0,16}$$

Kennzahl: **Stromkennzahl**

$$\text{KWK-Strom (48) / KWK-Wärme (36) = 1,33}$$

Die Effizienz der gekoppelten Strom- und Wärme-Erzeugung in einer GuD-Anlage (450 MW elektrisch)



Kennzahl: **KWK-Jahresnutzungsgrad**

KWK-Strom (48) + KWK-Wärme (36)

$$\frac{\text{KWK-Strom (48) + KWK-Wärme (36)}}{\text{KWK-Brennstoff (100)}} = 0,84$$

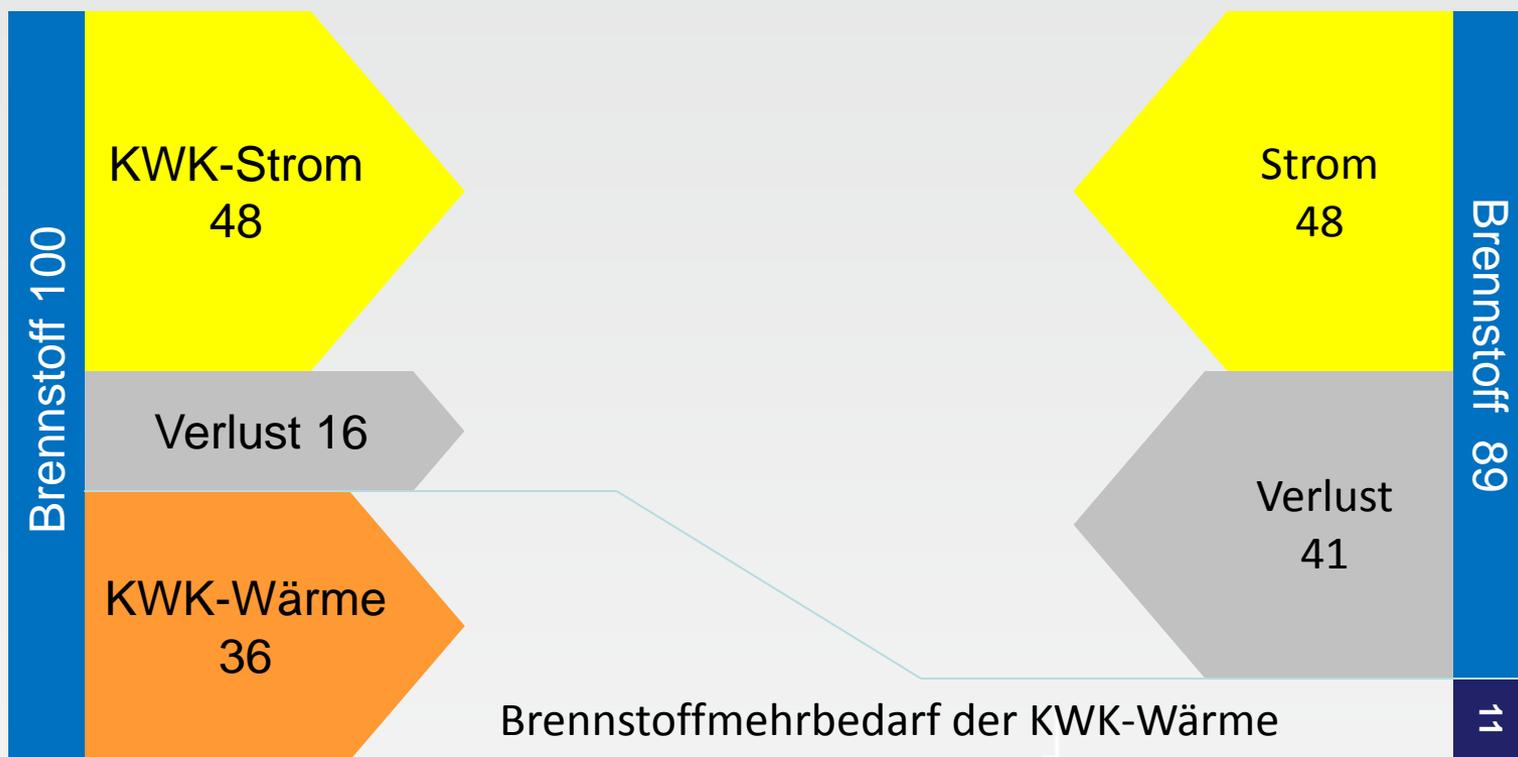
Kraft-Wärme-Kopplung im Vergleich zur ungekoppelten Stromerzeugung

Der Brennstoffeinsatz der gekoppelt erzeugten Produkte Strom und Wärme im Vergleich zum ungekoppelt erzeugten Strom



Wie viel Brennstoff braucht die gekoppelt erzeugte Wärme?

Brennstoffmehrbedarf der gekoppelt erzeugten Wärme



Kennzahl: **Brennstoffmehrbedarfszahl**
Brennstoffmehrbedarf (11) / KWK-Wärme (36) = 0,31

Wie viel Brennstoff braucht die KWK-Wärme im Vergleich zu anderen
Wärmeversorgungssystemen?
- ein Beispiel -

Die gekoppelte Wärmeerzeugung im Vergleich mit anderen Wärmeversorgungssystemen

Beispiel: Heizkessel Wirkungsgrad 0,90

Wärmeverluste im Fernwärmenetz 10 %:

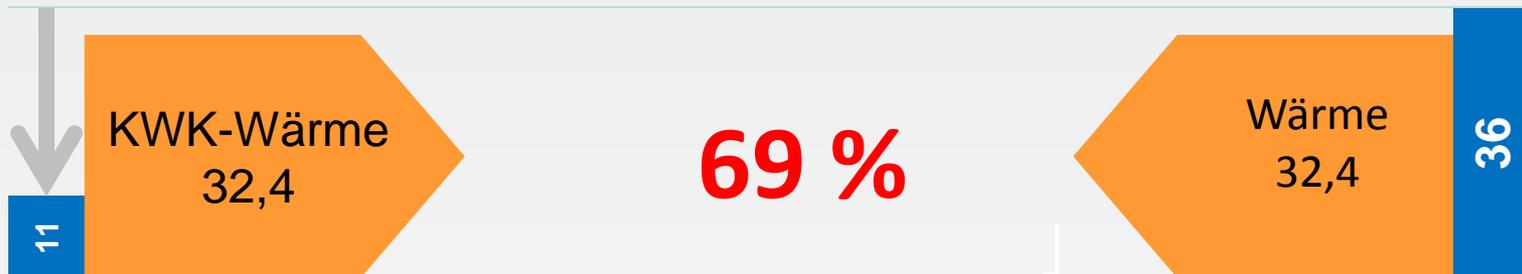
$$\text{KWK-Wärme (36)} * (1 - 0,10) = 32,4$$

Brennstoffeinsatz des Erdgas-Brennwertkessels

$$\text{Wärme (32,4)} / 1,05 = \text{Brennstoff (30,9)}$$

Einsparung durch die gekoppelte Wärmeerzeugung:

$$1 - \text{Brennstoff KWK-Wärme (11)} / \text{Brennstoff HK (36)} = 0,69$$



Berechnungsbeispiel zur FW 309 T 6

Beispiel: Eine Stromerzeugungsanlage erzeugt mit $W = 100$ Einheiten Brennstoff $A = 40$ Einheiten Strom

Messwerte ohne Wärmeauskopplung

Brennstoff
Strom

$W =$	100	MWh
$A =$	40	MWh

Der elektrische Wirkungsgrad η_{el} beträgt:

Wirkungsgrad
der Stromerzeugung

$$\eta_{el} = A / W$$

$$\eta_{el} = 0,400 \text{ MWh/MWh}$$

Der Kehrwert davon, die Energiebedarfszahl ϵ_A :

Energiebedarfszahl
der Stromerzeugung

$$\epsilon_A = W / A$$

$$\epsilon_A = 2,500 \text{ MWh/MWh}$$

Die Wärmeauskopplung Q_{KWK} aus einer Stromerzeugungsanlage verursacht einen Stromverlust

Messwerte mit maximaler Wärmeauskopplung

Wärmeauskopplung
KWK-Stromerzeugung

$Q_{KWK} =$	61	MWh
$A_{KWK} =$	29	MWh

0,90
0,18
0,48

Der KWK-Nutzungsgrad beträgt ζ_{KWK} :

KWK-Nutzungsgrad
(zwei Produkte)

$$\zeta_{KWK} = (A_{KWK} + Q_{KWK}) / W_{KWK}$$

$$\zeta_{KWK} = 0,900 \text{ MWh/MWh}$$

Stromverlust

$$\Delta A = A - A_{KWK}$$

$$\Delta A = 11 \text{ MWh}$$

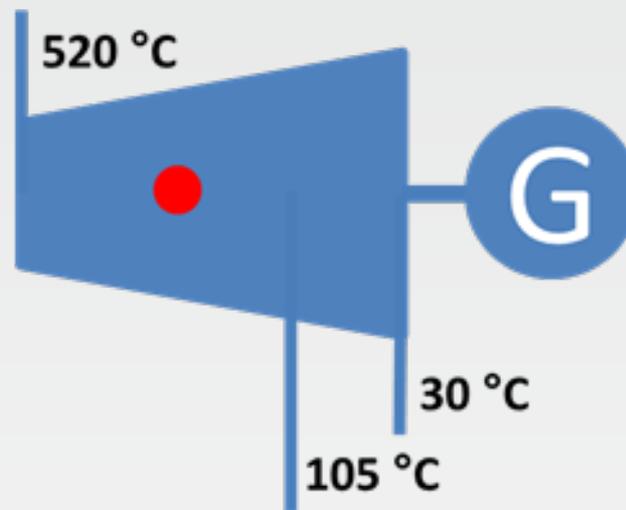
Die Kennzahl ist die Stromverlustkennzahl β :

Stromverlustkennzahl

$$\beta = \Delta A / Q$$

$$\beta = 0,180 \text{ MWh/MWh}$$

Je höher die Auskopplungstemperatur, ,umso höher ist die Stromverlustkennzahl



(Im Beispiel bei 105 °C ~ 0,18)

Das Verhältnis der Outputprodukte KWK-Strom und KWK-Wärme ist die Stromkennzahl

KWK-Stromkennzahl

$$\sigma_{\text{KWK}} = A_{\text{KWK}} / Q_{\text{KWK}}$$

$$\sigma_{\text{KWK}} = 0,476 \text{ MWh/MWh}$$

Die Energiebedarfszahl für den Strom ϵ_A multipliziert mit der Stromverlustkennzahl β ergibt die Energiebedarfszahl für die ausgekoppelte Wärme ϵ_{Q-KWK} :

Energiebedarfszahl
der Wärmeauskopplung

$$\begin{aligned}\epsilon_{Q-KWK} &= \epsilon_A \cdot \beta \\ \epsilon_{Q-KWK} &= 0,450 \text{ MWh/MWh}\end{aligned}$$

Im Vergleich dazu ein Erdgas-Spezialkessel:

gemessener Wirkungsgrad
der Heizkesselanlage

Energiebedarfszahl
der Heizkesselanlage

$$\eta_{Q-HK} = 0,900 \text{ MWh/MWh}$$

$$\epsilon_{Q-HK} = 1 / \eta_{Q-HK}$$

$$\epsilon_{Q-HK} = 1,111 \text{ MWh/MWh}$$

Die Brennstoff-Energieeinsparung S_w beträgt also:

Spezifisch

$$S_w = \epsilon_{Q-KWK} - \epsilon_{Q-HK}$$

$$S_w = -0,661 \text{ MWh / MWh}$$

Relativ

$$S_w = (\epsilon_{Q-KWK} - \epsilon_{Q-HK}) / \epsilon_{Q-HK}$$

$$S_w = -60\%$$

Absolut:

$$S = s_w \cdot Q_{KWK}$$

$$S = -40,3 \text{ MWh}$$

Die Carnot-Methode (Exergie der ausgekoppelten Wärme)

Messwerte mit maximaler Wärmeauskopplung

Brennstoff	$W =$	100	MWh
Wärmeauskopplung	$Q_{\text{KWK}} =$	61	MWh
Strom	$A =$	29	MWh

gemessene Temperaturen T:

Vorlauftemperatur*	$T_{\text{KWK-Vorlauf}} =$	378,15	105 °C
Rücklauftemperatur*	$T_{\text{KWK-Rücklauf}} =$	333,15	60 °C
Umgebungstemperatur*	$T_{\text{Umgebung}} =$	283,15	10 °C

* in Kelvin

Die Berechnung nach Carnot ergibt die physikalisch maximal mögliche Stromerzeugung, die mit der ausgekoppelten Wärme noch hätte erzeugt werden können

Mitteltemperatur der Wärmezufuhr T_{Mittel} :

Mitteltemperatur*

$$T_{\text{Mittel}} = (T_{\text{Vorlauf}} + T_{\text{Rücklauf}}) / 2$$

$$T_{\text{Mittel}} = 355,65 \quad 83 \text{ °C}$$

* in Kelvin

Referenz Stromverlustkennzahl β_{Ref} :

Referenz-

$$\beta_{\text{Ref2}} = 1 - T_{\text{Umgebung}} / T_{\text{Mittel}}$$

Stromverlustkennzahl

$$\beta_{\text{Ref2}} = 0,204$$

Referenz Energiebedarfszahl $\epsilon_{\text{Q-Ref}}$:

Referenz-

$$\epsilon_{\text{Q-Ref2}} = W \cdot \beta_{\text{Ref2}} / (A + \beta_{\text{Ref2}} \cdot Q_{\text{KWK}})$$

Energiebedarfszahl

$$\epsilon_{\text{Q-Ref2}} = 0,492$$

Alle Brennstoffeinsätze müssen noch mit ihren spezifischen CO₂-Emissionen multipliziert werden.