



••••• **VIK MITTEILUNGEN**

Juni 2009

Sonderdruck

Die ökologische Bewertung von Wärme und Elektroenergie ein Instrument zur Erhöhung der Akzeptanz der Kraft-Wärme-Kopplung

Achim Dittmann,

Technische Universität Dresden, Institut für Energietechnik

Thomas Sander

Technische Universität Dresden, Institut für Energietechnik

Gerald Menzler

VIK Verband der Industriellen Energie- und Kraftwirtschaft e.V., Essen



**Die ökologische Bewertung von Wärme und Elektroenergie
ein Instrument zur Erhöhung der Akzeptanz der Kraft-Wärme-Kopplung**

Autoren:

Technische Universität Dresden
Institut für Energietechnik
Professur für Energiesystemtechnik und Wärmewirtschaft

Prof. Dr.-Ing. habil. Achim Dittmann

Telefon: 03 51 / 463-3-2145
Fax: 03 51 / 463-3-7076
E-Mail: ensys@metrs1.mw.tu-dresden.de

Dr.-Ing. Thomas Sander

Telefon: 03 51 / 463-3-3097
Fax: 03 51 / 463-3-7076
Email: Thomas.Sander@tu-dresden.de

VIK Verband der Industriellen Energie- und Kraftwirtschaft e.V., Essen

Dipl.-Ing Gerald Menzler

Telefon: 02 01 / 8 10 84-41
Fax: 02 01 / 8 10 84-741
Email: g.menzler@vik.de

Herausgeber:

VIK Verband der Industriellen Energie- und Kraftwirtschaft e.V.

Richard-Wagner-Straße 41
452128 Essen

Telefon: 02 01 / 8 10 84-0
Fax: 02 01 / 8 10 84-30
Internet: www.vik.de

Die ökologische Bewertung von Wärme und Elektroenergie – ein Instrument zur Erhöhung der Akzeptanz der Kraft-Wärme-Kopplung

1. Einführung und Motivation

Die Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) ist politisch als eine Technologie anerkannt, mit der ein bedeutsamer Beitrag zur Reduzierung der CO₂-Emissionen geleistet werden kann. Darauf verweisen u. a. die Positionierungen des Europäischen Parlaments in [1]. Deutschland will dazu den anspruchsvollen Beitrag leisten, den Anteil der KWK an der gesamten Stromerzeugung bis 2020 auf 25 % zu erhöhen.

Trotz des erfreulichen Ergebnisses, dass die KWK in der Politik „angekommen“ ist, werden die immensen Primärenergieeinsparpotenziale im Vergleich zur Nutzung regenerativer Energiequellen oder der Wärmedämmung von der Öffentlichkeit nur in geringem Maße verstanden bzw. wahrgenommen. Dies ist zu Teilen sicher der Tatsache geschuldet, dass die komplexe KWK-Technologie dem energietechnischen Laien nur schwer zugänglich ist. Zum Anderen aber vermissen die Autoren das anhaltende Bemühen der EVU, diese Problematik populär und verständlich in die Öffentlichkeit zu tragen.

Ein Weg dazu könnte der Ausweis der spezifischen CO₂-Emissionen für die KWK-Produkte Wärme und Elektroenergie sein, der bereits in einigen Branchen wie der Automobilindustrie aus Marketing- und Werbezwecken praktiziert wird.

Betreiber industrieller KWK-Anlagen sind neben der Pflicht zur Stromkennzeichnung als Vorlieferant auch innerhalb des eigenen Unternehmens oder als Versorger von Industrie- und Gewerbeparks motiviert, eine Zuordnung der Primärenergie und letztlich der CO₂-Emissionen vorzunehmen. Bei vielen Produkten müssen mittlerweile die bei der Herstellung anfallenden CO₂-Emissionen angegeben werden. Bei einer Wärmelieferung an Dritte für Prozess- oder Raumwärme gilt dies analog. Es kann daher erwartet werden, dass zukünftig die Notwendigkeit der Zuordnung steigen wird.

Ausgehend davon und da sich die KWK an zwei getrennten Märkten, dem globalen Strom- und dem regional stark begrenzten Wärmemarkt, einem ökonomischen und auch ökologischen Wettbewerb zu stellen hat, ist ein CO₂-Emissionsnachweises der KWK-Produkte aus Sicht der Autoren in nächster Zeit zu erwarten.

Es ist weiterhin erforderlich, dass eine Berechnungsmethode angewendet wird, die von allen Akteuren eingesetzt und akzeptiert wird. Die Vorteile der KWK hinsichtlich der Primärenergieeinsparung und der CO₂-Emissionen müssen möglichst objektiv der Wärme oder dem Strom zugeordnet werden.

Im nachfolgenden Beitrag werden Methoden der Umlage der Brennstoffaufwendungen und CO₂-Emissionen auf die Koppelprodukte dargelegt und ihre Konsequenzen an einigen typischen Beispielen aufgezeigt.

¹ Technische Universität Dresden, Institut für Energietechnik

² VIK Verband der Industriellen Energie- und Kraftwirtschaft e.V. Essen

2. Methodische Grundlagen

Das Grundprinzip jeder Brennstoff- oder Emissionsaufteilung besteht darin, den KWK-Produkten Aufteilungsfaktoren für die erzeugte Elektroenergie α_E und die als Prozessdampf abgegebene bzw. in ein Heiznetz eingespeiste Wärme α_Q festzulegen, für die

$$\alpha_E + \alpha_Q = 1 \quad (1)$$

gilt und mit denen der gesamte Brennstoff-Wärme-Aufwand Q_{Br} auf die Elektroenergie

$$Q_{Br,E} = \alpha_E \cdot Q_{Br} \quad (2a)$$

bzw. die Wärme

$$Q_{Br,Q} = \alpha_Q \cdot Q_{Br} = Q_{Br} - Q_{Br,E} \quad (2b)$$

umgelegt wird. Besonders in der Industrie, wo im Regelfall mehrere Dampfnetze mit verschiedenen Drücken betrieben werden, ist es natürlich denkbar, dass Wärme an unterschiedliche Nutzer bei einer evtl. unterschiedlichen Qualität abgegeben wird, so dass Aufteilungsfaktoren für jede dieser genutzten Wärmen festzulegen wären.

Der Ausweis spezifischer Brennstoffaufwendungen erfolgt dann mit Bezug auf die jeweilige Nutzenergieform, d. h. für die in das Stromnetz eingespeiste z. B. jährliche Nettoarbeit $A_{E,ne}$

$$q_{Br,E} = Q_{Br,E} / A_{E,ne} \quad (3a)$$

bzw. die ins Prozessdampf- bzw. Heiznetz übertragene Wärme Q_N

$$q_{Br,Q,N} = Q_{Br,Q} / Q_N \quad (3b)$$

oder die in den Kundenanlagen genutzte Wärme Q_K

$$q_{Br,Q,K} = Q_{Br,Q} / Q_K = Q_{Br,Q} / (Q_N - Q_{V,N}) \quad (3c)$$

($Q_{V,N}$ – Wärmeverluste des Netzes). Da dem in der KWK-Anlage eingesetzten Brennstoff spezifische Heizwert bezogene CO_2 -Emissionen $e_{CO_2,Br}$ (z. B. in kg/MWh) zuzuordnen sind, lassen sich die produktbezogenen spezifischen Emissionen aus

$$e_{CO_2,i} = q_{Br,i} \cdot e_{CO_2,Br} \quad (4)$$

(I \equiv E bzw. Q) ermitteln.

Nach Darlegung der allgemeinen Vorgehensweise soll die Ermittlung der Aufteilungsfaktoren α_E und α_Q näher betrachtet werden. Zunächst sei festgestellt, dass kein Verfahren existiert, das zwingend anzuwenden wäre. Wie nachstehend im Einzelnen diskutiert wird, sind jedoch aus thermodynamischer Sicht die Verfahren zu präferieren, die die unterschiedliche Qualität der Energieformen Wärme und Arbeit berücksichtigen. Für die praktische Umsetzung ist es darüber hinaus wichtig, dass die zur Aufteilung benötigten Daten unproblematisch beschaffbar sind und das jeweilige Aufteilungsverfahren nicht nur von Spezialisten verstanden wird.

Naheliegender ist demzufolge das „**kalorische**“ Aufteilungsverfahren auf der Grundlage des Energieerhaltungssatzes, da die dafür benötigten Jahresenergiewerte, der

Jahresbrennstoffwärmebedarf Q_{Br} , die elektrische Bruttoarbeit $A_{E,br}$ und die ins Heiznetz eingespeiste Nutzwärme Q_N (jeweils für die KWK), ohnehin für die Berechnung des KWK-Stroms gegenüber dem BAFA nachzuweisen sind. Dieses Verfahren bewertet die Qualität der Energie nicht, da die Aufteilungsfaktoren lediglich auf der Quantität der Energien

$$\alpha_{E,k} = \frac{A_{E,br}}{A_{E,br} + Q_N}, \quad \alpha_{Q,k} = \frac{Q_N}{A_{E,br} + Q_N} \quad (5)$$

beruhen. Mit der Bruttostromkennzahl $\sigma_{br} = \frac{A_{E,br}}{Q_N}$ folgt auch

$$\alpha_{E,k} = \frac{\sigma_{br}}{1 + \sigma_{br}} = 1 - \alpha_{Q,k} \quad (5a)$$

Mit diesem Verfahren wird die elektrische Arbeit eindeutig bevorteilt und zwischen dem spezifischen, d. h. auf die beiden oben genannten Nutzenergieformen bezogenen, CO_2 -Emissionen bestehen keine Unterschiede, sie entsprechen den spezifischen Brennstoffemissionen.

Eine differenziertere Betrachtung ist mit Hilfe eines **Vergleichs mit der getrennten Erzeugung** von Wärme und Elektroenergie als Referenzsystem möglich. Dabei werden mit dem Brennstoffnutzungsgrad des Referenzkraftwerkes $\zeta_{KW,R}$ und des Referenzheizwerkes $\zeta_{HW,R}$ die Brennstoffwärmeverbräuche bei getrennter Erzeugung

$$Q_{Br,KW,g} = A_{E,br} / \zeta_{KW,R} \quad (6a)$$

$$Q_{Br,HW,g} = Q_N / \zeta_{HW,R} \quad (6b)$$

ermittelt und damit die Aufteilungsfaktoren

$$\alpha_{E,g} = 1 - \alpha_{Q,g} = \frac{\sigma_{br}}{\sigma_{br} + \zeta_{KW,R} / \zeta_{HW,R}} \quad (7)$$

bestimmt. Dieses Verfahren ist selbstverständlich seit langem in der Diskussion (siehe z. B. [4], [5]), scheiterte aber in der Vergangenheit am fehlenden Konsens hinsichtlich der Festlegung der Referenzwerte. Mit der Richtlinie 2004/8/EG [1] des Europäischen Parlaments sind in [2] so genannte harmonisierte Wirkungsgrad-Referenzwerte verbindlich festgelegt worden. Da dieses Verfahren zur Bewertung der „Hocheffizienz“ von KWK-Anlagen bereits in die deutsche Gesetzgebung (EeWärmeG, KWKG) aufgenommen wurde, könnte es zur Aufteilung verwendet werden (es wird mitunter – weshalb auch immer – als „finnisches Verfahren“ bezeichnet).

Bei exakter Handhabung sind neben den bereits genannten Daten der elektrische Eigenbedarf (wird auch gegenüber BAFA benötigt), das Inbetriebnahmejahr, die Spannungsebene der elektrischen Einspeisung und die jahresmittlere Umgebungstemperatur notwendig, insgesamt Daten, die einfach beschaffbar sind. Unsere diesbezüglichen Untersuchungen in [6] zeigen jedoch, dass mit einem hohen Genauigkeitsanspruch mit 10-Jahres-gemittelten Werten von Temperatur und elektrischem

Eigenbedarf gerechnet werden kann. Die sich daraus ergebenden Werte für die Baujahre 2006 – 2012 und 100 % Netzeinspeisung zeigt Tabelle 1.

Tabelle 1 Harmonisierte Wirkungsgradreferenzwerte ($t_{U,m} = 8 \text{ °C}$)

	Primärenergie			Bemerkungen
	Steinkohle	Braunkohle	Erdgas	
$\zeta_{KW,R}$	44,9	42,5	53,2	> 200 kV (max.)
	41,5	39,3	49,2	< 0,4 kV (min.)
$\zeta_{HW,R}$	88,0	86,0	90,0	ohne Berücksichtigung Kondensatrückf.
	83,0	81,0	85,0	mit Berücksichtigung Kondensatrückf.

Im Bild 1 sind die Brennstoffaufteilungsfaktoren für Elektroenergie für feste Brennstoffe in Abhängigkeit von der Stromkennzahl in dem für diese Heizkraftwerke typischen Bereich dargestellt. Es ist zum Einen ablesbar, dass der KWK-Strom beim kalorischen Verfahren deutlich bevorteilt wird, während die Verwendung der harmonisierten Wirkungsgradreferenzwerte zu einer differenzierteren Bewertung der Elektroenergie führt. Zum Anderen zeigt sich, dass die Auswirkungen der Einspeisungsspannungsebene (max. > 200 kV, min. < 0,4 kV) auf den Aufteilungsfaktor α_E (und damit auch auf $\alpha_Q = 1 - \alpha_E$) marginal sind, so dass auch hier zum Zwecke einer einfacheren Handhabung mit einem spannungsebenengemittelten Wert gerechnet werden kann. Die Darstellung der Aufteilungsfaktoren für Erdgas als Primärenergieträger in Bild 2 muss mit Blick auf die soeben getroffenen Aussagen nicht weiter kommentiert werden.

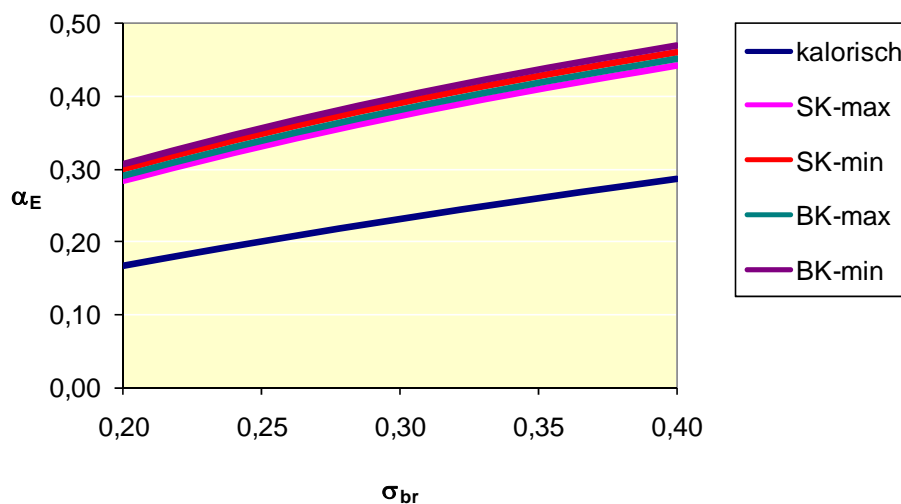


Bild 1 Aufteilungsfaktor Strom für feste Brennstoffe (kalorisch bzw. nach EU 2004/8/EG)

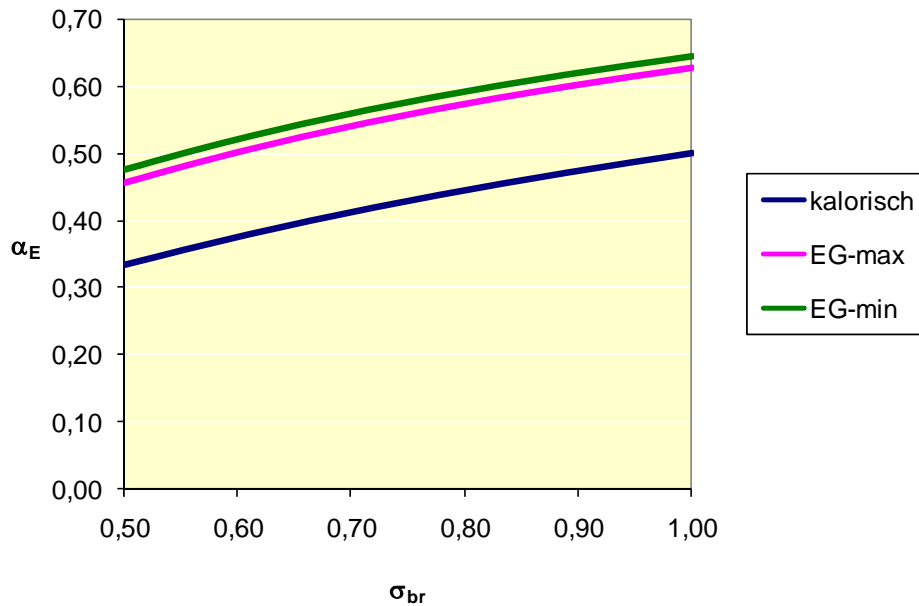


Bild 2 Aufteilungsfaktor Strom für Erdgas (kalorisch bzw. nach EU 2004/8/EG)

Das physikalisch sinnvollste **Aufteilungsverfahren auf der Basis der Exergie** berücksichtigt, dass Wärme nur bedingt in Arbeit umgewandelt werden kann. Da mechanische bzw. elektrische Arbeit reine Exergie darstellt, ergibt sich der Aufteilungsfaktor α_E mit der Exergie der ausgekoppelten Wärme $E_{Q,A}$ und der elektrischen Bruttoarbeit $A_{E,br}$ (jeweils die KWK-Produkte) zu

$$\alpha_{E,ex} = \frac{A_{E,br}}{A_{E,br} + E_{Q,A}} \quad (8)$$

Dabei ist darauf zu achten, dass die aus dem KWK-Prozess ausgekoppelte Exergie der Wärme und nicht die ins Heiznetz eingekoppelte verwendet wird, da sonst die Exergieverluste bei der Wärmeübertragung der elektrischen Arbeit zugeordnet werden. Das ist wohl der Grund, weshalb viele Ingenieure der Fernwärme- und Heizkraftpraxis dieses Verfahren als „zu kompliziert“ ablehnen. Die Autoren teilen diese Meinung nicht und hoffen, dies nachträglich auch belegen zu können.

Zunächst sei darauf verwiesen, dass die Exergie der Wärme sich mit Hilfe des so genannten CARNOT-Faktors

$$\eta_{C,A} = 1 - \frac{T_{U,m}}{T_{A,m}} \quad (9)$$

mit der mittleren Umgebungstemperatur $T_{U,m}$ und der Mitteltemperatur der Wärmeauskopplung $T_{A,m}$ zu

$$E_{Q,A} = \eta_{C,A} \cdot Q_N \quad (10)$$

berechnen lässt, so dass sich der Aufteilungsfaktor wie folgt schreiben lässt:

$$\alpha_E = \frac{\sigma_{br}}{\sigma_{br} + \eta_{C,A}} \quad (8a)$$

Da die praktikable Ausführung von Berechnungen häufig an der Beschaffung der Daten scheitert, sei darauf hingewiesen, dass lediglich die Energiedaten benötigt werden, die zur Ermittlung des KWK-Stroms nach FW 308 [7] ohnehin beizubringen sind, zuzüglich der Temperatur $t_{U,m}$. Diese ist leicht mit Hilfe des Internet beschaffbar, so dass die Bestimmung der Mitteltemperatur der Wärmeauskopplung für die weitere Diskussion noch offen bleibt. Diesbezüglich sind nunmehr die möglichen Schaltungen differenziert zu betrachten. Dabei gehen die Autoren davon aus, dass die nachstehend verwendeten Symbole für Brennstoff, Wärme und Elektroenergie die KWK-Produkte betreffen, die z. B. den Gutachten für die Ermittlung des KWK-Stroms für das BAFA entnommen werden können.

- a) KWK-Anlagen mit Dampfturbinen, d. h. konventionelle HKW, Gas-Dampf-Kombi- bzw. ORC-Prozesse

Hier wird die Wärme, abgesehen von der ggf. am „kalten“ Ende des Abhitzekessels an das Heiznetz übertragenen Wärme, die mit Hilfe der Ausführungen zu b) bewertbar ist, durch Kondensation des Dampfes in den so genannten Heizkondensatoren übertragen. Bei Beschränkung auf die Kondensation ergibt sich mit der jeweiligen Kondensationstemperatur des Dampfes T_k für den CARNOT-Faktor

$$\eta_{C,A,i} = 1 - \frac{T_{U,m}}{T_{k,i}} \quad (11)$$

(i betrifft den jeweiligen Heizkondensator der zumeist mehrstufigen Erwärmung). Bei Prozessdampfversorgung z. B. über Dampfsammelschienen ist das leicht anwendbar. Ansonsten ist es praktisch kaum denkbar, für jeden Heiko eine jahresmittlere Kondensationstemperatur seriös zu bestimmen, so dass auf vereinfachte Verfahren zurückzugreifen ist. Auf jeden Fall wird es den Energieversorgern, das haben die Autoren mehrfach festgestellt, möglich sein, die jahresmittleren Heiznetzvor- und -rücklauftemperaturen $t_{V,m}$, $t_{R,m}$ zu ermitteln. Die einfachste Möglichkeit wäre es, auf der thermodynamischen Mitteltemperatur des Heiznetzes

$$T_{N,m} = \frac{t_{V,m} - t_{R,m}}{\ln(T_{V,m}/T_{R,m})} \quad (12)$$

aufzubauen. Da die internen Prozesstemperaturen höher als diese Temperatur sind, kann die Mitteltemperatur der Wärmeauskopplung mit einem Korrekturfaktor k_m näherungsweise bestimmt werden.

$$T_{A,m} \approx k_m \cdot T_{N,m} \quad (13)$$

Aus vielen Berechnungen, die die Autoren zur exergetischen Bewertung vorgenommen haben, hat sich ein Wert von $k_m \approx 1,05$ als sinnvoll erwiesen.

Höhere Genauigkeiten sind erzielbar, wenn zusätzlich die Anzahl der Heizkondensatoren n und die minimale Grädigkeit ΔT_{\min} bekannt sind. Die Kondensationstemperatur des letzten beträgt dann stets

$$T_n = T_{V,m} + \Delta T_{\min} \quad (14)$$

und bei einer gleichmäßigen Aufteilung der Heiznetztemperaturspreizung $\Delta T_N = t_{V,m} - t_{R,m}$ ergibt sich für die Kondensationstemperatur der Stufe i

$$T_i = T_{i+1} - \frac{\Delta T_N}{n} \quad (15)$$

und daraus die thermodynamische Mitteltemperatur

$$T_{A,m} = \frac{n}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{T_i}} \quad (16)$$

Im Bild 3 sind die CARNOT-Faktoren für das „Überschlagsverfahren“ und eine 1- bis 3-stufige Heiznetzerwärmung ($t_{V,m}/t_{R,m} = 110/60$ °C; $\Delta T_{\min} = 5$ K) dargestellt. Es ist zu erkennen, dass die Unterschiede zwischen dem vereinfachten Verfahren und dem durch die Schaltung spezifizierten Verfahren nach Gl. (16) gering sind. Noch deutlicher wird dies bei der Darstellung des Aufteilungsfaktors α_E in Abhängigkeit von der Bruttostromkennzahl (Bild 4), so dass auch unter Berücksichtigung der Tatsache, dass alle jährlichen Messwerte auf Grund der im Allgemeinen eingesetzten Betriebsmesstechnik mit Fehlern behaftet sind, dem vereinfachten Verfahren der Vorzug gegeben werden kann. Damit ist der häufig geäußerte Vorbehalt, dass die exergetische Bewertung „zu kompliziert“ ist, nicht haltbar.

Im Übrigen, darauf soll noch hingewiesen werden, wird mit der exergetischen Bewertung dem KWK-Strom ein noch höherer Brennstoffanteil zugewiesen als bei der Bewertung mit Hilfe der Referenzsysteme.

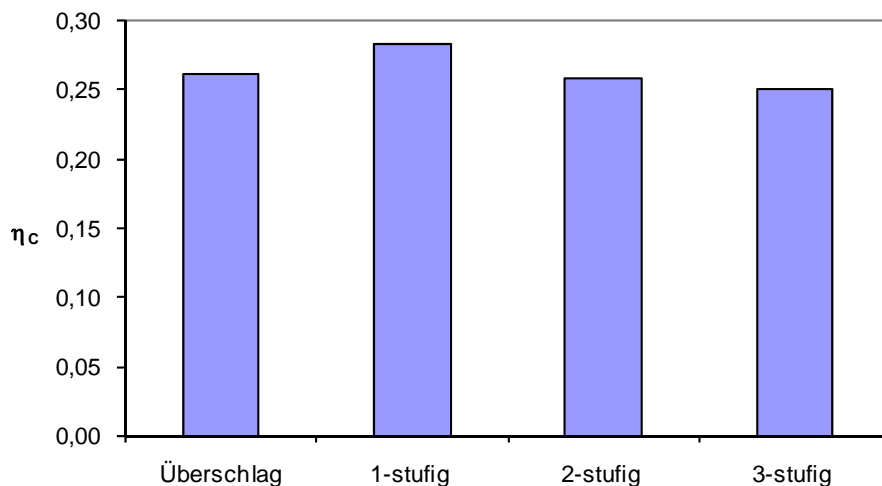


Bild 3 Carnotfaktoren

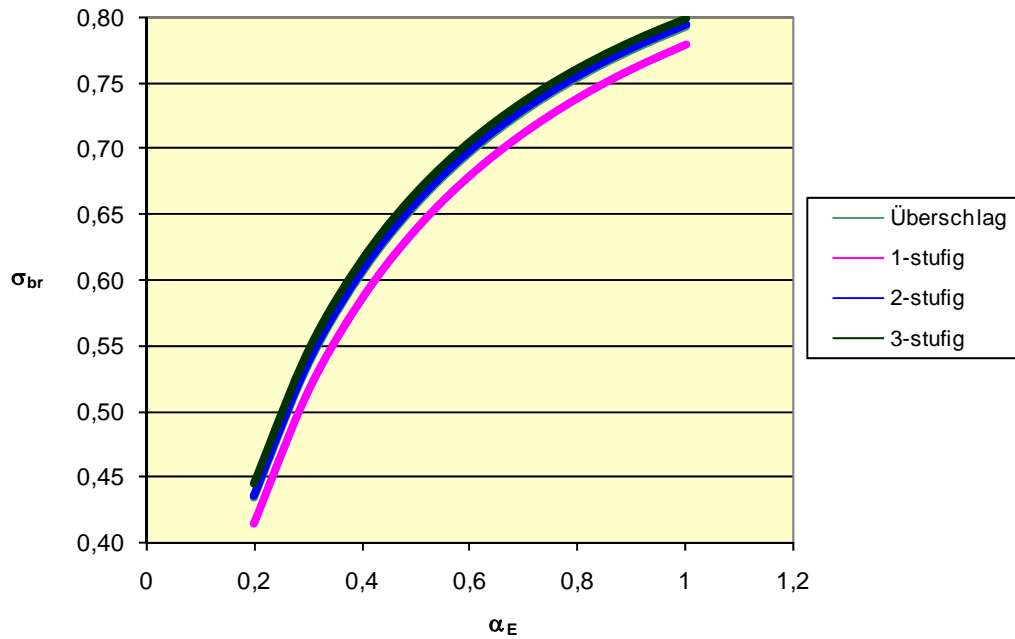


Bild 4 Exergetischer Aufteilungsfaktor Strom

b) Gasturbinen mit Abhitzekeessel

Obwohl dieser Art der Kraft-Wärme-Kopplung im Fernwärmemarkt Deutschland nur eine geringe Bedeutung zuzumessen ist, sei kurz darauf eingegangen. Für eine konkrete und seriöse Bewertung müssten die jahresmittleren Gasaustrittstemperaturen aus der Gasturbine $t_{GT,m}$ und dem Abhitzekeessel $t_{AK,m}$ bekannt sein. Auch hier trifft das unter a) geäußerte Argument zu, dass diese Temperaturen ggf. nur mit größerem Aufwand bestimmbar sind.

Bei Annahme einer quasiisobaren Wärmeabfuhr im Abhitzekeessel ergibt sich dann für die Mitteltemperatur der Wärmeauskopplung

$$T_{A,m} = \frac{t_{GT,m} - t_{AK,m}}{\ln(T_{GT,m}/T_{AK,m})} \quad (17)$$

und daraus der CARNOT-Faktor. Tatsächlich aber ist der Einfluss der exakten Bestimmung der Temperaturen auf diesen und den Aufteilungsfaktor α_E relativ gering, wie Bild 5 zeigt, so dass die Temperaturen z. B. aus wenigen Betriebsmessungen abgeschätzt werden können.

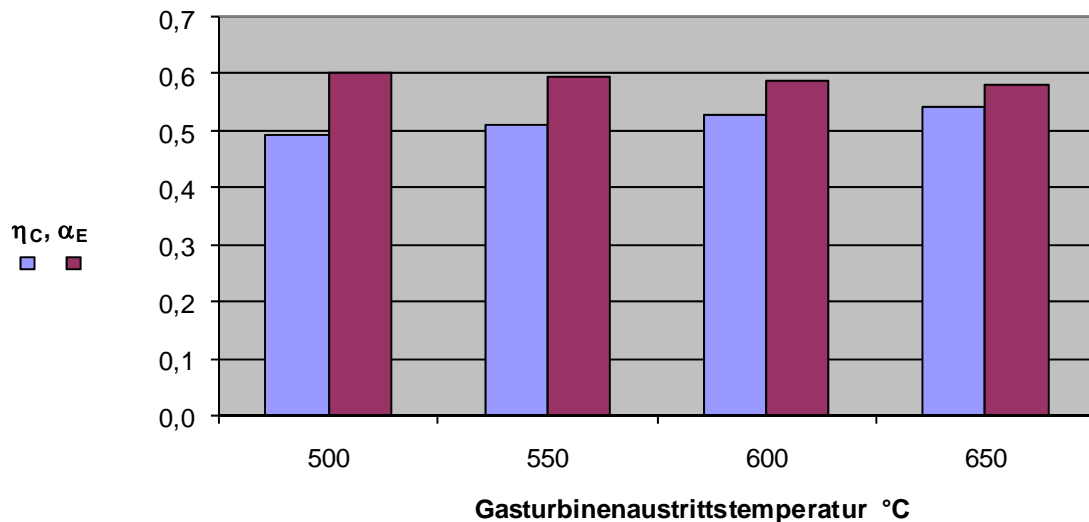


Bild 5 Carnot- und Aufteilungsfaktor Strom (Gasturbine mit Abhitzekeessel, $\sigma_{br} = 0,75$)

c) Blockheizkraftwerke

Die Vorgehensweise entspricht den beiden vorgenannten Fällen, da die Exergie der Motorabwärme adäquat a) und der aus dem Abgas abgeführten Wärme gemäß c) ermittelbar ist. Aus diesem Grund erfolgt dazu keine Vertiefung.

Einen Schritt weiter als das exergetische Verfahren geht das **thermodynamische bzw. Stromverlustverfahren** [8]. Es impliziert, dass die Nutzung der Arbeitsfähigkeit der Wärme nur in einem zusätzlichen Prozess realisierbar ist, der wie auch der tatsächliche Prozess der Umwandlung von Brennstoff- in Elektroenergie durch Verluste gekennzeichnet ist. Zur Abschätzung des tatsächlich nutzbaren Teils der Exergie der ausgekoppelten Wärme wird daher ermittelt, wie viel Strom aus der Heizwärme erzeugt werden könnte, wenn reale Annahmen zu Prozessgütegrad und Kondensationstemperatur des Zusatzprozesses getroffen werden. Es wird vorgeschlagen, Werte von $\nu_{KP} = 0,80$ sowie $t_{k,m} = 30 \text{ °C}$ zu verwenden. Für die Parameter der Heizwärme gelten die in Abschnitt 2 getroffenen Aussagen. Gegenüber der exergetischen Bewertung steigt auf Grund der weiteren „Entwertung“ der Wärme der Brennstoffanteil des KWK-Stroms nochmals an.

Das Verfahren gibt die Realität der Energieumwandlung am Besten wieder. Der Nachteil besteht jedoch darin, dass mit dem Gütegrad und der Kondensationstemperatur des Zusatzprozesses zur Wärmenutzung wieder Referenzwerte erforderlich sind, die eine entsprechende Angriffsfläche bieten.

3. Bestimmung der spezifischen CO₂-Emissionen

Nach Aufteilung der Brennstoffenergie auf die Produkte Elektroenergie und Wärme fällt es nun leicht, entsprechend dem verwendeten Brennstoff mit seiner spezifischen CO₂-Emission die Aufteilung der Emissionen auf die Produkte vorzunehmen.

Tabelle 2 Spezifische CO₂-Emissionen wichtiger Brennstoffe der KWK

Brennstoff	Spezifische CO ₂ -Emissionen kg CO ₂ /MWh _{BS}
Steinkohle	335
Braunkohle	400
Erdgas	202

- KWK-Strom: $E_{\text{CO}_2, \text{KWK}, E} = E_{\text{CO}_2, \text{KWK}} \cdot \alpha_E$ (18)

- KWK-Wärme: $E_{\text{CO}_2, \text{KWK}, W} = E_{\text{CO}_2, \text{KWK}} \cdot \alpha_W$ (19)

Daraus können weiterhin gemäß Gleichung (4) die spezifischen, d.h. produktbezogenen CO₂-Emissionen ermittelt werden.

4. Darstellung der Methoden am Beispiel von Industrie-HKW

Für die Darstellung wurde je ein Industrie-Heizkraftwerk mit Steinkohle- und mit Erdgasfeuerung ausgewählt. Die HKW verfügen über jeweils eine Prozessdampfsammelschiene mit Sattedampf von 200 bzw. 195 °C.

Folgende Jahreswerte wurden zugrundegelegt:

• Steinkohle-HKW:	Jahresarbeit KWK elektrisch (brutto)	122.882 MWh/a
	Jahresarbeit KWK elektrisch (netto)	85.894 MWh/a
	Jahresarbeit KWK thermisch (netto)	673.283 MWh/a
	Brennstoffbedarf gesamt	903.023 MWh/a
	Emissionen gesamt	316.058 t CO ₂ /a
• Erdgas-HKW:	Jahresarbeit KWK elektrisch (brutto)	79.530 MWh/a
	Jahresarbeit KWK elektrisch (netto)	78.339 MWh/a
	Jahresarbeit KWK thermisch (netto)	141.921 MWh/a
	Brennstoffbedarf gesamt	282.112 MWh/a
	Emissionen gesamt	56.422 t CO ₂ /a

Die Berechnungsergebnisse der beschriebenen Methoden sind in Bild 6 und Bild 7 dargestellt.

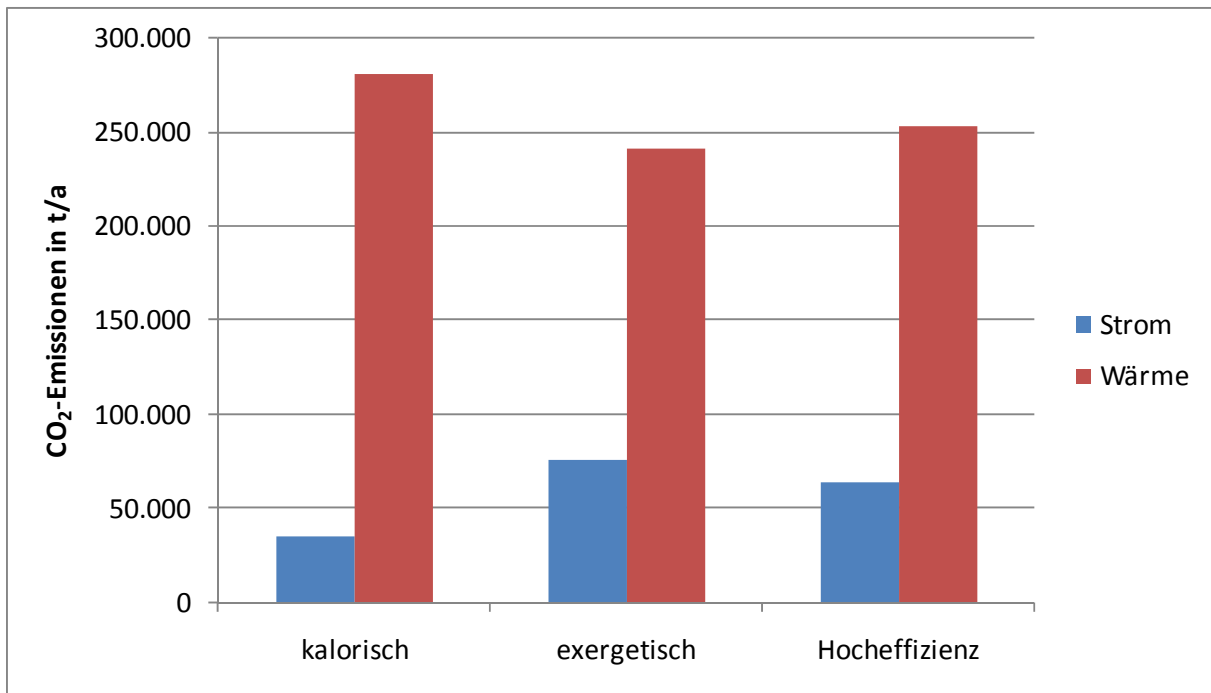


Bild 6 Aufteilung der CO₂-Emissionen am Beispiel des Steinkohle-HKW

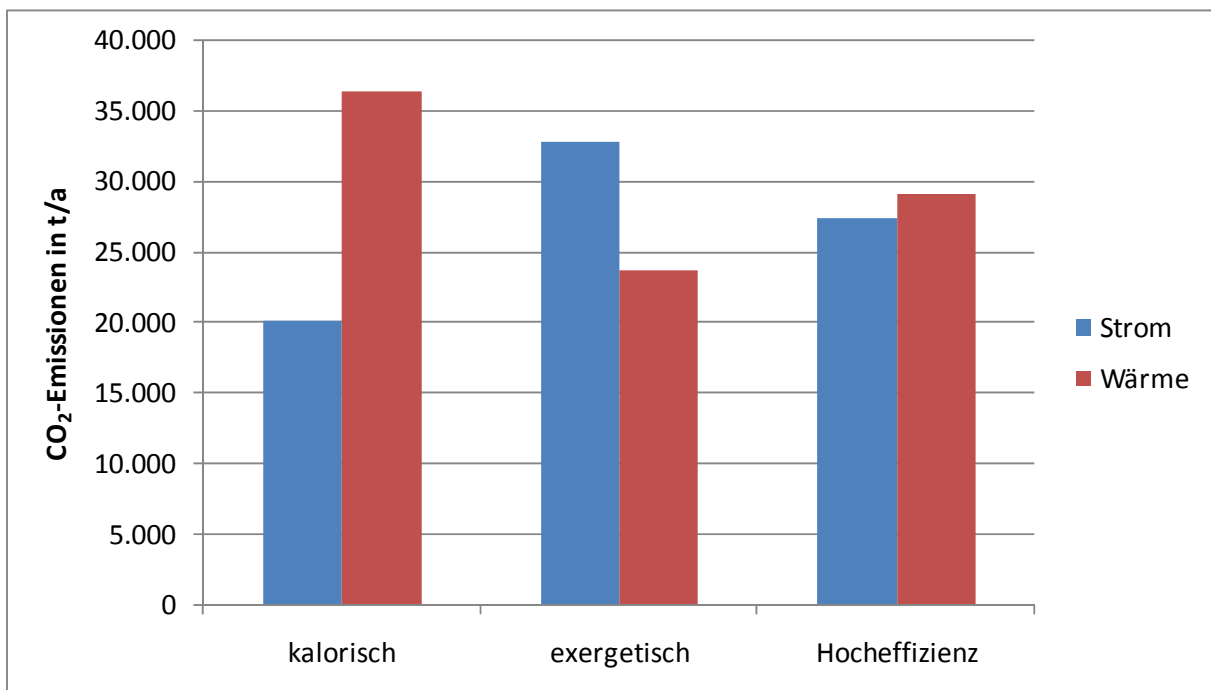


Bild 7 Aufteilung der CO₂-Emissionen am Beispiel des Erdgas-HKW

5. Fazit

Für die Aufteilung des Brennstoffverbrauchs von KWK-Anlagen auf die Produkte Elektroenergie und Wärme können verschiedene Verfahren angewendet werden, die thermodynamisch mehr oder weniger begründet sind. Sie stellen den Ausgangspunkt für eine Aufteilung der CO₂-Emissionen auf die Produkte dar.

Für den CO₂-Emissionsnachweis wird es in Zukunft unabdingbar sein, von einer einheitlichen Berechnungsmethode auszugehen. Diese Methode muss ausreichende Akzeptanz finden und mit leicht zu beschaffenden Werten ausführbar sein.

Wie oben dargelegt, wird der KWK-Strom beim kalorischen Verfahren deutlich bevorteilt, während die Verwendung der harmonisierten Wirkungsgradreferenzwerte zu einer differenzierteren Bewertung der Elektroenergie führt. Aus thermodynamischer Sicht ist jedoch die exergetische Aufteilung mit prozessinternen Temperaturen bzw. das strombasierte Verfahren zu präferieren, die die Qualität der Energien exakt bewerten. Die Bestimmung der Exergien ist dabei mit sinnvollen Annahmen in der Regel unproblematisch möglich.

Die Autoren hoffen, mit ihren Ausführungen einen zielführenden Beitrag zur Auswahl eines geeigneten Verfahrens für den Emissionsnachweis geleistet zu haben.

Literatur

- [1] Richtlinie 2004/8/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 11.02.2004 über die Förderung einer am Nutzwärmebedarf orientierten Kraft-Wärme-Kopplung im Energiebinnenmarkt.
Amtsblatt der Europäischen Union 21.02.2004 (L 52/50)
- [2] Entscheidung der Kommission vom 21.12.2006 zur Festlegung harmonisierter Wirkungsgrad-Referenzwerte für die getrennte Erzeugung von Strom und Wärme in Anwendung der Richtlinie 2004/8/EG des Europäischen Parlaments und des Rates.
Amtsblatt der Europäischen Union 06.02.2007 (L32/183)
- [3] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit:
Neues Denken – Neue Energie. Roadmap Energiepolitik 2020.
BMU, Berlin 2009
- [4] Dittmann, A.; Nestke, C.: Braucht die KWK die Exergie?
Vortrag zum 12. Dresdner Fernwärmekolloquium 2007
- [5] Pauer, W.: Einführung in die Kraft- und Wärmewirtschaft.
Verlag Theodor Steinkopff, Dresden 1959
- [6] Dittmann, A.; Sander, T.: Hocheffizienz der Kraft-Wärme-Kopplung aus Sicht der EU.
Euroheat & Power (in Vorbereitung)
- [7] AGFW-Arbeitsblatt FW 308: Zertifizierung von KWK-Anlagen - Ermittlung des KWK-Stroms. November 2002
- [8] Zschernig, J.; Sander, T.: „KWK-Strom“ - Was ist das?
Euroheat & Power, Jg. 36 (2007), Nr. 6, S. 26-36
- [9] Menzler, Gerald: CO₂-Kennzeichnung von Strom aus KWK-Anlagen – Brennstoffzuordnung auf elektrische und thermische Energie (Entwurf).
VIK Verband der Industriellen Energie- und Kraftwirtschaft e.V., Essen 2006

