



LowTEMP2.0

# Bilanzierung von Treibhausgas- Emissionen für KWK-Systeme und Empfehlungen zur Bilanzierungsmethode

*LowTEMP Trainingsmodul 9*



# LowTEMP-Trainingspaket – Gliederung

## Einführung

Einführung in Klimaschutzstrategie(n) & -ziele

Einführung in Energieversorgungssysteme und Niedertemperaturfernwärme (NTFW)

Energieversorgungssysteme im Ostseeraum

## Energiestrategien und Pilotprojekte

Methodik zur Entwicklung von Pilot-Energie-Strategien

Pilot-Energiestrategien - Ziele und Voraussetzungen

Pilot-Energie-Strategien – Beispiele

Pilot- bzw. Demonstrationsprojekte

Berechnung von THG-Emissionen

Lebenszyklusanalyse von NTFW

## Finanzielle Aspekte

Lebenszykluskosten von NT FW-projekten

Wirtschaftlichkeit und unrentierliche Kosten

Vertrags- und Zahlungsmodelle

Geschäftsmodelle und innovative Förderstrukturen

## Technische Aspekte

Rohrleitungssysteme

Kraft-Wärme-Kopplung (KWK)

Großmaßstäbliche Solarthermie

Ab- & Überschusswärme

Großmaßstäbliche Wärmepumpensysteme

Power-2-Heat und Power-2-X

Thermische, solare Eis- und PCM-Speichertechniken

Wärmepumpen-Systeme

Niedrigtemperatur und Fußbodenheizung

Trinkwarmwasserproduktion

Lüftungssysteme

## Erfolgsrezept

Best Practice I

Best Practice II

# Motivation

- Die **Methoden zur Zuweisung von THG-Emissionen\*<sub>1</sub>** auf die Strom- und Wärmeseite wurden für **energiepolitische Instrumente, die Unterstützung der Planung von Energiesystemen** sowie der **Entscheidungsfindung** und der **Entwicklung von Richtlinien** sowohl auf der Regierungs-, als auch auf der regionalen und der industriellen Ebene entwickelt
- **KWK-Systeme** produzieren Strom und Wärme mit einer Effizienz von mehr als **95%**
- Bei getrennter Erzeugung könnten Strom und Wärme aus fossilen Brennstoffen mit einer Effizienz von bis zu 45% (Stromproduktion) bzw. 85% (Wärmeproduktion) produziert werden.

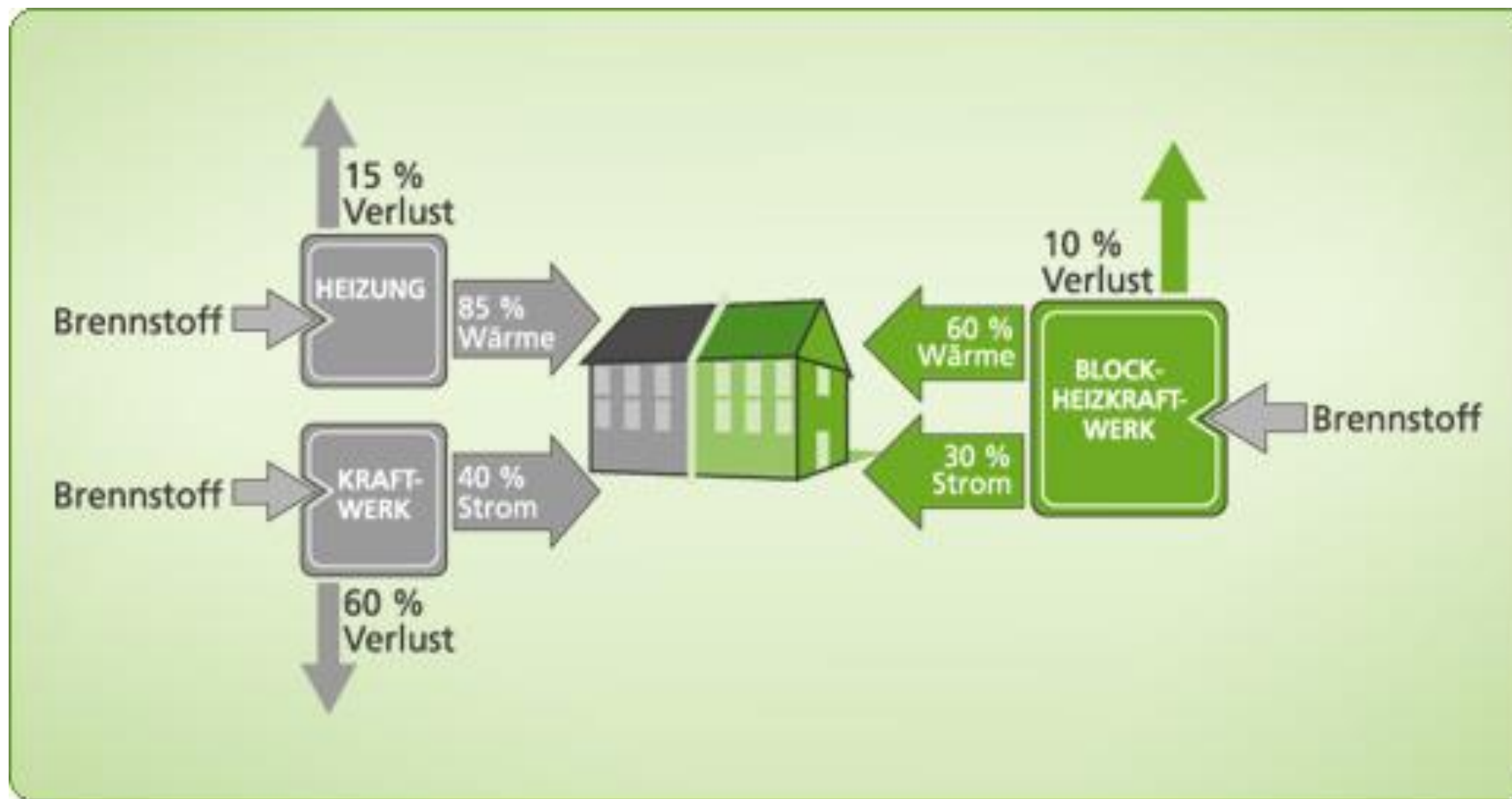
**Wie hoch sollten die Emissionen sein, die wir der Energie- und Wärmeproduktion zuweisen?**



Abb. 1: : Abgase des größten Braunkohlekraftwerks Belchatów (PL)  
Quelle: M. Dzierzgowski, IMP PAN

\*<sub>1</sub> Treibhausgasemissionen oder CO<sub>2</sub>-Äquivalente beinhalten alle klimawirksamen Gase: Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>), Methan (CH<sub>4</sub>) oder Distickoxide oder Lachgas (N<sub>2</sub>O)

# Vorteile der KWK



Derzeit vorwiegend mit fossilen Energieträgern betrieben.

Abb. 2: Vergleich Energieverluste zwischen Einzelerzeugung von Strom und Wärme und Kraft-Wärme-Kopplung [0]



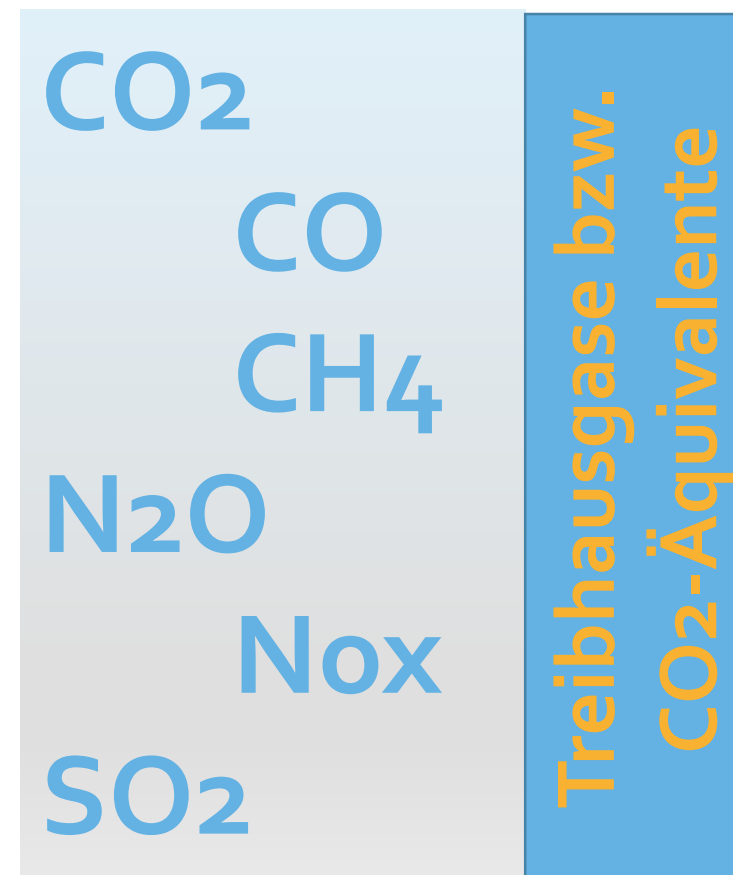
# Emissionsquellen und deren Treibhauspotenzial

## Treibhauspotenzial

- Die Verbrennung fossiler Brennstoffe führt zur Emission von Treibhausgasen, wozu hauptsächlich Kohlendioxid, Methan, Distickstoffmonoxid und weitere gehören. **Diese Emissionen werden in CO<sub>2</sub>-Äquivalente umgerechnet**, indem die Menge der Emissionen mit deren Treibhauspotenzial multipliziert wird.
- Das **Treibhausgaspotenzial** wird berechnet, um die **Aufenthaltsdauer des Gases in der Atmosphäre sowie die Stärke von deren Energieabsorption** abzubilden. Es wird der Beitrag zur Klimaerwärmung definiert, der durch die Emission einer Einheit des Gases im Verhältnis zu einer Einheit des Referenzgases (CO<sub>2</sub>) hervorgerufen wird, dargestellt.

### Beispiele:

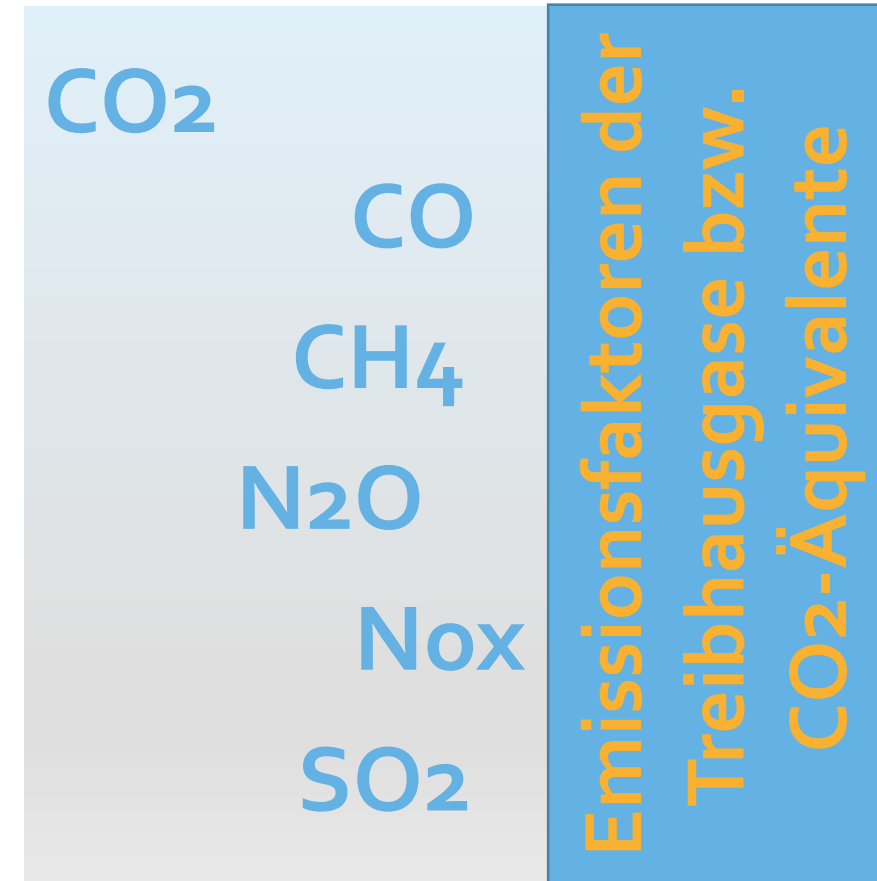
Treibhauspotenzial CO <sub>2</sub> -Äquivalent (per Definition):	1
Methan (CH <sub>4</sub> ):	28–36
Distickstoffmonoxid (N <sub>2</sub> O), Lachgas:	265–298.





# Methoden zur Beurteilung von Treibhausgasemissionen

- Es gibt zwei wesentliche Methoden zur Beurteilung der Treibhausgasemissionen aus stationären Verbrennungsquellen:
  - Direkte Messung
  - Analyse von Emissionen eines Energieträgers / Brennstoffs
- Die direkte THG-Emissions-Messung kann durch Nutzung eines **kontinuierlichen Emissions-Überwachungssystems** erfolgen.
- Die Berechnung der THG-Emissionen durch Nutzung der Brennstoffanalysemethode beinhaltet die Festlegung des Treibhausgasgehalts im genutzten Brennstoff;
- Ein **Emissionsfaktor** wird als durchschnittliche Emissionsrate der Treibhausgase einer gegebenen Quelle definiert. Er steht im Verhältnis zur Aktivitätseinheiten (normalerweise Menge des verbrannten Brennstoffes oder kWh des genutzten Stroms etc.).





# Treibhausgasemissionen verschiedener Brennstoffe

Es gibt drei Standardgleichungen zur Berechnung der Treibhausgasemissionen je nach Art des verbrannten Brennstoffes:

## **(1) Treibhausgasemissionen = Brennstoff \* Emissionsfaktor (EF) 1**

**Treibhausgasemissionen** = Menge des emittierten CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> oder N<sub>2</sub>O,

**Brennstoff** = Menge oder Volumen des verbrannten Brennstoffes,

**EF1** = CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> oder N<sub>2</sub>O **Emissionsfaktor** je Masse- oder Volumeneinheit

## **(2) Treibhausgasemissionen = Brennstoff \* Brennwert \* Emissionsfaktor (EF) 2**

**Brennstoff** = Menge oder Volumen des verbrannten Brennstoffes,

**Brennwert** = Wärmegehalt des Brennstoffes (Brennwert), in Einheiten von Energie je Brennstoffmasse oder -volumen;

**EF2** = CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, oder N<sub>2</sub>O **Emissionsfaktor** je Energieeinheit

## **(3) Treibhausgasemissionen = Brennstoff \* Kohlenstoffgehalt \* 44/12**

**Brennstoff** = Menge oder Volumen des verbrannten Brennstoffes,

**Kohlenstoffgehalt** = Der Kohlenstoffgehalt des Brennstoffes in Einheiten von Masse an Kohlenstoff je Brennstoffmasse oder -volumen,  
44/12 = Verhältnis der molekularen Masse von CO<sub>2</sub> und Kohlenstoff

# Primärenergie und Primärenergiefaktor

## Primärenergie (PE)

beschreibt den Energieinhalt sowohl aus erneuerbaren als auch nicht-erneuerbaren Quellen ohne jegliche Form der Umwandlung

Werden die Primärenergieträger genutzt, wird die enthaltene Energie durch die Nutzung (z.B. Verbrennung) umgewandelt in ein gewünschtes Produkt. Dem Endnutzer steht sie dann als Endenergie (bspw. in Form von Strom oder Wärme) zur Verfügung.

## Primärenergiefaktor (PEF)

verbindet die Primär- und die Endenergie und zeigt damit, wie viel Primärenergie zur Erzeugung einer Einheit Strom oder nutzbarer Wärmeenergie genutzt wird.

**Primärenergie \* Systemeffizienz = Endenergie**

**Primärenergiefaktor = Primärenergie/Endenergie**

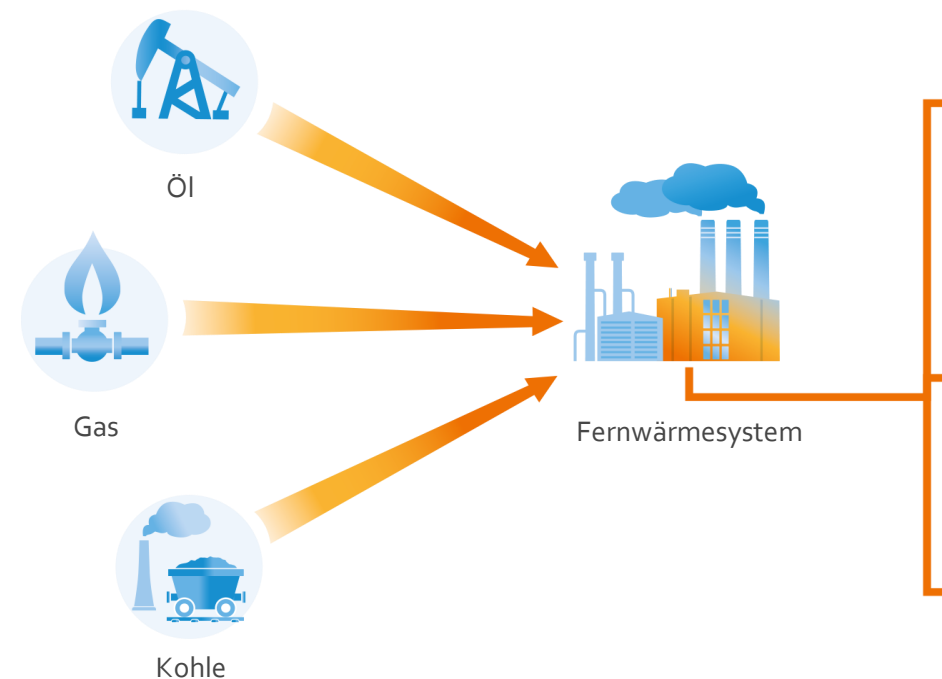


Abb. 3: Konventionelle Wärmeerzeugung mittels FW, Quelle: Original LowTEMP Grafik Abrahamsson, AliasDesign, for Sustainable Business Hub, übersetzt

# Primärenergiefaktor $f_{P,FW}$ des Fernwärmesystems

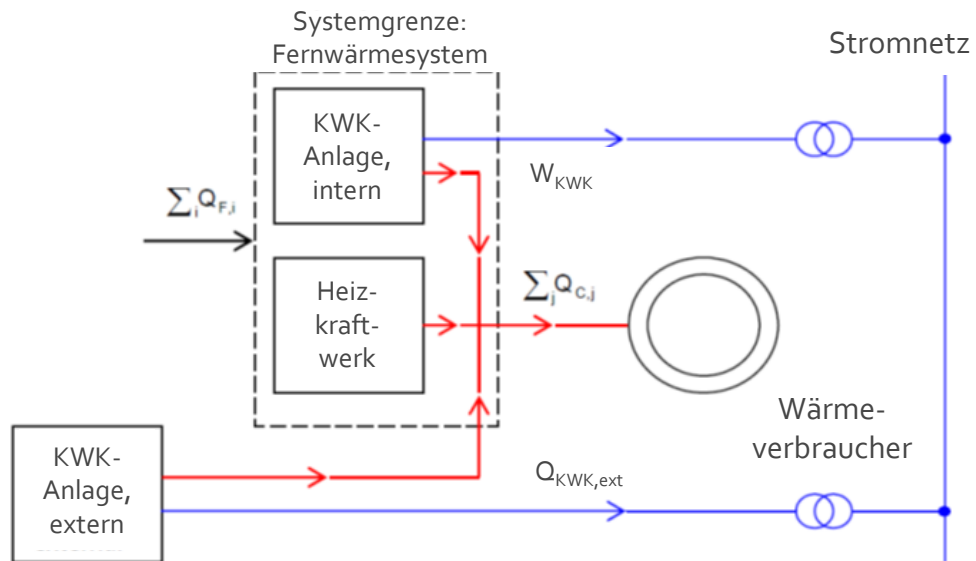


Abb.: 4: Schema eines Fernwärmenetzes. Quelle: A. Wallisch, [1]

- $Q_{F,i}$  – Brennstoff (Endenergie) –eingabe in die Heizkraftwerke und KWK-Anlagen innerhalb des vorgesehenen Systems und des vorgesehenen Zeitraums (üblicherweise 1 Jahr) – gemessen zum Zeitpunkt der Lieferung;
- $W_{CHP*1}$  – Stromerzeugung der KWK-Anlagen des untersuchten Systems;
- $Q_{C,j}$  – Wärmeenergieverbrauch gemessen auf der Primärseite der Übergabestation des Kunden innerhalb des untersuchten Zeitraums (üblicherweise 1 Jahr);
- $Q_{CHP,ext}$  – Wärmelieferung zum untersuchten System aus externen KWK-Anlagen
- $f_{P,F,i}$  – Primärenergie-/Ressourcenfaktor des Brennstoffes (Endenergieeingabe);
- $f_{P,elt}$  – Primärenergie-/Ressourcenfaktor des Stroms.

$$f_{P,DH} = \frac{\sum_i Q_{F,i} \cdot f_{P,F,i} - W_{CHP} \cdot f_{P,elt}}{\sum_j Q_{C,j}}$$

DH\*1 > district heating > Fernwärme (FW)  
 chp\*2 > Kraft-Wärme-Kopplung (KWK)

# THG-Emissionen von Fernwärmesystemen

$$K_{dh} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_{F(i)} * K_{F,tot(i)} - \sum_{i=1}^n \frac{W_{chp(i)} * K_{F,chp(i)}}{\eta_{el,(i)}}}{\sum_{j=1}^n Q_{C(j)}}$$

- $K_{dh*1}$  – CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor der zum Gebäude gelieferten Wärme in kgCO<sub>2</sub>-Äqu. /MWh,
- $Q_{F(i)}$  – Nettoenergiegehalt des zum Endverbrauchenden gelieferten Treibstoffes 'i', wo er in Wärme umgewandelt wird [MWh] (Nutzung eines (unteren) Heizwertes),
- $K_{F,tot(i)}$  – Emissionsfaktor des Brennstoffes 'i' in kg CO<sub>2</sub>-Äqu. /MWh<sub>Brennstoffi</sub>
- $W_{chp*2(i)}$  – produzierter Nettostrom KWK-Anlage aus Brennstoff 'i' (produzierter Strom abzgl. benötigtem Hilfsstrom),
- $K_{F, chp(i)}$  – Gesamt-Treibhausgasemissionsfaktor für den in der KWK-Anlage produzierten Strom in kg CO<sub>2</sub>-äqu. /MWh,
- $\eta_{el,(i)}$  – Standard-Kondensationsvermögen bezogen auf den elektrischen Wirkungsgrad eines konventionellen Wärmekraftwerk, auf 40% eingestellt,
- $Q_{C(j)}$  – zum Gebäude gelieferte Wärme 'j' an der Übergabestation

# Zuweisung der THG-Emissionen zu erzeugtem Strom und erzeugter Wärme in KWK-Anlagen



LowTEMP2.0

- Die **Zuweisung von THG-Emissionen** aus KWK-Anlage ist insbesondere bei einer Trennung des Verbrauchs von Wärme und Strom sowie bei einem Vergleich mit anderen Möglichkeiten der Wärmeversorgung notwendig.
- Bei zeitgleicher Erzeugung von Wärme und Strom in einer **KWK-Anlage** ist die **genaue Zuweisung** der Primärenergie, der Emissionen bzw. der Betriebskosten zu den Energieoutputs **schwierig bzw. strittig**.



Abb.: 5. 50 kW KWK-Anlage; Quelle: A.Cenian, IMP PAN



# Methoden zur Zuweisung von THG-Emissionen

Die folgenden in der EU am weitesten verbreiteten Methoden wurden im Rahmen des LowTEMP-Projektes untersucht :

- Energiemethode,
- Alternative Erzeugungsmethode,
- Gutschriftenmethode,
- Exergiemethode,
- 200%-Methode,
- Pas 2050-Methode,
- Dresden-Methode.

## Weitere Methoden:

- Arbeitsmethode
- Finnische Methode
- Zuweisung aller Emissionen zum Strom
- Zuweisung aller Emissionen zur Wärme
- 50/50-Aufteilung der Emissionen zwischen Strom und Wärme
- Primärenergiegehalt von Wärme und Strom.

# Die Energiemethode

**Energiemethode** – Zurechnung des Brennstoffes oder der THG-Emissionen je nach Energiegehalt des produzierten Produktes: erzeugte Wärme bzw. erzeugter Strom

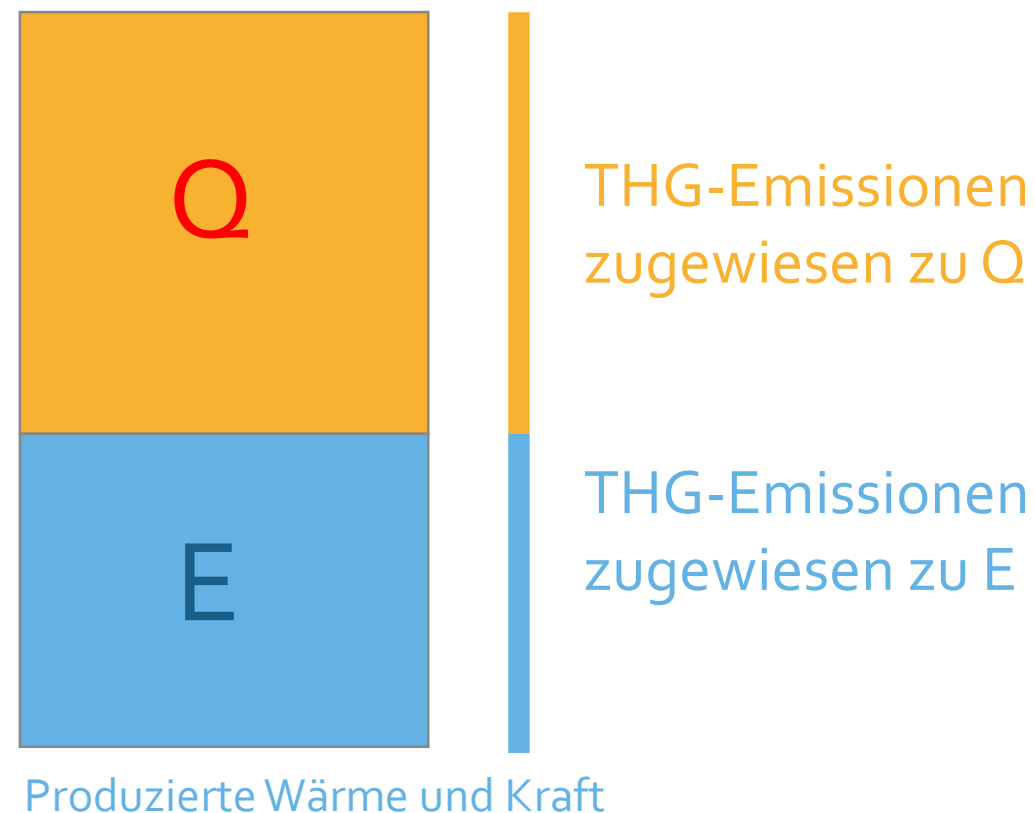
Vorteil: sehr einfache und transparente Methode

Nachteil: keine Unterscheidung hinsichtlich des Energiegehaltes der erzeugten Produkte Wärme und Strom

Strom hat eine höhere energetische Qualität (z.B. kann Strom leichter zu Wärme umgewandelt werden als andersherum).

**Der THG Zuweisungsfaktor in der Wärmeproduktion berechnet sich wie folgt:**

$$f_Q = Q / (Q + A)$$



Q > Wärme

A > Strom, Kraft

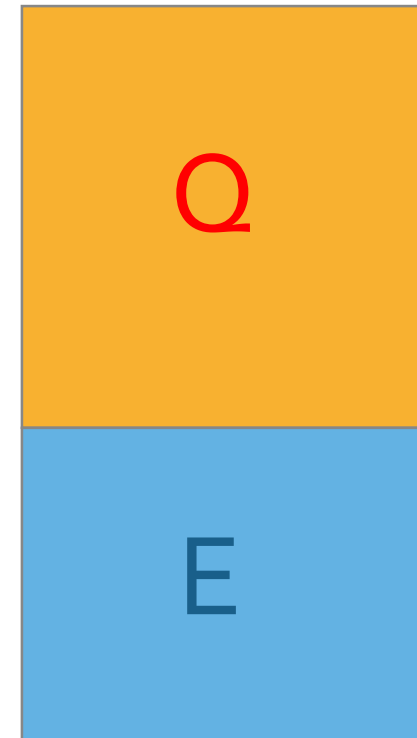
# Die Alternative Erzeugungsmethode

Die **Alternative Erzeugungsmethode**, auch bekannt als Effizienzmethode oder Benefit-Sharing-Method wurde von der finnischen Fernwärmevereinigung entwickelt.

Die Methode weist die THG-Emissionen und den Brennstoffverbrauch der Wärme- und Stromerzeugung proportional zum Brennstoffverbrauch beim Betrieb von Anlagen die nur Strom oder nur Wärme produzieren zu.

Die alternative Erzeugung in Anlagen, die nur Strom oder nur Wärme produzieren weisen unterschiedliche Wirkungsgrade auf  $\eta_{Wärme}$  und  $\eta_{elek}$ .

$$f_Q = (Q/\eta_{alt\_Wärme}) / (Q/\eta_{alt\_Wärme} + E/\eta_{alt\_elek})$$



Produzierte Wärme und Kraft

THG-Emissionen  
zugewiesen zu Q

$$f_Q = (Q/\eta_{alt\_Wärme}) / (Q/\eta_{alt\_Wärme} + E/\eta_{alt\_elek})$$

THG-Emissionen  
zugewiesen zu E

$$f_E = 1 - f_Q$$

$\eta_{Wärme}$  > Wirkungsgrad Wärmeerzeugung

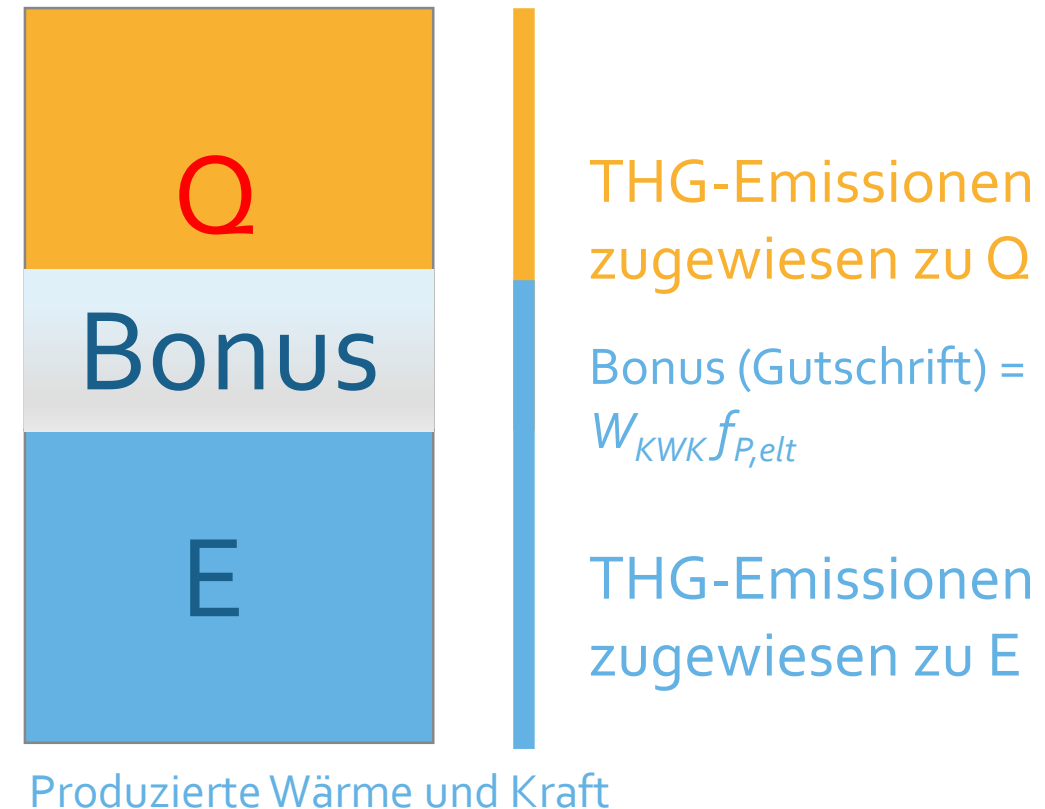
$\eta_{elek}$  > Wirkungsgrad Stromerzeugung

# Die Gutschriften-Methode

Die **Gutschriften-Methode** wird häufig zur Zuweisung von THG-Emissionen zur Wärme- und Stromerzeugung in der EU verwendet.

„Bei den Gutschriftenmethoden geht man davon aus, dass zuerst einem der Produkte als „Hauptprodukt“ alle Umweltlasten zugerechnet wird und das gekoppelt erzeugte Produkt die gleiche Erzeugungsmenge in eine bestehenden oder alternativ zu bauenden Anlage ersetzt. Die dabei vermiedenen Emissionen durch „Nichterzeugung“ werden von den Gesamtemissionen des HKW abgezogen und die verbleibende Emissionsmenge wird dem Hauptprodukt zugeordnet.“

$$f_Q = (E_{P,in} - W_{CHP} f_{P,elt}) / (Q_{del} + E_{del})$$



# Die Exergiemethode

**Die Exergiemethode** (physikalisch korrekte Methode) – Brennstoffverbrauch bzw. THG-Emissionen werden der produzierten Wärme bzw. dem produzierten Strom je nach Exergiegehalt des erzeugten Produktes zugewiesen.

Der Exergiegehalt eines Produktes beschreibt die maximale Arbeit, die das Produkt verrichten kann. Das Verhältnis zwischen dem Energie- und dem Exergiegehalt wird als Qualitätsfaktor bezeichnet.

Aus einer thermodynamischen Perspektive wird der bei der KWK erzeugte Strom mit einem Exergiefaktor von 1 eingestuft, sodass die Exergie von Strom durch  $Ex_E = E$  definiert wird. Das heißt, dass 100% des Stroms in andere Energieformen umgewandelt werden kann. Wärme kann nur teilweise in andere Energieformen umgewandelt werden, sodass die Exergie von Wärme wie folgt berechnet wird:

$$Ex_Q = (1 - T_0/T) Q$$

wobei  $T_0$  die durchschnittliche Raumtemperatur während der Heizphase und  $T$  den thermodynamischen Mittelwert der Temperatur beschreibt:  $T = (T_s - T_r) / \ln(T_s/T_r)$

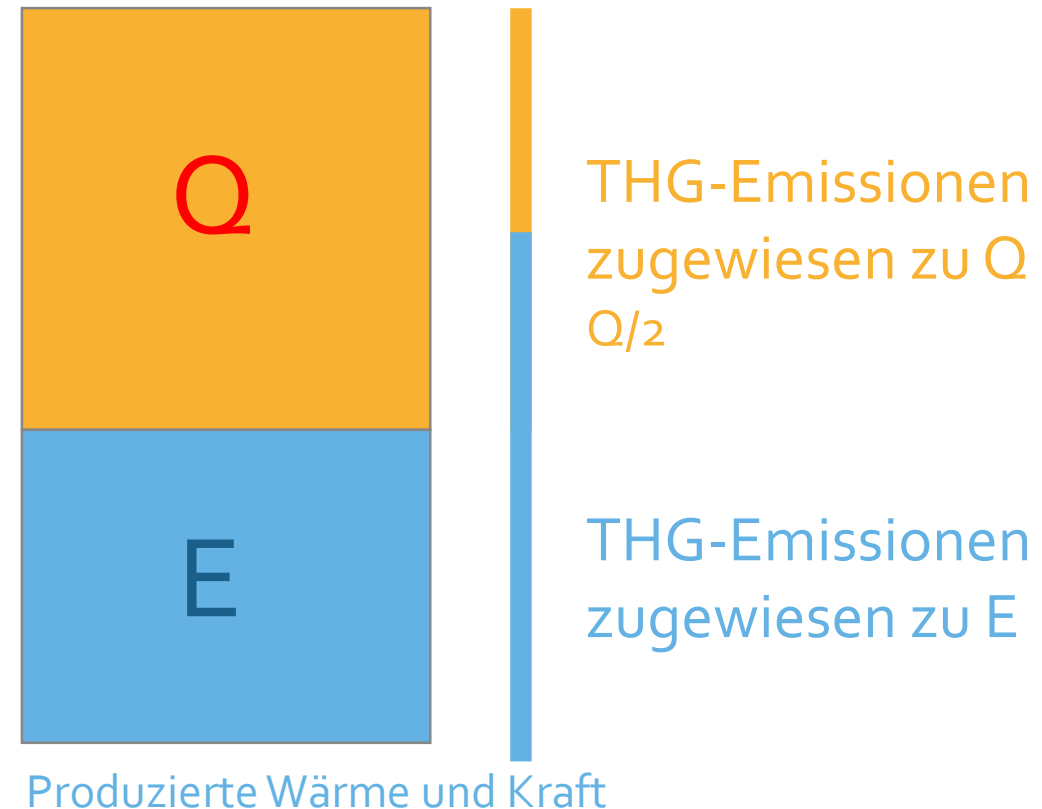
$$f_Q = Ex_Q / (Ex_Q + Ex_E)$$

## Die 200%-Methode

Die **200%-Methode** basiert auf der Annahme, dass die Effizienz bei der Wärmeproduktion bei 200% liegt. Demnach werden für die Produktion einer Einheit Wärme 0,5 Einheiten Brennstoff benötigt. Die andere halbe Einheit Brennstoff wird vom Turbinenkondensator zurückgewonnen. Die Hälfte der bei der Wärmeproduktion anfallenden Emissionen können also auf die Stromgewinnung bezogen werden.

Diese von der dänischen Energieagentur entwickelte Methode kann genutzt werden, um die Brennstoffkosten der KWK der Wärmeproduktion in den Energie- und Emissionsstatistiken zuzuordnen.

$$f_Q = Q / 2 \text{ Brennstoff}_{in}$$



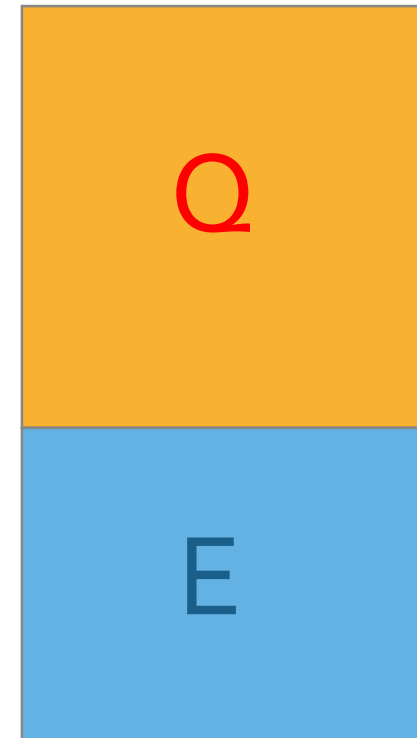
# PAS 2050-Methode

Die **PAS 2050-Methode** ist der britische Standard für die Berechnung von Treibhausgasemissionen für die Produktion von Gütern oder Dienstleistungen.

Die Emissionen werden hierbei vom KWK-System auf die produzierte Wärme und Strom übertragen, wobei ein spezieller Intensitätskoeffizient „n“ verwendet wird. N beschreibt die bei der Brennstoffverbrennung anfallenden Emissionen.

$$f_Q = Q / (Q + n E)$$

Die Zuweisung der Emissionen zu Wärme und Strom beruht auf dem prozessspezifischen Verhältnis von Wärme und Strom im jeweiligen KWK-System. Der Koeffizient  $n$  von kesselbasierten KWK-Systemen (Kohle, Holz, festen Brennstoffe) liegt bei 2,5, bei turbinengetriebenen KWK-Systemen (Erdgas, Deponiegas) gilt  $n = 2,0$ .



Produzierte Wärme und Kraft

THG-Emissionen  
zugewiesen zu Q  
 $f_Q = Q / (Q + n E)$

THG-Emissionen  
zugewiesen zu E  
 $f_E = 1 - f_Q$

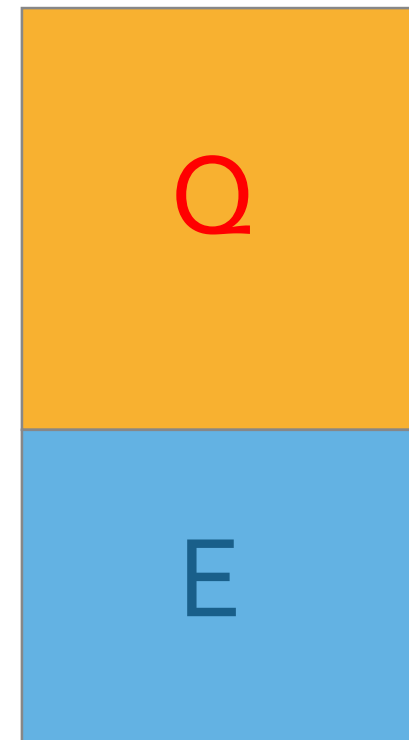
# Die Dresden-Methode

Die **Dresdener-Methode** basiert auf dem Exergie-Verhältnis. In Kraftwerken ist die gesamte Primärenergie auf die Stromproduktion bezogen. Gleichzeitig wird in KWK-Kraftwerken ein Teil der Primärenergie für die Erzeugung von Wärme genutzt. Die Dresdener-Methode beschreibt, wie der durch die Entnahme von Wärme (Kondensation von Wasserdampf) im KWK-Kraftwerk verursachte Stromverlust bewertet wird. Es gilt:

$$\Delta E = Q \eta_c \nu_p$$

wobei  $\eta_c$  den Carnot-Wirkungsgrad und  $\nu_p$  den Grad der Prozessqualität beschreibt.

$$f_Q = \Delta E / E$$



Produzierte Wärme und Kraft

THG-Emissionen  
zugewiesen zu Q

$$f_Q = \Delta E / E$$

THG-Emissionen  
zugewiesen zu E

$$f_E = 1 - f_Q$$

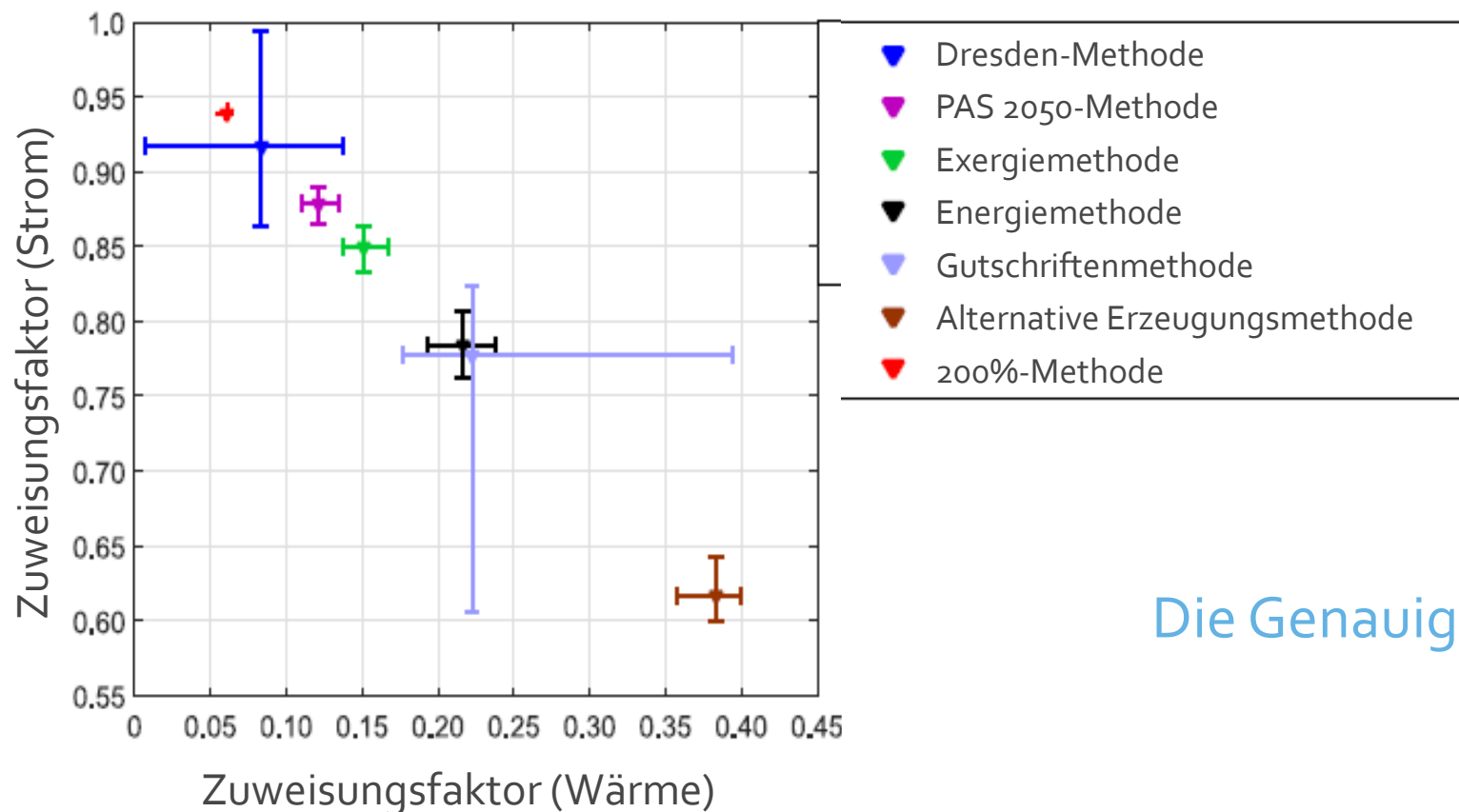
# THG-Zuweisungsfaktoren für die Wärmeproduktion

Zuweisungsfaktor für KWK-Systeme mit einer jährlichen Heizlast von 27 GWh und einem maximalen Wärmebedarf von 14 MW.

Methode	Zuweisungsfaktor der Wärmeproduktion, $f_Q$	Beispielhafter $f_Q$ -Wert
Energiemethode	$Q / (Q + E)$	0,2162
Alternative Erzeugungsmethode	$(Q/\eta_{\text{alt\_heat}}) / (Q/\eta_{\text{alt\_heat}} + E/\eta_{\text{alt\_elec}})$	0,3830
Bonusstrommethode	$(E_{P,in} - W_{CHP} f_{P,elt}) / (Q_{del} + E_{del})$	0,2226
Exergiemethode	$EX_Q / (EX_Q + EX_E)$	0,1507
200%-Methode	$Q / 2 Fuel_{in}$	0,0608
PAS 2050-Methode	$Q / (Q + n E)$	0,1212
Dresden-Methode	$\Delta E / E$	0,0834

Abb. 6: Zuweisungsfaktor für KWK-Systeme, Quelle: Tereshchenko [2], 2015

# Genauigkeit der THG-Zuweisungsmethoden



Die Genauigkeit hängt vom System ab.

Abb. 7: Genauigkeit der CO<sub>2</sub>-Zuweisungsmethoden, Quelle: Tereshchenko [2], 2015



# NT FW Projektbewertung der THG-Zuweisungsmethoden

- Die LowTEMP-Projektbeteiligten haben die **Zuweisungsmethoden** mittels einer Multi-Kriterien-Analyse (MKA) untersucht und hierbei neun Kriterien in vier Gruppen bewertet:
- Popularität (**Einfachheit der Methode, Anwendungsbereich, und Akzeptanz und Bewährtheit der Methode**), thermodynamische Aspekte (**für die Zuweisung von CO<sub>2</sub>-Emissionen geeignet, thermodynamische Plausibilität, Einbezug der KWK-Effizienz, Exergie**), Verfügbarkeit von Daten und Genauigkeit.
- Die Kriterien und Methoden wurden von 7 Projektbeteiligten des BSR LowTEMP Projektes bewertet: AGFW, ZEBAU, BTU, RTU, IMP PAN, Thermopolis, und HEM aus 5 Ländern des Ostseeraumes (Deutschland, Finnland, Lettland, Polen und Schweden).

## Kriterien der Analyse:

- **Einfachheit der Methode**
- **Anwendungsbereich**
- **Akzeptanz und Bewährtheit**
- **Für die Zuweisung von THG-Emissionen geeignet**
- **thermodynamische Plausibilität**
- **Einbezug der KWK-Effizienz**
- **Exergie**
- **Verfügbarkeit von Daten**
- **Genauigkeit**

# NT FW Projektbewertung der THG-Zuweisungsmethoden

Tabelle 4.1.: Von den Projektpartnern vorgeschlagene Gewichtung und deren Zusammenrechnung (arithm. Mittel)

LowTEMP Partner	Einfachheit der Methode	Anwendungsbereich	Akzeptanz und Bewährtheit	Zur Zuweisung von CO <sub>2</sub> -Emissionen geeignet	Thermodynamische Plausibilität	Einbezug der KWK-Effizienz	Exergie	Zugang zu Daten	Genauigkeit
AGFW	1	5	2	5	5	5	4	2	4
ZEBAU	1	5	2	5	5	5	3	2	3
BTU	2	3	3	4	5	4	4	3	4
RTU	3	3	3	3	3	3	3	3	3
IMP PAN	3	3	4	3	5	3	4	4	3
Thermopolis	4	4	4	4	3	2	1	4	4
HEM	5	4	3	5	3	3	2	5	4
Durchschnitt	2.714	3.857	3.000	4.143	4.143	3.571	3.000	3.286	3.571

Quelle: Eigene Berechnungen basierend auf einer Multikriterienanalyse

# NT FW Projektbewertung der THG-Zuweisungsmethoden

Tabelle 4.2: Punktestand nach der Multikriterienanalyse

Methode	AGFW	ZEBAU	BTU	RTU	IMP PAN	Thermopolis	HEM	SUM	Rang	Varianz
Energiemethode	52.000	52.000	49.857	52.286	53.143	<b>59.143</b>	53.143	<b>371.57</b>	<b>5</b>	<b>5.0%</b>
Alternative Erzeugungsmethode	43.286	53.286	46.429	52.714	45.857	36.429	40.571	<b>318.57</b>	<b>7</b>	<b>12.5%</b>
Bonusstrommethode	48.286	48.286	41.286	52.143	<b>55.429</b>	44.571	39.857	<b>329.86</b>	<b>6</b>	<b>11.1%</b>
<b>Exergiemethode</b>	<b>71.000</b>	<b>71.000</b>	<b>70.714</b>	<b>60.714</b>	<b>60.571</b>	<b>59.429</b>	<b>57.000</b>	<b>450.43</b>	<b>1</b>	<b>9.0%</b>
<b>200%-Methode</b>	<b>60.286</b>	56.857	<b>59.143</b>	56.143	53.143	44.571	<b>66.000</b>	<b>396.14</b>	<b>3</b>	<b>10.9%</b>
<b>PAS 2050-Methode</b>	57.571	<b>57.000</b>	<b>59.429</b>	<b>63.857</b>	<b>57.286</b>	44.571	<b>58.571</b>	<b>398.29</b>	<b>2</b>	<b>9.6%</b>
<b>Dresden-Methode</b>	<b>63.857</b>	<b>63.857</b>	45.714	<b>60.143</b>	46.286	44.571	50.429	<b>374.86</b>	<b>4</b>	<b>15.1%</b>
	<b>15.5%</b>	<b>12.4%</b>	<b>17.9%</b>	<b>7.7%</b>	<b>9.5%</b>	<b>16.5%</b>	<b>16.9%</b>			

Quelle: Eigene Berechnungen basierend auf einer Multikriterienanalyse



## LowTEMP-Empfehlungen

Mit einem Punktestand von mehr als 450 Punkten wurde unter den berücksichtigten Methoden die **Exergiemethode (Carnotmethode)** von den Projektbeteiligten als die beste verfügbare Methode betrachtet. Zwei weitere Methoden (**PAS 2050** und **200%**) können als mögliche Alternativen angesehen werden – sie erreichten mit rund 400 Punkten einen ähnlichen Punktestand.

Die angemessenste Methode – **die Exergiemethode** – beinhaltet tiefergehend die Energiequalität und zeigt ein physikalisches Höchstmaß für die Zuweisung von THG zu Wärme als ein Nebenprodukt. Die **Dresden-Methode** ist eine Variation der Exergiemethode, benötigt jedoch mehr Daten und umfangreichere Berechnungen.

Die **Alternative Erzeugungsmethode** und **Gutschriften-Methode** wurden im Rahmen der Projektpartnerschaft als die am wenigsten geeigneten Methoden erachtet.



# Quellennachweis

- [0] die energiezentrale - Ingenieurbüro für Blockheizkraftwerke, online: <http://www.die-energiezentrale.com/images/KWK-Schema.jpg> [Zugriff am 06.09.2015]
- [1] Wallisch, A.; van Stralen, C.; Hellmers, C.; Piel, E.; Ernst, H.; Spadoni, L.; Blechingberg, M.; Wirgentius, N., ECOHEATCOOL, Work package 3, Guidelines for assessing, the efficiency of district heating and district cooling systems, 2006 <https://www.osti.gov/etdeweb/biblio/20758197> [zuletzt geprüft 01.09.2021]
- [2] Tereshenko T, Nord N, Uncertainty of the allocation factors of heat and electricity production of combined cycle power plant, Applied Thermal Engineering 2015; 76:410-422. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2014.11.019>. [zuletzt geprüft 01.09.2021]
- [3] IPCC, Climate Change 2007: Synthesis Report, Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge. (2007). See also [https://www.leg.mn.gov/docs/2015/other/150681/PFEISref\\_2/Solomon%20et%20al.%202007.pdf](https://www.leg.mn.gov/docs/2015/other/150681/PFEISref_2/Solomon%20et%20al.%202007.pdf). [zuletzt geprüft 01.09.2021]
- [4] EPA, Greenhouse Gas Emissions, <https://www.epa.gov/ghgemissions/>. [zuletzt geprüft 01.09.2021]
- [5] WRI/WBCSD, Allocation of GHG Emissions from a Combined Heat and Power (CHP) Plant Guide to calculation worksheets (September 2006) v1.0 A WRI/WBCSD GHG Protocol Initiative calculation tool; [https://indiaghgp.org/sites/default/files/CHP\\_guidance\\_v1.0\\_4.pdf](https://indiaghgp.org/sites/default/files/CHP_guidance_v1.0_4.pdf). [zuletzt geprüft 01.09.2021]
- [6] Harmelink M, Bosselaar L, Assessment of CO<sub>2</sub> emissions of electricity and heat used at industrial plants, ECEEE, Industrial Summer Study, June 4, 2014 [https://www.eceee.org/library/conference\\_proceedings/eceee\\_Industrial\\_Summer\\_Study/2014/3-matching-policies-and-drivers-policies-and-directives-to-drive-industrial-efficiency/assessment-of-co2-emissions-of-electricity-and-heat-used-at-industrial-plants/\\_\\_\\_indiaghgp.org/sites/default/files/CHP\\_guidance\\_v1.0\\_4.pdf](https://www.eceee.org/library/conference_proceedings/eceee_Industrial_Summer_Study/2014/3-matching-policies-and-drivers-policies-and-directives-to-drive-industrial-efficiency/assessment-of-co2-emissions-of-electricity-and-heat-used-at-industrial-plants/___indiaghgp.org/sites/default/files/CHP_guidance_v1.0_4.pdf). [zuletzt geprüft 01.09.2021]
- [7] Olsson L, Wetterlund E, Söderström M, Assessing the climate impact of district heating systems with combined heat and power production and industrial excess heat; Resources, Conservation and Recycling, 2015; 86:31-39. DOI:[10.1016/j.resconrec.2015.01.006](https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2015.01.006)



LowTEMP2.0

# Quellennachweis

- [8] Esser A, Sensfuss F, Evaluation of primary energy factor calculation options for electricity, Final Report, Multiple Framework Service Contract ENER/C3/2013-484. [https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/final\\_report\\_pef\\_eed.pdf](https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/final_report_pef_eed.pdf) . [zuletzt geprüft 01.09.2021]
- [9] Rosen MA, Allocating carbon dioxide emissions from cogeneration systems: descriptions of selected output-based methods, Journal of Cleaner Production 2008; 16:171-177. DOI : [10.1016/j.jclepro.2006.08.025](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2006.08.025)
- [10] Dittmann A, Sander T, Robbi S, Allocation of CO<sub>2</sub>-Emissions to Power and Heat from CHP-Plants, Technische Universität Dresden, Dresden. [https://tu-dresden.de/ing/maschinenwesen/iet/gewv/ressourcen/dateien/veroefftlg/alloc\\_co2?lang=en](https://tu-dresden.de/ing/maschinenwesen/iet/gewv/ressourcen/dateien/veroefftlg/alloc_co2?lang=en) . [zuletzt geprüft 01.09.2021]



LowTEMP2.0

# Kontakt

## IMP PAN

**Prof. Adam Cenian**  
**Jarosław Losiński**

14 Fiszera St  
80-231 Gdańsk  
Polen

E-mail: [cenian@imp.gda.pl](mailto:cenian@imp.gda.pl)  
Tel: +48 58 5225 276  
[www.imp.gda.pl](http://www.imp.gda.pl)

## Übersetzung und Anpassung: Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg

**Prof. Dr.-Ing. Matthias Koziol**  
**Cornelia Siebke**  
**Paul Lambrecht**

Konrad-Wachsmann-Alee 4  
03046 Cottbus  
Deutschland

E-Mail: [siebke@b-tu.de](mailto:siebke@b-tu.de)  
Telefon: +49 355 69 27 37  
[www.stadttechnik.de](http://www.stadttechnik.de)  
[www.lowtemp.eu](http://www.lowtemp.eu)