

Climate Change

Climate
Change

8
08

ISSN
1862-4359

Bestimmung spezifischer Treibhausgas- Emissionsfaktoren für Fernwärme



Umwelt
Bundes
Amt 
Für Mensch und Umwelt

UMWELTFORSCHUNGSPLAN DES
BUNDESMINISTERIUMS FÜR UMWELT,
NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT

Forschungsbericht 360 16 008
UBA-FB 001145



Bestimmung spezifischer Treibhausgas-Emissions- faktoren für Fernwärme

von

Uwe R. Fritsche
Lothar Rausch

Bereich Energie & Klimaschutz
Öko-Institut, Büro Darmstadt

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Diese Publikation ist ausschließlich als Download unter
<http://www.umweltbundesamt.de>
verfügbar.

Die in der Studie geäußerten Ansichten
und Meinungen müssen nicht mit denen des
Herausgebers übereinstimmen.

Herausgeber: Umweltbundesamt
Postfach 14 06
06813 Dessau-Roßlau
Tel.: 0340/2103-0
Telefax: 0340/2103 2285
Internet: <http://www.umweltbundesamt.de>

Redaktion: Fachgebiet I 2.5
Reinhard Böhnke
Kathrin Werner

Dessau-Roßlau, Mai 2008

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	ii
Tabellenverzeichnis	ii
Zusammenfassung	iv
Executive Summary	viii
1 Einleitung und Überblick	1
2 Methodik der Energie- und THG-Bilanzierung für Fernwärme	2
2.1 Energiebilanzdaten für Fernwärme und Strom	2
2.2 Direkte THG-Emissionen für Fernwärme und Strom	3
2.3 THG-Daten für Vorketten von Energieträgern	4
3 Allokationsfragen für KWK-Wärme und KWK-Strom	5
3.1 Systemerweiterung bzw. Gutschriftenmethode	7
3.2 Allokationsmethoden	8
3.3 Allokation über THG-Verhältnisse	9
4 Daten zur Fernwärmebereitstellung in den Jahren 2000 und 2005	10
4.1 Daten zu Energieeinsatz und Fernwärmebereitstellung	10
4.2 Daten zu THG-Emissionsfaktoren der Fernwärme	11
5 THG-Emissionsfaktoren für Fernwärme, KWK-Wärme und KWK-Strom in den Jahren 2000 und 2005	11
5.1 Direkte THG-Emissionsfaktoren für Fernwärme in 2000 und 2005	11
5.2 Gesamte THG-Emissionsfaktoren für Fernwärme in 2000 und 2005	13
5.3 Gesamte THG-Emissionsfaktoren für Fernwärme von 2000 bis 2005	14
5.4 THG-Emissionen der KWK-Strombereitstellung	15
5.5 Gesamte THG-Emissionsfaktoren für KWK-Strom von 2000 bis 2005	15
5.6 Variation der Referenzsysteme für die Allokation	16
5.7 Vergleich der Allokationsmethodiken mit der Gutschriften-Methode für Fernwärme und KWK-Wärme in den Jahren 2000 und 2005	19
6 THG-Emissionsfaktoren für einzelne KWK-Systeme	20
7 Schlussfolgerungen	24
Literatur	25
Abkürzungsverzeichnis	27

Abbildungsverzeichnis

Bild 1	Effekte verschiedener Allokationsmethoden auf die CO ₂ -Emissionen von KWK-Strom bzw. KWK-Wärme	6
Bild 2	Effekte der Allokationsmethoden „eta“ und „THG“ sowie der Wahl verschiedener Referenzsysteme auf die THG-Emissionen von KWK-Wärme und KWK- Strom	18
Bild 3	THG-Emissionen von KWK-Wärme und KWK- Strom für ausgewählte KWK-Anlagen nach den beiden Allokationsmethoden im Jahr 2005.....	23

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Direkte THG-Emissionsfaktoren für den Brennstoffeinsatz in Heizwerken im Jahr 2005.....	3
Tabelle 2	Direkte THG-Emissionsfaktoren für den Brennstoffeinsatz in Heizkraftwerken im Jahr 2005.....	4
Tabelle 3	THG-Emissionsfaktoren für die Bereitstellung von Brennstoffen frei Umwandlungsanlage im Jahr 2005	5
Tabelle 4	Kenndaten des Heizkraftwerks für den Methodenvergleich.....	6
Tabelle 5	Brennstoffeinsatz für Fernwärme im Jahr 2000.....	10
Tabelle 6	Brennstoffeinsatz für Fernwärme im Jahr 2005.....	10
Tabelle 7	Direkte THG-Emissionsfaktoren für Heizwerke in 2000 und 2005.....	11
Tabelle 8	Brennstoffdifferenzierte direkte und gesamte THG-Emissionsfaktoren für Heizwerke im Jahr 2000	12
Tabelle 9	Brennstoffdifferenzierte direkte und gesamte THG-Emissionsfaktoren für Heizwerke im Jahr 2005	12
Tabelle 10	Direkte THG-Emissionsfaktoren für KWK-Wärme in 2000 und 2005.....	13
Tabelle 11	THG-Emissionsfaktoren für Fernwärme im Jahr 2000	13
Tabelle 12	THG-Emissionsfaktoren für Fernwärme im Jahr 2005	14
Tabelle 13	THG-Emissionsfaktoren für Fernwärme von 2000 bis 2005	14
Tabelle 14	THG-Emissionsfaktoren für KWK-Strom in 2000 und 2005	15
Tabelle 15	THG-Emissionsfaktoren für KWK-Strom von 2000 bis 2005.....	15

Tabelle 16	THG-Emissionsfaktoren für KWK-Wärme im Jahr 2005 bei Variation von Allokationsmethode und Referenzsystem-Kombination.....	16
Tabelle 17	THG-Emissionsfaktoren für KWK-Strom im Jahr 2005 bei Variation von Allokationsmethode und Referenzsystem-Kombination.....	17
Tabelle 18	Gesamte THG-Emissionsfaktoren für KWK-Wärme nach der Gutschriften- sowie den Allokations-Methoden in 2000 und 2005.....	19
Tabelle 19	Differenzierte THG-Emissionsfaktoren für KWK-Wärme aus verschiedenen Anlagen im Jahr 2005.....	20
Tabelle 20	Differenzierte THG-Emissionsfaktoren für KWK-Strom aus verschiedenen Anlagen im Jahr 2005.....	21
Tabelle 21	THG-Emissionsfaktoren für KWK-Strom aus verschiedenen Anlagen im Jahr 2005.....	22
Tabelle 22	Relative THG-Einsparung durch KWK-Wärme und KWK-Strom aus verschiedenen Anlagen im Jahr 2005.....	22

Zusammenfassung

Die vorliegende Studie untersucht die Frage, mit welchen spezifischen Emissionen an Treibhausgasen (THG) die Bereitstellung von Fernwärme in Deutschland in den Jahren 2000 bis 2005 verbunden war.

Ziel ist es, methodisch konsistente und datenseitig fortschreibbare Emissionsfaktoren für Fernwärme zu bestimmen, die insbesondere der Problematik der gemeinsamen Erzeugung von Strom und Wärme in Anlagen mit Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) gerecht werden.

Dazu analysiert diese Studie die Datengrundlagen und Mengengerüste für den Energieeinsatz bei der Bereitstellung von Fernwärme in Deutschland in den Jahren 2000 und 2005 sowie die zugehörigen brennstoffbezogenen Emissionsfaktoren für THG in den Bezugsjahren.

Dabei wird zwischen der Bereitstellung von Fernwärme aus reinen Heizwerken (HW) und Heizkraftwerken (HKW) unterschieden, die jeweiligen Brennstoffeinsätze in ihren Mixen betrachtet und bei den HKW weiter zwischen unterschiedlichen Technologien (Dampfturbinen –DT; Gasturbinen – GT; Gas- und Dampfturbinen – GuD; Gasmotoren - BHKW) differenziert.

Darüber hinaus werden auch mehrere KWK-Systeme für Biomasse analysiert.

Bei den Emissionsfaktoren für THG wird einerseits CO₂ betrachtet, andererseits werden auch weitere THG (CH₄ und N₂O) berücksichtigt und daraus CO₂-Äquivalente berechnet. Weiterhin wird unterschieden zwischen

- den **direkten** THG-Emissionen allein durch die Verbrennung der Energieträger aus den Anlagen, die Fernwärme bereitstellen und
- den **gesamten** THG-Emissionen der Fernwärme.

Bei den Gesamtemissionen werden über die direkten Emissionen der Anlagen hinaus auch die Emissionen aus Hilfsenergien, den vorgelagerten Bereitstellungsketten für die eingesetzten Brennstoffe (inkl. Transporte) und der Herstellung der Anlagen (Materialeinsatz) einbezogen. Sie berücksichtigen damit die **gesamten Lebenswege**¹.

Diese Studie stellt weiterhin kurz die Methodik zur Anrechnung der THG-Emissionen für KWK-Systeme vor und diskutiert deren Ergebniswirksamkeit (Systemerweiterung bzw. Gutschriften gegenüber verschiedenen Allokationsmethoden).

Als konsistente Methodik zur Anrechnung der THG-Emissionen bei KWK-Systemen wird der sog. „Wirkungsgrad-Ansatz“ (eta) identifiziert, der sich aus der EU-KWK-Richtlinie ableitet.

¹ Zur Vereinfachung wurde dabei die Entsorgung von Reststoffen (Asche, Abwasser usw.) hier nicht mit einbezogen, die THG-Emissionen aus diesen Teilen der Lebenswege sind jedoch sehr gering.

Die Ergebnisse zur Bilanzierung der THG-Emissionen der **Fernwärme** im Jahr 2005 in Deutschland für die Methode „eta“ zeigt die folgende Tabelle.

in g/kWh _{output}	Emissionsfaktoren für Fernwärme, in g/kWh _{th}			
	nur direkt aus Anlagen		gesamt inkl. Vorketten	
	CO ₂	CO ₂ -Äquiv.	CO ₂	CO ₂ -Äquiv.
Heizwerke	265,6	267,4	286,8	302,4
Heizkraftwerke - eta	175,5	178,3	188,3	201,2
mix HW/HKW - eta	186,8	189,5	200,7	214,0
Verluste Netz	14%	14%	14%	14%
Fernwärme gesamt - eta	213,0	216,1	228,8	243,9
Fernwärme HW	302,8	304,9	326,9	344,7
Fernwärme HKW - eta	200,1	203,3	214,6	229,4

Parallel zur Fernwärmebereitstellung bestimmt die „eta“-Allokationsmethode auch die THG-Bilanz für die **KWK-Stromerzeugung** (siehe folgende Tabelle).

	Emissionsfaktoren für KWK-Strom, in g/kWh _{el}			
	nur direkt aus Anlagen		gesamt (inkl. Vorketten)	
	CO ₂	CO ₂ -Äq.	CO ₂	CO ₂ -Äq.
Methode "eta"	377,2	383,3	404,7	432,5
Einsparung KWK vs. REF	35%	35%	35%	33%

Stromseitig führt die Kraft-Wärme-Kopplung somit zu höheren Einsparungen, was durch die Allokation zugunsten des „höherwertigen“ Produkts begründet ist.

Da sowohl die THG-Emissionen der KWK-Wärme wie auch die von KWK-Strom bei der Allokation vom gewählten Referenz-System (Kombination getrennte Strom- und Wärmeerzeugung) abhängen, wurde eine Variation dieser Annahme durchgeführt.

Das Ergebnis der Analyse zeigt, dass sowohl KWK-Wärme wie auch KWK-Strom bei fast allen Annahmen zum Referenz-System **deutlich geringere** THG-Emissionen aufweisen als das jeweilige Referenz-System.

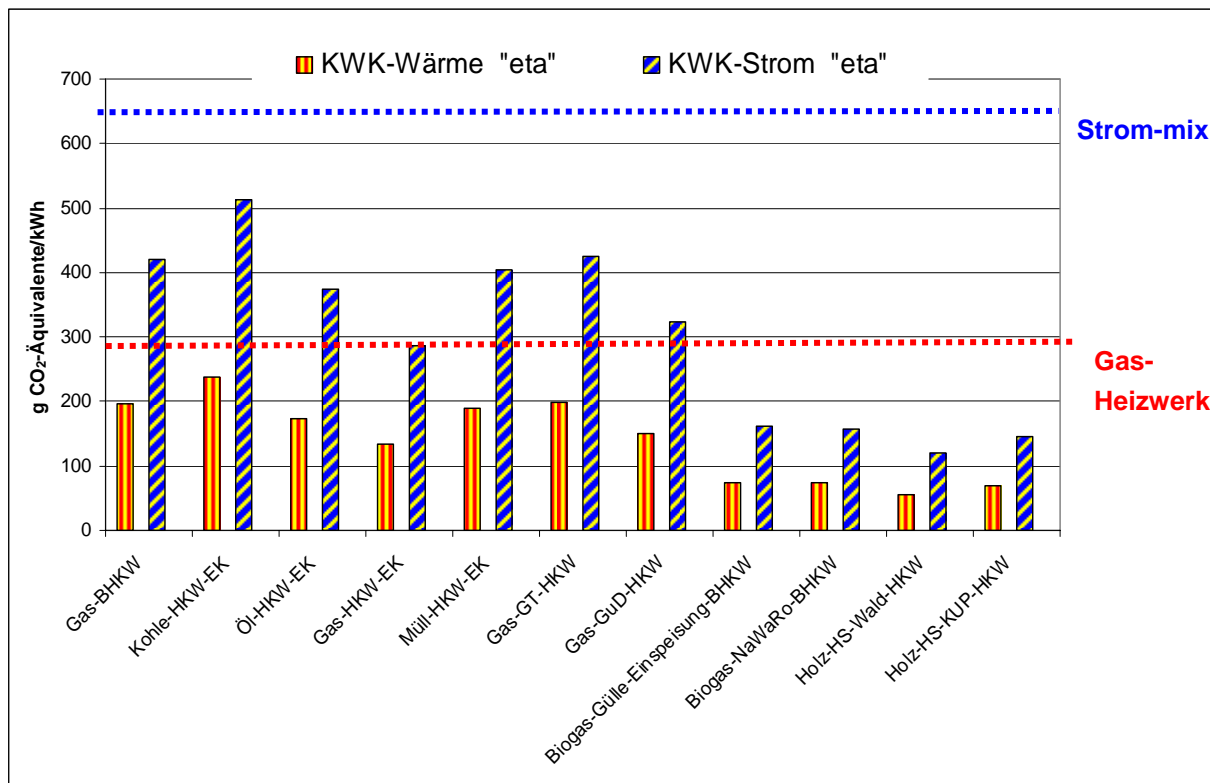
Zum Vergleich wurden die Werte mit einer modifizierten Methode berechnet, die über den „eta“-Ansatz hinaus auch die relative THG-Emissionsintensität der Referenzsysteme für Wärme und Strom einbezieht (in der Studie als „**THG**“-Ansatz bezeichnet).

Die Ergebnisse für die Allokationsmethoden „eta“ und „THG“ sind weitestgehend gleich. Ein nennenswerter Unterschied ergibt sich nur, falls eine Öl-Heizung als wärmeseitiges Referenz-System in Kombination mit einem relativ emissionsarmen Erdgas-GuD-Kraftwerk als Referenz-System für Strom betrachtet wird. Die Allokationslogik ist somit **robust** gegenüber der Variation der Referenzwahl.

Darüber hinaus wurden einzelne KWK-Systeme hinsichtlich ihrer THG-Emissionen für KWK-Wärme und KWK-Strom untersucht. Die Ergebnisse zeigt die folgende Tabelle.

KWK-System	Emissionsfaktoren für KWK-Systeme	
	CO ₂ -Äquivalente in g/kWh _{output} (inkl. Vorketten)	
	KWK-Wärme	KWK-Strom
	"eta"	"eta"
Gas-BHKW	195,6	420,3
Kohle-HKW-EK	239,0	513,6
Öl-HKW-EK	174,2	374,3
Gas-HKW-EK	133,0	285,8
Müll-HKW-EK	188,6	405,3
Gas-GT-HKW	197,6	424,7
Gas-GuD-HKW	150,8	324,1
Biogas-Gülle-Einspeisung-BHKW	75,0	161,3
Biogas-NaWaRo-BHKW	73,2	157,3
Holz-HS-Wald-HKW	56,1	120,5
Holz-HS-KUP-HKW	68,2	146,5
zum Vergleich Referenzsysteme (Gas-Heizwerk für Wärme, Bundesmix für Strom)	284,7	644,9

In grafischer Form stellen sich die THG-Emissionen (inkl. Vorketten) für Wärme und Strom aus unterschiedlichen KWK-Anlagen gegenüber dem Referenzsystem „Gas-Heizwerk und Strommix“ wie folgt dar:



Der Vergleich mit den Resultaten nach der Gutschriften-Methode, in der die deutsche Fernwärmebereitstellung in den Jahren 2000 und 2005 jeweils mit einer Gutschrift für den in KWK erzeugten Strom (Basis Strommix) bilanziert wurde, ergab ebenfalls eine gute Übereinstimmung.

Es wird empfohlen, die Analyse für weitere KWK-Systeme zu ergänzen, die **künftig** Bedeutung erlangen können, – dies sind insbesondere ORC-Systeme mit Geothermie und Brennstoffzellen für Biomethan.

Weiterhin wäre der Einfluss der Anlagengröße von KWK-Systemen und die Effekte der Wärmeverteilung (Nah/Fernwärmenetze) mit darzustellen.

Die Ergebnisse dieser Studie sollten breit kommuniziert werden, um die bestehenden Unsicherheiten über die THG-Relevanz von KWK-Wärme und Strom durch realistische Darstellungen abzubauen und die positiven Klimawirkungen herauszustellen.

Executive Summary

The study analyzed the specific emissions of greenhouse gases (GHG) associated with the provision of district heating and electricity from cogeneration in Germany in the years 2000, and 2005.

The objective of the study was to determine consistent and adjustable emission factors for district heating which especially reflect the problem of cogeneration, i.e. combined production of electricity and heat (CHP).

The report gives the data backgrounds and figures regarding the energy input for district heating provision in Germany in the years 2000 and 2005, respectively, as well as the associated GHG emission factors for district heating and cogenerated electricity in these years.

For that, a distinction was made between district heating from pure heat plants (HP) and combined heat and power plants (CHP).

Furthermore, the respective fuel inputs and their mixes are considered and, for cogeneration, a further differentiation was made between different CHP technologies (steam turbines – ST; gas turbines – GT; combined cycles – CC; internal combustion engines – ICE).

Also, several cogeneration systems for biomass are analyzed.

As regards emission factors for GHG, the key gas is CO₂, but also other GHG are included (CH₄, N₂O) and converted into aggregated CO₂ equivalents.

In addition, the reports differentiate between

- direct GHG emissions, i.e. only those from plants supplying district heat, and
- total GHG emissions of district heating.

For the total, the direct emissions **and** emissions from auxiliary energy inputs, upstream fuel-cycles associated with the supply of the fuel input (including transports), and the manufacturing of the plants (material input) are taken into account. This reflects the **total life-cycles** of district heating systems².

The report further presents briefly methods to allocate the GHG emissions of cogeneration and discusses their relevance (system expansion/crediting versus several allocation approaches).

As a consistent method to allocate GHG emissions from CHP systems, the so-called “efficiency approach”(in short: “eta”) is identified which is derived from the EU CHP Directive.

² For reasons of simplification, the GHG emissions resulting from waste treatment (ash disposal, wastewater treatment) were not included, but the contribution from these activities is rather small.

The results of the calculation of GHG emissions from district heating in year 2005 in Germany is shown in the following table.

in g/kWh output	Emission factors for CHP heat , in g/kWh _{th}			
	only directly from plants		total incl. life-cycles	
	CO ₂	CO ₂ equiv.	CO ₂	CO ₂ equiv.
only heat plants	265.6	267.4	286.8	302.4
only CHP plants - eta	175.5	178.3	188.3	201.2
mix HP/CHP – eta	186.8	189.5	200.7	214.0
distribution losses	14%	14%	14%	14%
district heat – eta	213.0	216.1	228.8	243.9

In parallel to district heat, the respective allocation method determines also the GHG balance of the CHP electricity generation (see following table).

	Emission factors for CPH electricity , in g/kWh _{el}			
	only directly from plants		total incl. life-cycles	
	CO ₂	CO ₂ eq.	CO ₂	CO ₂ eq
method “eta“	377.2	383.3	404.7	432.5
savings CHP vs. REF	35%	35%	35%	33%

For **electricity** from CHP results in **higher** savings than those allocated to cogenerated heat. This is a consequence of the allocation approach which favours “higher-value“ products.

As the allocated GHG emissions from both cogenerated heat and electricity depend on the choice of reference systems (combination of systems for separate electricity and heat production), a variation of the respective system choice was made.

The result of this analysis is that **both** cogenerated heat and electricity **have lower GHG emissions** than the respective reference systems for nearly all cases.

As a useful addition from the climate protection point of view, the study proposes a modified method which – beyond the “eta” approach - also considers the relative GHG emission intensity of the reference systems for heat and electricity. This is called “GHG” approach (in short: “GHG”).

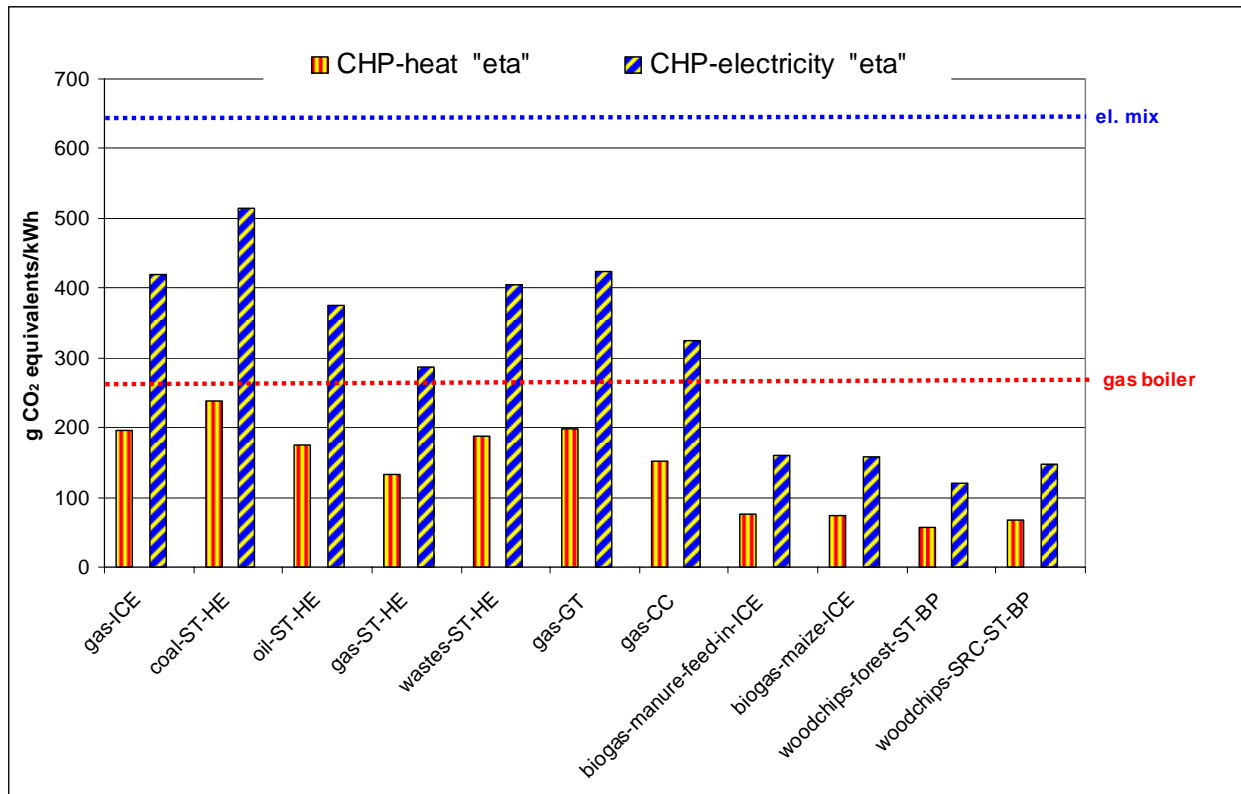
The results from the methods “eta” and “GHG” are do not differ much, with the exception of using oil-heating as a reference system for heat and a gas CC plant as a reference system for electricity.

Therefore, the allocation logic is robust against variations in both the reference systems, and the allocation method.

The study also analyzed several CHP systems regarding the GHG emissions associated with the combined production of electricity and heat, results are shown below.

CHP system	Emission factors for CHP Systems	
	CO ₂ equivalents in g/kWh _{output} (incl. upstream)	
	CHP-heat	CHP-electricity
	"eta"	"eta"
gas-ICE	195.6	420.3
coal-ST-HE	239.0	513.6
oil-ST-HE	174.2	374.3
gas-ST-HE	133.0	285.8
wastes-ST-HE	188.6	405.3
gas-GT	197.6	424.7
gas-CC	150.8	324.1
biogas-manure-feed-in-ICE	75.0	161.3
biogas-maize-ICE	73.2	157.3
woodchips-forest-ST-BP	56.1	120.5
woodchips-SRC-ST-BP	68.2	146.5
for comparison: reference systems (gas boiler for heat, national mix for electricity)	284.7	644.9

The following graph shows the GHG emissions from cogenerated heat and electricity together with the emissions of the reference systems.



Finally, a comparison of the 2000 and 2005 results of the allocation methods for co-generated heat with the “net” results of the crediting method in which the cogenerated electricity is subtracted based on the avoided emissions from the electricity generation mix shows a good match.

Finally, an extension of the analysis is recommended with respect to more CHP systems which could become more important in the future, such as geothermal ORC systems, and fuel cells for biomethane.

Furthermore, the effects of heat distribution systems (local/regional) should be considered as well.

The results of this report should be communicated broadly to reduce existing uncertainties regarding the GHG relevance of cogenerated heat and electricity, and to underline the positive climate effects.

1 Einleitung und Überblick

Das Umweltbundesamt (UBA) beauftragte im Juli 2007 das Öko-Institut (Institut für angewandte Ökologie e.V.) mit dem F&E-Vorhaben zu „**Bestimmung spezifischer Treibhausgas-Emissionsfaktoren für Fernwärme**“ (FKZ 360 16 008).

Hintergrund der Arbeiten ist es, dass Emissionsdaten zu Treibhausgasen der Strom- und Wärmeherzeugung (sowie von Transporten) zu den Grundinformationen gehören, die für die Politikentwicklung im Bereich Energie und Umwelt, für die Konzeption von Förderprogrammen sowie für die Umweltberichtserstattung von Unternehmen und Fragen im Rahmen des Umweltmanagements nötig sind.

Die Diskussion um den Klimaschutz bedarf abgesicherter und fortschreibbarer Datengrundlagen. Fernwärme, bereitgestellt aus Heiz- und Heizkraftwerken (HKW) mit unterschiedlichen Brennstoffen und Technologien, wird als klimafreundlicher Energieträger angesehen, insbesondere dann, wenn sie (überwiegend) aus Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) stammt.

Es fehlt jedoch bislang an einer transparenten und fortschreibbaren Datengrundlage zu den Emissionen an Treibhausgasen (THG) aus der Fernwärmebereitstellung in Deutschland, die auf den neuesten Informationen aus UBA, statistischen Daten (AGEB, AGFW, VIK usw.) und im Öko-Institut verfügbaren Daten (u.a. GEMIS Version 4.4) beruht und auch die historische Entwicklung konsistent beschreibt. Dabei ist insbesondere die Aufteilung der Emissionen auf die Koppelprodukte Strom und Wärme von Interesse.

Mit dem hier vorgelegten Endbericht, der sich auf die in der Leistungsbeschreibung des UBA genannten Punkte bezieht, werden die Ergebnisse des Projekts zusammenfassend dargestellt. Ein Tabellenanhang (als Excel-Datei) ist getrennt verfügbar.

Der Bericht ist wie folgt strukturiert:

- Im Abschnitt 2 werden die Datengrundlagen für die Energie- und Treibhausgas-Bilanzierung dargestellt und in Abschnitt 3 die Fragen der Allokation der Koppelprodukte bei Kraft-Wärme-Kopplung zusammenfassend diskutiert.
- Abschnitt 4 stellt das Datengerüst für die Fernwärmebereitstellung in den Jahren 2000 und 2005 (Energieeinsatz, THG-Emissionsfaktoren) dar.
- Im Abschnitt 5 werden die direkten und gesamten (inkl. Vorketten) Emissionsfaktoren für THG-Emissionen bei der Fernwärmebereitstellung abgeleitet.
- Abschnitt 6 stellt die THG-Emissionsfaktoren für **einzelne** KWK-Systeme zur Fernwärme aus fossilen Energieträgern und Biomasse dar.
- Im Abschnitt 7 werden Schlussfolgerungen und Empfehlungen formuliert.

Abschließend wurden ein Literatur- und ein Abkürzungsverzeichnis aufgenommen.

Die diesem Bericht zugrundeliegenden Daten und Berechnungen wurden getrennt in Excel-Dateien sowie als Teil des GEMIS-Datensatzes zur Verfügung gestellt.

2 Methodik der Energie- und THG-Bilanzierung für Fernwärme

Im Folgenden werden die methodischen Grundlagen zur Bilanzierung von Treibhausgasen (THG) und die darauf beruhende Ermittlung von Emissionsfaktoren für Fernwärme behandelt sowie die mit dem UBA abgestimmte Bilanzierungsmethode dargestellt.

Fernwärme meint im vorliegenden Bericht stets die „öffentliche“ Fernwärmeversorgung (inkl. Nahwärme), d.h. von Versorgungsunternehmen an (private und öffentliche) Kunden über Netze gelieferte Wärme und umfasst sowohl die Wärmeeinspeisung aus KWK-Anlagen wie auch aus Heizwerken und (industrieller) Abwärme. Die in Industrie und Bergbau erzeugte „innerbetriebliche“ Fernwärme (aus Kraft-Wärme-Kopplung oder Abwärme), die nicht an Dritte abgegeben wird, bleibt hierbei unberücksichtigt³.

2.1 Energiebilanzdaten für Fernwärme und Strom

Die Grundlagen zur jährlichen Ermittlung des Brennstoff- bzw. Energieeinsatzes für die Bereitstellung von Fernwärme aus Heizkraft- und Heizwerken beruhen auf statistischen Daten der AG Energiebilanzen (AGEB 2006) zu Mengenzu- und -abnahmen für Fernwärme (Output der Anlagen, Verluste in Nah- und Fernwärmenetzen), Daten aus dem jährlichen Hauptbericht der Arbeitsgemeinschaft Fernwärme (AGFW 2006) zum Brennstoffeinsatz in Heiz- und Heizkraftwerken sowie Daten des Statistischen Bundesamts zur Fernwärmebereitstellung und deren Brennstoffeinsätzen, wie sie im Zentralen System Emissionen (ZSE) des Umweltbundesamts (UBA 2007a) enthalten sind⁴.

Aus den Daten der AGFW liegt der **gesamte** Brennstoffeinsatz der bei der AGFW-Erhebung erfassten KWK-Anlagen und Heizwerken sowie die jeweilige KWK-Stromerzeugung vor. Die Differenzierung nach Umwandlungstechnologien, wie sie für detailliertere Emissionsbetrachtungen und zur Berücksichtigung der unterschiedlichen energetischen Nutzungsgrade von HKW sinnvoll ist, liefert die AGFW seit dem Hauptbericht 2005, allerdings nur bezogen auf die Strom- und Wärmebereitstellung, nicht auf die Brennstoffeinsätze. Dabei wird zwischen Dampfturbinen (DT), Gasturbinen (GT), Gas- und Dampfturbinen (GuD) sowie Motor-Blockheizkraftwerken (BHKW) unterschieden.

Im Rahmen verschiedener Forschungsvorhaben des UBA wurde in den letzten Jahren eine **synthetische** Aufteilung des Brennstoffeinsatzes in KWK-Anlagen entwickelt, die auf Basis von Informationen des Statistischen Bundesamts für die fossilen Energieträgereinsätze eine fortschreibbare Differenzierung nach DT mit Entnahme-Konden-

³ Diese Abgrenzung entspricht der Definition der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (AGEB o.J.) und beruht auf der Datenerhebung des statistischen Bundesamtes. Diese Abgrenzung wird auch vom UBA in den ZSE-Daten verwendet.

⁴ Im ZSE werden die Energiedaten und energiebezogenen Emissionsfaktoren im Subsystem „BEU“ (Bilanz der Emissions-Ursachen) erfasst, siehe ÖKO/DIW 2007.

sation (EK) bzw. Gegendruck (GD), GuD mit EK bzw. GD, GT mit Abhitzekesteln sowie Gas- bzw. Dieselmotor-BHKW erlaubt (ÖKO/DIW 2007). Die noch extrem geringen Mengen an KWK-Wärme aus anderen Technologien (Dampf- und Stirlingmotoren, ORC, Brennstoffzellen) wurden wegen fehlender Daten vernachlässigt⁵.

Das Energiestatistikgesetz (EnStatG 2003) sieht ab dem Jahr 2003 Datenerhebungen zum Brennstoffeinsatz der gekoppelten und ungekoppelten Stromerzeugung von KWK-Anlagen vor, womit sich eine verbesserte Datengrundlage ergibt. Zudem bietet das Statistische Bundesamt Sonderauswertungen, in denen die Aufteilung des Brennstoffeinsatzes von KWK-Anlagen nach Technik erfolgt. Einen Überblick zu diesen Daten bis zum Jahr 2004 aus verschiedenen Quellen gibt DIW/ÖKO/VIK 2007.

Neben den Brennstoffeinsätzen sind auch die elektrischen und thermischen Nutzungsgrade (bzw. Stromkennzahlen) für die outputbezogene Darstellung von Emissionsfaktoren wichtig. Eine Darstellung der entsprechenden Daten erfolgt im Abschnitt 3. Weiterhin sind die Verluste in den Fernwärmenetzen zu berücksichtigen, wozu die Daten aus AGFW (2006) herangezogen wurden.

2.2 Direkte THG-Emissionen für Fernwärme und Strom

Die Daten für die **direkten**, aus dem unmittelbaren Brennstoffeinsatz in Umwandlungsanlagen für Fernwärme (Heizkraftwerke und Heizwerke) resultierenden THG-Emissionen sind vom UBA im ZSE verfügbar (UBA 2007a). Dort werden, bezogen auf die Differenzierung des Brennstoffeinsatzes der Wärmebereitstellung, die direkten Emissionen an CO₂, CH₄ und N₂O in Zeitreihen geführt. Eine Darstellung dieser Emissionsfaktoren geben die folgenden Tabellen.

Tabelle 1 Direkte THG-Emissionsfaktoren für den Brennstoffeinsatz in Heizwerken im Jahr 2005

in kg/TJ _{input}		CO ₂	CH ₄	N ₂ O
FEHW13	Erdgas	56.000	0,3	0,50
	Heizöl, leicht	74.000	3,5	1,00
	Steinkohle	94.000	1,5	5,60
FEHW17	Hausmüll/Siedlungsabfall biogen	-*	1,8	3,00
FEHW17	Hausmüll/Siedlungsabfall fossil	91.510	1,8	3,00
FEHWTA	Erdgas	56.000	2,5	0,90
	Grubengas	55.000	2,5	0,90
	Heizöl, leicht	74.000	3,5	1,10
	Kokerei-/Stadtgas	40.000	2,5	0,90
	Staub-/Trockenkohle	97.900	3,4	3,20
	Steinkohle	94.000	3,4	3,90

Quelle: UBA (2007a); * = biogener Anteil als CO₂-neutral angenommen

⁵ Die hier entwickelte Methodik kann auch auf diese Systeme angewandt werden, die vorgelegten Excel-Blätter zur Bilanzierung lassen sich entsprechend durch Datenergänzung dazu nutzen.

Tabelle 2 Direkte THG-Emissionsfaktoren für den Brennstoffeinsatz in Heizkraftwerken im Jahr 2005

Heizkraftwerke, in kg/TJ _{input}		CO ₂	CH ₄	N ₂ O
HEBKW13	Rohbraunkohle Lausitz	113.000	1,5	3,30
	Rohbraunkohle Mitteldeutschland	104.000	1,5	3,30
	Rohbraunkohle Rheinland	114.000	1,5	3,60
HEKW13	Braunkohlenbriketts	99.700	1,5	3,50
	Braunkohlenkoks	108.000	1,5	3,50
	Erdgas	56.000	0,3	0,50
	Flüssiggas	65.000	0,3	0,50
	Heizöl, leicht	74.000	3,5	1,00
	Heizöl, schwer	78.000	3,5	1,00
	Petrolkoks	101.000	0,5	1,00
	Rohbraunkohle	112.300	1,5	3,60
	Steinkohle	94.000	1,5	4,30
HEKW17	Hausmüll/Siedlungsabfall fossil	91.510	1,8	3,00
HEKW17	Hausmüll/Siedlungsabfall biogen	-*	1,8	3,00
HEKWGM	Deponiegas	-*	0,3	0,95
	Klärgas	-*	0,3	0,95
	Erdgas	56.000	0,3	0,95
	Heizöl, leicht	74.000	0,5	1,40
alle GT/GuD	Erdgas	56.000	0,3	0,95
	Heizöl, leicht	74.000	0,5	1,40

Quelle: UBA (2007a); *= vom Öko-Institut als CO₂-neutral angenommen

Die o.g. Daten wurden für die Bilanzierung angesetzt und entsprechende ZSE-Daten für das Jahr 2000 verwendet. Über die Excel-Dateien kann künftig eine Fortschreibung erfolgen, sobald aktualisierte ZSE-Daten vorliegen.

2.3 THG-Daten für Vorketten von Energieträgern

Neben den direkten Emissionsfaktoren für die Umwandlungsprozesse von Fernwärme spielen auch die sog. **Vorketten** eine wichtige Rolle, d.h. die der eigentlichen Energienutzung **vorgelagerten** Prozessketten.

Diese Vorketten beginnen bei der Förderung und umfassen die primäre Aufbereitung, den Transport sowie die weitere Verarbeitung von Energieträgern bis zur Sekundär- bzw. Endenergiestufe. Weiterhin ist der Herstellungsaufwand z.B. die Umwandlungsanlagen und Wärmenetze in den Vorketten zu berücksichtigen.

Das Öko-Institut hat seit 1987 für diese Fragen die Datenbank GEMIS (Globales E-missions-Modell Integrierter Systeme) zur ganzheitlichen Bilanzierung von Umwelt- und Kostenaspekten im Energie-, Stoff- und Verkehrssektor entwickelt, die mittlerweile in der Version 4.4 vorliegt (vgl. www.gemis.de).

GEMIS ist in diesem Kontext als Quasi-Standard breit akzeptiert und bildet auch die Datengrundlage für Förderinstrumente des Bundes und der Länder im Bereich Energie.

In GEMIS 4.4 wurden die Energiedaten für Deutschland auf das Basisjahr 2005 aktualisiert und parallel verfügbare Daten zu Treibhausgas-Emissionsfaktoren für die Vorketten im Bereich der fossilen und regenerativen Energien aktualisiert, wobei vor allem für CO₂- und CH₄-Emissionen bei der Bereitstellung von Stein- und Braunkohle Daten aus dem aktuellsten Nationalen Inventar-Bericht (National Inventory Report = NIR, siehe UBA 2007b) verwendet wurden.

Bei den ausländischen Vorketten (Importkohle, Erdgas/Öl) wurden, soweit verfügbar, ebenfalls NIR-Daten (aus dem Jahr 2005) sowie Energiedaten der IEA verwendet.

Alle GEMIS-Daten werden regelmäßig fortgeschrieben und aktualisiert.

Die **vorgelagerten** THG-Emissionsfaktoren für die **Bereitstellung** von Energieträgern frei Umwandlungsanlage für Fernwärme zeigt die folgende Tabelle.

Tabelle 3 THG-Emissionsfaktoren für die Bereitstellung von Brennstoffen frei Umwandlungsanlage im Jahr 2005

Option [kg/TJ _{end}]	CO ₂ -Äquiv.	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Erdgas @KW/IN	8.715	4.941	162	0,2
Öl-leicht frei KW/IN	11.487	10.910	21	0,3
Braunkohle-Staub @KW/IN (rhein.)	27.469	25.142	3	7,7
Steinkohle @KW/IN (mix)	12.776	5.804	300	0,2

Quelle: ÖKO (2008); Daten ohne Nutzung der Energieträger

Die o.g. Daten enthalten jeweils die **gesamten** Aufwendungen im In- und Ausland für Förderung, Erstaufbereitung und Transport (Anlieferung frei Verbraucher) und beziehen auch die Herstellung der Anlagen mit ein.

In den Vorketten sind ebenfalls die jeweiligen Energievorketten (Prozesswärme, Strom) über die verschiedenen Länder(gruppen) einbezogen. Diese Daten stammen aus den Statistiken der IEA und werden ebenfalls regelmäßig aktualisiert.

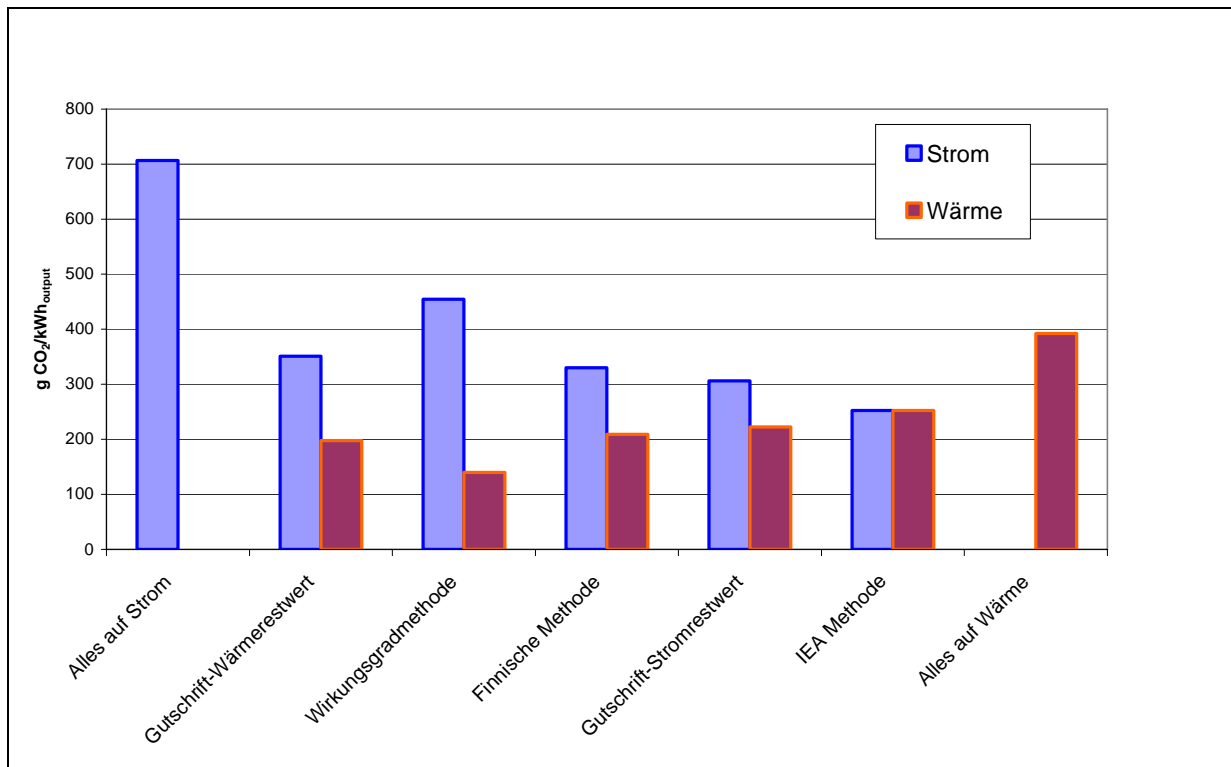
3 Allokationsfragen für KWK-Wärme und KWK-Strom

Bei KWK-Anlagen zur gemeinsamen Produktion von Strom und Wärme müssen die Emissionen den jeweiligen Produktionsanteilen von Wärme und Strom zugerechnet werden, um eine Aussage zu den wärmebezogenen Emissionen zu erlauben.

Dabei gibt es verschiedene Methoden dieser sogenannten Allokation. Das folgende Beispiel soll die jeweiligen quantitativen Effekte verschiedener Allokationsmethoden verdeutlichen.

Im nachfolgenden Bild sind verschiedene Methoden in ihrer Wirkung auf die CO₂-Emissionen von KWK-Strom und KWK-Wärme dargestellt. Die Grundinformationen beruhen auf einer Arbeit der Vereinigung Industrielle Kraftwirtschaft (VIK (2006)).

Bild 1 *Effekte verschiedener Allokationsmethoden auf die CO₂-Emissionen von KWK-Strom bzw. KWK-Wärme*



Quelle: eigene Berechnungen nach VIK (2006)

Dieser Gegenüberstellung liegt ein Heizkraftwerk zugrunde, dessen Auslegungsdaten die folgende Tabelle zeigt.

Tabelle 4 *Kenndaten des Heizkraftwerks für den Methodenvergleich*

Kenngröße	Einheit	Wert
el. Leistung	MW _{el}	50
th. Leistung	MW _{th}	90
Wirkungsgrad el.		28,3%
Wirkungsgrad th.		51,0%
Stromkennzahl		0,6
brennstoffbezogener CO ₂ -Emissionsfaktor	g/kWh	200
Nutzungsstunden el.	h/a	5000
Nutzungsstunden th.	h/a	5000

Quelle: VIK (2006)

Die zum Vergleich mit getrennter Erzeugung von Strom und Wärme herangezogenen Referenzanlagen haben 40% elektrischen bzw. 90% thermischen Wirkungsgrad.

Die beiden Extremvarianten bestehen darin, die gesamten Emissionen jeweils nur einem Produkt zuzuordnen. Werden **alle** Emissionen auf den KWK-**Strom** gebucht, so ergibt sich im genannten Beispiel ein Emissionsfaktor von rund 700 g/kWh_{el}.

Werden dagegen **alle** Emissionen auf die erzeugte **Wärme** gebucht, so ergibt sich ein Emissionsfaktor von rund 400 g/kWh_{th}.

Der zahlenmäßige Unterschied der Emissionsfaktoren rührt daher, dass sich die gleiche CO₂-Menge auf unterschiedliche Produktmengen verteilt – bei einer Stromkennzahl des HKW von 0,6 werden je kWh Strom noch 1,67 kWh Wärme bereitgestellt.

Beide Extrema sind in der Praxis nicht anzutreffen, sie sollen nur die maximale Zuordnung auf das eine oder andere Produkt des HKW zeigen.

3.1 Systemerweiterung bzw. Gutschriftenmethode

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.

Wird für das gezeigte Beispiel Strom als Hauptprodukt angesehen, ergeben sich „netto“-Emissionen (bei Gutschrift für gekoppelt erzeugte Wärme) von rund 500 g/kWh_{el} bzw. für den Fall der Wärme als Hauptprodukt sind es (bei Gutschrift für gekoppelt erzeugten Strom) rund 200 g/kWh_{th}.

Das hier betrachtete Beispiel betrachtet nur Anlagen mit gleichem Energieträger - in der Praxis treten jedoch häufig Fälle auf, in der die KWK-Wärme andere Energieträger verdrängt als im HKW eingesetzt bzw. der erzeugte Strom andere Stromerzeugungsanlagen ersetzt.

Im Extremfall haben die ersetzten Anlagen höhere Emissionen als die KWK-Anlage insgesamt. Dies führt zu einer **negativen Differenz** und damit zu einem (rechnerisch) negativen Emissionsfaktor.

Eine weitere systematische Schwäche besteht darin, dass die KWK-Anlage mit Wärmegutschrift immer dann einen besonders geringen strombezogenen Netto-Emissionsfaktor hat, wenn sie viel Wärme und wenig Strom liefert.

Eine Gegenüberstellung der Ergebnisse der Gutschriftenmethode am Beispiel der Fernwärmebereitstellung in den Jahren 2000 und 2005 mit den entsprechenden Resultaten der Allokationsmethoden (siehe unten) gibt Kapitel 5.7.

3.2 Allokationsmethoden

Anstelle der Erweiterung der Systemgrenzen und nachfolgender Substitution kann auch eine sog. **Allokation** erfolgen – hier wird die Umweltlast zwischen den bereitgestellten Produkten aufgeteilt. Der jeweilige Aufteilungsschlüssel charakterisiert die verschiedenen Allokationsansätze.

Die **Wirkungsgradmethode** setzt die Einzel-Wirkungsgrade für Strom und Wärme ins Verhältnis zur Summe beider Wirkungsgrade. Die Gesamtemissionen werden entsprechend der beiden Quotienten aufgeteilt:

$$\text{Anteil}_{el} = \eta_{th} / (\eta_{th} + \eta_{el}).$$

Die Emissionsfaktoren ergeben sich nach dieser Allokation zu rund 460 g/kWh_{el} bzw. 140 g/kWh_{th}.

Die sogenannte ‚**Finnische Methode**‘ definiert zunächst zwei Referenzanlagen, die jeweils **getrennt** Strom und Wärme produzieren. Bei der gekoppelten Produktion im HKW sind die Wirkungsgrade für Strom und Wärme geringer als bei der getrennten Produktion in Referenzanlagen. Dem stehen eine Reduktion des Brennstoffeinsatzes und - damit verbunden - auch eine Emissionsreduktion gegenüber.

Die Energieeinsparung EE errechnet sich aus folgender Formel (EU 2004):

$$EE = \left(1 - \frac{1}{\frac{\eta_{KWKth}}{\eta_{REFth}} + \frac{\eta_{KWKel}}{\eta_{REFel}}} \right)$$

Dabei sind η_{KWKth} der thermische Wirkungsgrad bei gekoppelter Erzeugung, η_{KWKel} der elektrische Wirkungsgrad der KWK Anlage. η_{REFth} und η_{REFel} sind die Wirkungsgrade der Referenzanlagen.

Teilt man diese Einsparung EE gleichmäßig auf den Wärme- und Stromanteil auf, so ergeben sich die anteiligen Brennstoffeinsätze für Strom (W_{el}) und Wärme (W_{th}) wie folgt:

$$W_{th} = W * (1 - EE) * \frac{\eta_{KWKth}}{\eta_{REFth}}$$

$$W_{el} = W * (1 - EE) * \frac{\eta_{KWKel}}{\eta_{REFel}}$$

Für die weitere Betrachtung wurde in Absprache mit dem UBA die „finnische“ Methode als Referenzoption gewählt, da auf ihrer Logik auch die EU-KWK-Richtlinie (vgl. EU 2004) beruht. Im Folgenden wird dieser Ansatz als „**eta**“-Methode bezeichnet.

3.3 Allokation über THG-Verhältnisse

Als **Erweiterung** der eta-Methode wurde in der vorliegenden Studie ein Ansatz entwickelt, der anstelle der Wirkungsgrade **die THG-Emissionsfaktoren** der kompletten Lebenswege verwendet.

Der Grund hierfür ist darin zu sehen, dass die Referenzanlagen für Strom und Wärme und die KWK-Anlage nicht notwendig den gleichen Brennstoff einsetzen, womit sich aus Sicht der THG-Reduktion signifikante Unterschiede ergeben können (z.B. Kohle-Strom und Gas-Heizwerk versus Erdgas-BHKW).

Aus Sicht der global wirksamen THG sind zudem die gesamten Lebenswege (also auch die Vorketten zur Bereitstellung der Brennstoffe) mit einbeziehen, unabhängig davon, wo diese Emissionen entstehen.

Für diesen im Folgenden als „**THG**“-Methode bezeichneten Allokationsansatz werden zunächst, analog der Formel zur Energieeinsparung, die Verhältnisse der THG-Emissionsfaktoren von KWK-System zu Referenzsystem gebildet und die Einsparung auf der Ebene der Emissionsfaktoren bestimmt:

$$EFCO2Einsparung = \left(1 - \frac{1}{\frac{EFCO2KWKel}{EFCO2REFel} + \frac{EFCO2KWKth}{EFCO2REFth}} \right)$$

Der Emissionsfaktor EFCO2KWKel ist der brutto-strombezogene Emissionsfaktor der KWK-Anlage. Der brutto-wärmebezogene Emissionsfaktor EFCO2KWKth ergibt sich aus dem brutto-strombezogene Emissionsfaktor dividiert durch die Stromkennzahl.

Die anteiligen Emissionsfaktoren der KWK-Anlagen ergeben sich analog zu:

$$EFth = EFCO2KWK * (1 - EFCO2Einsparung) * \frac{EFCO2KWKth}{EFCO2REFth}$$

$$EFel = EFCO2KWK * (1 - EFCO2Einsparung) * \frac{EFCO2KWKel}{EFCO2REFel}$$

In den späteren Rechnungen wurde jeweils für die anlagenbezogenen Emissionen an CO₂ und CO₂-Äquivalenten sowie für die Gesamtemissionen an CO₂ und CO₂-Äquivalenten über den gesamten Lebensweg (inkl. Vorketten) gerechnet.

Für die weitere Diskussion wurden parallele Modellrechnungen für die „eta“-Methode sowie die weitergehende „THG“-Methode durchgeführt.

4 Daten zur Fernwärmebereitstellung in den Jahren 2000 und 2005

Im nächsten Schritt wurden entsprechend der Methodik-Festlegungen (siehe oben) die datenseitigen Abgleiche und Verknüpfungen durchgeführt, um die THG-Emissionsfaktoren für Fernwärme in den jeweiligen Jahren zu bestimmen.

4.1 Daten zu Energieeinsatz und Fernwärmebereitstellung

Hierfür wurden zuerst die im ZSE verfügbaren Daten zum Brennstoffeinsatz für die Bereitstellung von Fernwärme aus Heizkraft- und Heizwerken mit den entsprechenden Quellen (AGEB 2006, AGFW 2006) recherchiert und abgeglichen (sektorale und technologische Zuordnung).

Bei den AGFW-Angaben ist zu berücksichtigen, dass sie das Ergebnis freiwilliger Erhebungen bei Mitgliedsunternehmen sind, an deren sich von Jahr zu Jahr wechselnde Unternehmen beteiligen. Insofern handelt es sich nicht um Vollerhebungen. Sie reflektieren jedoch die Mengengerüste der öffentlichen Fernwärme- und KWK-Stromerzeugung und lassen auch die Berechnung von Stromkennzahlen je Brennstoff- und Anlagentyp zu. Zudem bieten sie Informationen zum Verhältnis von Fernwärme aus Heizwerken und HKW und geben die Netzverluste mit an. Daher wurden diese Daten verwendet, um die Erzeugungsmixe für Fernwärme (Heizwerke, HKW und jeweiliges Brennstoffmix) zu bestimmen.

Die entwickelte Methodik wurde unter Excel modelliert und die entsprechenden Daten und Verknüpfungen implementiert, um die Jahre 2000 und 2005 abzubilden.

Tabelle 5 Brennstoffeinsatz für Fernwärme im Jahr 2000

Brennstoff in TJ	Steinkohle	Braunkohle	Heizöl	Erdgas	Müll
in Heizwerken	8.060	1.341	5.838	45.058	3.793
Anteile in Heizwerken*	12%	2%	9%	71%	6%
in HKW	203.649	52.555	7.364	186.112	33.137
Anteile in HKW*	43%	11%	2%	39%	6%

Quelle: AGFW (2006); eigene Berechnungen; *= Anteile von anderen Gasen auf Erdgas umgerechnet sowie vernachlässigte Energieträger (<2%)proportional auf alle Brennstoffe umgelegt

Tabelle 6 Brennstoffeinsatz für Fernwärme im Jahr 2005

Brennstoff in TJ	Steinkohle	Braunkohle	Heizöl	Erdgas	Müll
in Heizwerken	4.840	296	5.284	42.716	6.074
Anteile in Heizwerken*	8%	0%	9%	72%	10%
in HKW	194.065	61.437	0	206.754	38.583
Anteile in HKW*	39%	12%	0%	42%	6%

Quelle: AGFW (2006); eigene Berechnungen; *= Anteile von anderen Gasen auf Erdgas umgerechnet sowie vernachlässigte Energieträger (<2%)proportional auf alle Brennstoffe umgelegt

Aus den ZSE-Daten zum Brennstoffeinsatz in Heiz- und Heizkraftwerken (UBA 2007a) wurden die Anteile der TA-Luft- bzw. 13.BImSchV-Anlagen bestimmt und nach AGFW (2006) die technologieseitige Aufteilung der Brennstoffeinsätze nach DT, GT, GuD sowie BHKW.

Das gesamte Mengengerüst ist jährlich fortschreibbar und beruht auf öffentlichen bzw. dem UBA direkt zugänglichen Daten.

4.2 Daten zu THG-Emissionsfaktoren der Fernwärme

Im zweiten Schritt wurden die Brennstoff- bzw. Endenergieeinsätze für die Fernwärme mit den in ZSE und GEMIS verfügbaren Daten zu direkten sektor- und umwandlungs-technologiespezifischen Emissionsfaktoren verknüpft.

Die Aufteilung der Emissionsfaktoren erfolgte für Heizwerke und Heizkraftwerke mit der Unterteilung in Anlagen nach der 13.BImSchV bzw. TA Luft sowie brennstoff- und technologiespezifisch (vgl. Abschnitt 2.2).

5 THG-Emissionsfaktoren für Fernwärme, KWK-Wärme und KWK-Strom in den Jahren 2000 und 2005

Im dritten Schritt wurden die **input**bezogenen THG-Emissionsfaktoren (vgl. Kapitel 4.2) mit den Daten zum Brennstoffeinsatz in den Umwandlungsanlagen (vgl. Kapitel 4.1) verknüpft und damit die direkten **output**bezogenen Emissionsfaktoren für die Fernwärme berechnet.

5.1 Direkte THG-Emissionsfaktoren für Fernwärme in 2000 und 2005

Die Verknüpfung der Energiedaten mit den **direkten** THG-Emissionsfaktoren liefert die aggregierten THG-Emissionen der Fernwärmebereitstellung. Dabei wird jeweils zwischen Fernwärme aus Heizwerken, Heizkraftwerken und der gesamten Fernwärme unterschieden.

Bei den Heizwerken ist diese Bilanzierung ohne weitere Annahmen möglich:

Tabelle 7 Direkte THG-Emissionsfaktoren für Heizwerke in 2000 und 2005

Daten für 2000	nur direkt aus Anlagen	
	CO ₂	CO ₂ -Äquiv.
Heizwerke, g/kWh _{input}	234,7	236,4
Heizwerke, g/kWh _{output}	268,2	270,1
Daten für 2005		
Heizwerke, g/kWh _{input}	232,4	234,0
Heizwerke, g/kWh _{output}	265,6	267,4

Quelle: eigene Berechnungen nach UBA (2007a) und AGFW (2006)

Die folgenden beiden Tabellen zeigen die entsprechenden THG-Emissionsfaktoren für Wärme aus Heizwerken, differenziert nach Brennstoffen für die Jahre 2000 und 2005.

Tabelle 8 Brennstoffdifferenzierte direkte und gesamte THG-Emissionsfaktoren für Heizwerke im Jahr 2000

Daten für 2000 in g/kWh _{input}	direkte Emissionen aus Anlagen		gesamte Emissionen, inkl. Vorketten	
	CO ₂	CO ₂ -Äquivalente	CO ₂	CO ₂ -Äquivalente
Steinkohle	337,3	337,3	356,6	389,6
Braunkohle	352,8	352,8	442,1	450,6
Heizöl	266,4	266,4	305,5	307,6
Erdgas	201,6	201,6	219,0	232,0
Müll	329,4	329,4	329,4	329,4

Quelle: eigene Berechnungen nach UBA (2007a) und GEMIS 4.4

Tabelle 9 Brennstoffdifferenzierte direkte und gesamte THG-Emissionsfaktoren für Heizwerke im Jahr 2005

Daten für 2005 in g/kWh _{input}	direkte Emissionen aus Anlagen		gesamte Emissionen, inkl. Vorketten	
	CO ₂	CO ₂ -Äquivalente	CO ₂	CO ₂ -Äquivalente
Steinkohle	338,4	343,4	359,3	389,4
Braunkohle	352,8	356,5	443,3	455,4
Heizöl	266,4	267,9	305,7	309,2
Erdgas	201,6	202,5	219,4	233,9
Müll	329,4	332,8	329,4	332,8

Quelle: eigene Berechnungen nach UBA (2007a) und GEMIS 4.5

Bei den Heizkraftwerken ist eine Zuordnung des Brennstoffeinsatzes und der daraus resultierenden THG-Emissionen auf die Produkte Strom und Wärme erforderlich, wie im Abschnitt 3 dargestellt.

Nach der „eta“- bzw. „THG“-Methode hängt die Zurechnung des Brennstoffeinsatzes vom gewählten **Referenz-System** ab, d.h. von der Kombination von Prozessen zur getrennten Erzeugung von Strom und Wärme (vgl. dazu näher 5.6).

Wird als Referenz-System mit dem Mix der Stromerzeugung in Deutschland sowie Wärme aus einem Gas-Heizwerk gerechnet, so zeigt die folgende Tabelle die Ergebnisse für die beiden Methoden.

Tabelle 10 Direkte THG-Emissionsfaktoren für KWK-Wärme in 2000 und 2005

	nur direkt aus Anlagen in g/kWh _{output}	
Jahr: 2000	CO ₂	CO ₂ -Äquiv.
Heizkraftwerke - eta	185,3	198,2
Heizkraftwerke - THG	175,7	172,7
Jahr: 2005	CO ₂	CO ₂ -Äquiv.
Heizwerke	265,6	267,4
Heizkraftwerke - eta	175,5	178,3
Heizkraftwerke - THG	158,8	167,8

Quelle: eigene Berechnungen; Angaben für Referenzsystem: Gas-Heizwerk + Strom-Mix

5.2 Gesamte THG-Emissionsfaktoren für Fernwärme in 2000 und 2005

Im letzten Schritt wurden die THG-Emissionsfaktoren von Heizwerken und Heizkraftwerken zum Erzeugungsmix für Fernwärme kombiniert und dabei auch die Verluste des Wärmenetzes mit einbezogen, wodurch die outputbezogenen Emissionen der Fernwärme ansteigen.

Dabei wurden auch die **gesamten** Emissionsfaktoren (direkt + Vorketten) ermittelt, in denen die gesamten Lebenswege enthalten sind.

Tabelle 11 THG-Emissionsfaktoren für Fernwärme im Jahr 2000

in g/kWh _{output}	nur direkt aus Anlagen		gesamt inkl. Vorketten	
	CO ₂	CO ₂ -Äquiv.	CO ₂	CO ₂ -Äquiv.
Heizwerke	268,2	270,1	291,1	308,6
Heizkraftwerke - eta	185,3	198,2	188,3	216,8
Heizkraftwerke - THG	175,7	172,7	185,1	218,9
mix HW/HKW - eta	199,4	210,5	205,8	232,4
mix HW/HKW - THG	191,4	189,3	203,1	234,1
Verluste Netz	13%	13%	13%	13%
Fernwärme - eta	225,3	237,8	232,5	262,6
Fernwärme - THG	216,3	213,9	229,5	264,6
Einsparung durch Fernwärme gegenüber Gas-Heizwerk	nur direkt aus Anlagen		gesamt inkl. Vorketten	
	CO ₂	CO ₂ -Äquiv.	CO ₂	CO ₂ -Äquiv.
Methode "eta"	11%	6%	19%	18%
Methode "THG"	14%	16%	20%	17%

Quelle: eigene Berechnungen; Angaben für Referenzsystem: Gas-Heizwerk + Strom-Mix

Tabelle 12 THG-Emissionsfaktoren für Fernwärme im Jahr 2005

in g/kWh _{output}	nur direkt aus Anlagen		gesamt inkl. Vorketten	
	CO ₂	CO ₂ -Äquiv.	CO ₂	CO ₂ -Äquiv.
Heizwerke	265,6	267,4	286,8	302,4
Heizkraftwerke - eta	175,5	178,3	188,3	201,2
Heizkraftwerke - THG	158,8	161,0	177,2	196,2
mix HW/HKW - eta	186,8	189,5	200,7	214,0
mix HW/HKW - THG	172,2	174,3	190,9	209,5
Verluste Netz	14%	14%	14%	14%
Fernwärme - eta	213,0	216,1	228,8	243,9
Fernwärme - THG	200,3	202,7	222,0	243,6
Einsparung durch Fernwärme aus HKW gegenüber HW	nur direkt aus Anlagen		gesamt inkl. Vorketten	
	CO ₂	CO ₂ -Äquiv.	CO ₂	CO ₂ -Äquiv.
Methode "eta"	34%	33%	34%	33%
Methode "THG"	40%	40%	38%	35%

Quelle: eigene Berechnungen; Angaben für Referenzsystem: Gas-Heizwerk + Strom-Mix

Die Einsparung an THG (in CO₂-Äquivalenten) durch Fernwärme aus Heizkraftwerken gegenüber Heizwerken lag im Jahr 2005, bezogen auf direkte Emissionen, zwischen 33 und 40%, bei Einrechnung der gesamten Vorketten bei 33-35%.

5.3 Gesamte THG-Emissionsfaktoren für Fernwärme von 2000 bis 2005

Um auch Werte für die THG-Emissionen von Fernwärme zwischen den Jahren 2000 und 2005 bereitzustellen, wurde in der folgenden Tabelle eine lineare Interpolation zwischen diesen Zeitpunkten durchgeführt. Zur Vereinfachung wurden dabei nur die **Gesamtemissionen** betrachtet.

Tabelle 13 THG-Emissionsfaktoren für Fernwärme von 2000 bis 2005

CO ₂ -Äquiv. In g/kWh _{output}	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Heizwerke	308,6	307,4	306,1	304,9	303,6	302,4
Heizkraftwerke - eta	216,8	213,7	210,6	207,5	204,4	201,2
Heizkraftwerke - THG	218,9	214,3	209,8	205,2	200,7	196,2
mix HW/HKW - eta	232,4	228,7	225,0	221,3	217,7	214,0
mix HW/HKW - THG	234,1	229,2	224,3	219,4	214,4	209,5
Verluste Netz	13,0%	13,2%	13,4%	13,6%	13,8%	14,0%
Fernwärme - eta	262,6	259,9	257,1	254,3	251,6	248,8
Fernwärme - THG	264,6	260,4	256,2	252,0	247,8	243,6

Angaben für Referenzsystem: Gas-Heizwerk + Strom-Mix; Werte inkl. Vorketten

5.4 THG-Emissionen der KWK-Strombereitstellung

Parallel zur Fernwärmebereitstellung bestimmt die jeweilige Allokationsmethode auch die THG-Bilanz für die **KWK-Stromerzeugung** (siehe folgende Tabelle).

Tabelle 14 THG-Emissionsfaktoren für KWK-Strom in 2000 und 2005

Werte für 2000	Emissionsfaktoren für KWK-Strom, in g/kWh _{el}			
	nur direkt aus Anlagen		gesamt (inkl. Vorketten)	
	CO ₂	CO ₂ -Äq.	CO ₂	CO ₂ -Äq.
Methode "eta"	417,1	446,2	423,9	488,1
Methode "THG"	438,6	470,3	431,3	483,5
Einsparung KWK vs. REF	25,2%	28,5%	20,8%	22,0%
Einsparung KWK vs. REF	21,3%	27,3%	16,6%	22,7%
Werte für 2005	CO ₂	CO ₂ -Äq.	CO ₂	CO ₂ -Äq.
Methode "eta"	377,2	383,3	404,7	432,5
Methode "THG"	415,9	423,6	430,5	444,3
Einsparung KWK vs. REF	35%	35%	35%	33%
Einsparung KWK vs. REF	29%	28%	31%	31%

5.5 Gesamte THG-Emissionsfaktoren für KWK-Strom von 2000 bis 2005

Um auch Werte für die THG-Emissionen von KWK-Strom zwischen den Jahren 2000 und 2005 bereitzustellen, wurde in der folgenden Tabelle eine lineare Interpolation zwischen diesen Zeitpunkten durchgeführt. Zur Vereinfachung wurden dabei nur die Gesamtemissionen betrachtet.

Tabelle 15 THG-Emissionsfaktoren für KWK-Strom von 2000 bis 2005

CO ₂ -Äquiv. In g/kWh _{output}	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Heizkraftwerke - eta	488,1	477,0	465,8	454,7	443,6	432,5
Heizkraftwerke - THG	483,5	475,7	467,8	460,0	452,2	444,3

Angaben für Referenzsystem: Gas-Heizwerk + Strom-Mix

5.6 Variation der Referenzsysteme für die Allokation

Da sowohl die THG-Emissionen von KWK-Wärme und KWK-Strom bei Allokation vom gewählten Referenz-System abhängen, wurde dazu eine Variation durchgeführt.

Tabelle 16 THG-Emissionsfaktoren für KWK-Wärme im Jahr 2005 bei Variation von Allokationsmethode und Referenzsystem-Kombination

Emissionsfaktoren KWK-Wärme im Jahr 2005 in g/kWhth bei REF-Systemkombination	eta = Allokationsmethode über Wirkungsgrad-Verhältnis			
	nur direkt aus Anlagen		gesamt inkl. Vorketten	
	CO ₂	CO ₂ -Äquiv.	CO ₂	CO ₂ -Äquiv.
Gas-Heizwerk+Strom-Mix-DE	175,5	178,3	188,3	201,2
Gas-Heizwerk+Gas-GuD-KW	198,5	201,7	212,8	227,4
Gas-Heizwerk+Strom-Mix fossil	170,2	173,0	182,7	195,2
Gas-Heizwerk+Kohle-KW	166,1	168,8	178,3	190,6
Gas-Heizwerk+KW-Mix Kohle/Gas-GuD	183,9	186,9	197,3	210,8
Gas-Brennwert+Strom-Mix-DE	166,6	169,3	178,7	191,1
Gas-Brennwert+Gas-GuD-KW	189,6	192,7	203,4	217,3
Gas-Brennwert+Strom-Mix fossil	161,3	164,0	173,1	185,1
Gas-Brennwert+Kohle-KW	157,3	159,8	168,8	180,5
Gas-Brennwert+KW-Mix Kohle/Gas-GuD	175,0	177,8	187,7	200,7
Öl-Heizung+Strom-Mix-DE	180,3	183,3	193,5	206,8
Öl-Heizung+Gas-GuD-KW	203,2	206,5	217,9	232,8
Öl-Heizung+Strom-Mix fossil	175,1	177,9	187,8	200,8
Öl-Heizung+Kohle-KW	171,0	173,8	183,5	196,1
Öl-Heizung+KW-Mix Kohle/Gas-GuD	188,7	191,8	202,4	216,3
Emissionsfaktoren KWK-Wärme im Jahr 2005 in g/kWhth bei REF-Systemkombination	THG = Allokationsmethode "eta" + Treibhausgas-Relation			
	nur direkt aus Anlagen		gesamt inkl. Vorketten	
	CO ₂	CO ₂ -Äquiv.	CO ₂	CO ₂ -Äquiv.
Gas-Heizwerk+Strom-Mix-DE	158,8	167,8	170,0	196,2
Gas-Heizwerk+Gas-GuD-KW	198,5	205,7	212,8	235,8
Gas-Heizwerk+Strom-Mix fossil	122,8	131,1	131,5	154,6
Gas-Heizwerk+Kohle-KW	123,5	126,6	132,0	147,4
Gas-Heizwerk+KW-Mix Kohle/Gas-GuD	152,0	156,5	162,7	181,1
Gas-Brennwert+Strom-Mix-DE	150,0	157,4	160,2	184,2
Gas-Brennwert+Gas-GuD-KW	189,6	195,3	203,0	224,1
Gas-Brennwert+Strom-Mix fossil	114,8	121,5	122,6	143,3
Gas-Brennwert+Kohle-KW	115,4	117,1	123,0	136,3
Gas-Brennwert+KW-Mix Kohle/Gas-GuD	143,3	146,2	153,0	169,3
Öl-Heizung+Strom-Mix-DE	187,9	199,6	200,7	222,4
Öl-Heizung+Gas-GuD-KW	226,3	235,8	242,3	260,7
Öl-Heizung+Strom-Mix fossil	150,6	162,0	160,9	180,3
Öl-Heizung+Kohle-KW	151,3	157,2	161,3	172,7
Öl-Heizung+KW-Mix Kohle/Gas-GuD	181,0	188,3	193,4	207,4

Quelle: eigene Berechnungen mit GEMIS 4.5

Tabelle 17 THG-Emissionsfaktoren für KWK-Strom im Jahr 2005 bei Variation von Allokationsmethode und Referenzsystem-Kombination

Emissionsfaktoren KWK-Strom im Jahr 2005 in g/kWh-el bei REF-Systemkombination	eta = Allokationsmethode über Wirkungsgrad-Verhältnis			
	nur direkt aus Anlagen		gesamt inkl. Vorketten	
	CO ₂	CO ₂ -Äquiv.	CO ₂	CO ₂ -Äquiv.
Gas-Heizwerk+Strom-Mix-DE	377,2	383,3	404,7	432,5
Gas-Heizwerk+Gas-GuD-KW	324,7	330,0	348,3	372,1
Gas-Heizwerk+Strom-Mix fossil	389,3	395,6	417,7	446,5
Gas-Heizwerk+Kohle-KW	398,8	405,2	427,9	457,4
Gas-Heizwerk+KW-Mix Kohle/Gas-GuD	357,9	363,7	383,9	410,2
Gas-Brennwert+Strom-Mix-DE	397,8	404,2	426,8	456,3
Gas-Brennwert+Gas-GuD-KW	344,8	350,4	369,8	395,2
Gas-Brennwert+Strom-Mix fossil	409,9	416,6	439,9	470,3
Gas-Brennwert+Kohle-KW	419,4	426,2	450,1	481,2
Gas-Brennwert+KW-Mix Kohle/Gas-GuD	378,3	384,5	405,9	433,8
Öl-Heizung+Strom-Mix-DE	366,0	372,0	392,7	419,6
Öl-Heizung+Gas-GuD-KW	314,0	319,1	336,8	359,7
Öl-Heizung+Strom-Mix fossil	378,1	384,3	405,7	433,6
Öl-Heizung+Kohle-KW	387,6	393,8	415,9	444,5
Öl-Heizung+KW-Mix Kohle/Gas-GuD	346,8	352,5	372,0	397,5
Emissionsfaktoren KWK-Strom im Jahr 2005 in g/kWh-el bei REF-Systemkombination	THG = Allokationsmethode "eta" + Treibhausgas-Relation			
	nur direkt aus Anlagen		gesamt inkl. Vorketten	
	CO ₂	CO ₂ -Äquiv.	CO ₂	CO ₂ -Äquiv.
Gas-Heizwerk+Strom-Mix-DE	415,9	407,7	447,3	444,3
Gas-Heizwerk+Gas-GuD-KW	324,7	321,0	348,3	352,8
Gas-Heizwerk+Strom-Mix fossil	500,8	494,0	538,7	542,8
Gas-Heizwerk+Kohle-KW	499,3	504,7	537,6	560,2
Gas-Heizwerk+KW-Mix Kohle/Gas-GuD	431,7	434,0	464,5	479,7
Gas-Brennwert+Strom-Mix-DE	436,5	432,0	470,4	472,5
Gas-Brennwert+Gas-GuD-KW	344,8	344,4	370,8	379,6
Gas-Brennwert+Strom-Mix fossil	520,1	517,0	560,2	569,9
Gas-Brennwert+Kohle-KW	518,6	527,4	559,2	586,8
Gas-Brennwert+KW-Mix Kohle/Gas-GuD	452,2	458,1	487,5	507,7
Öl-Heizung+Strom-Mix-DE	348,7	334,7	375,9	383,5
Öl-Heizung+Gas-GuD-KW	262,5	253,9	282,2	296,8
Öl-Heizung+Strom-Mix fossil	435,1	421,1	468,8	481,7
Öl-Heizung+Kohle-KW	433,5	432,3	467,7	499,6
Öl-Heizung+KW-Mix Kohle/Gas-GuD	364,4	360,3	392,9	418,1

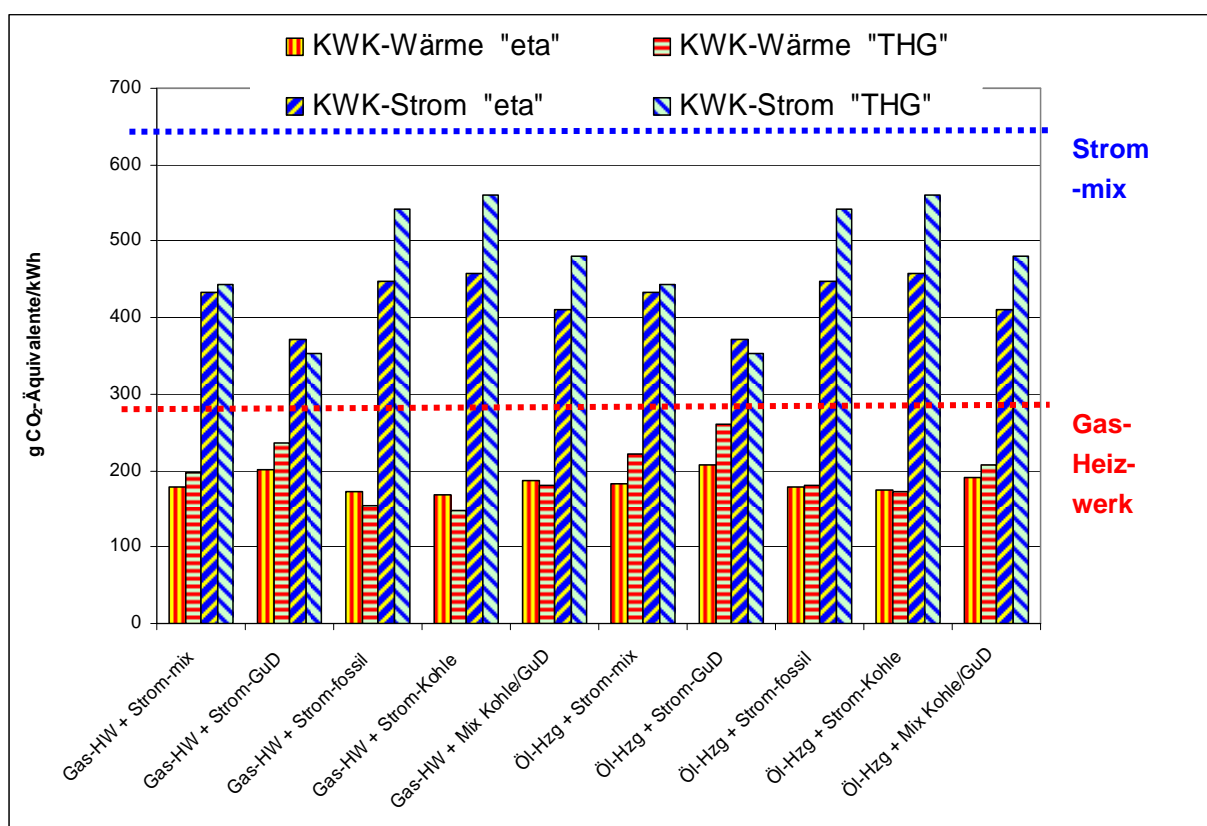
Quelle: eigene Berechnungen mit GEMIS 4.5

Das Ergebnis der Analyse zeigt, dass KWK-Wärme und KWK-Strom bei fast allen Annahmen geringere THG-Emissionen aufweisen als das jeweilige Referenzsystem.

Weiterhin sind die Ergebnisse für die Allokationsmethoden „eta“ und „THG“ weitestgehend gleich, nennenswerte Unterschiede ergeben sich nur, falls eine Öl-Heizung als wärmeseitiges Referenzsystem in Kombination mit Erdgas-GuD-Kraftwerk als stromseitiges Referenzsystem betrachtet werden..

Die hier angenommene Allokationslogik ist somit **robust** gegenüber der Variation von Referenzsystemwahl **und** Methodenwahl. Dies zeigt die folgende Grafik im Überblick.

Bild 2 Effekte der Allokationsmethoden „eta“ und „THG“ sowie der Wahl verschiedener Referenzsysteme auf die THG-Emissionen von KWK-Wärme und KWK- Strom



Quelle: eigene Berechnungen mit GEMIS 4.5

Zum Vergleich der THG-Emissionen von KWK-Wärme und KWK-Strom zeigen die **blau gepunktete Linie** die gesamten THG-Emissionen des deutschen **Strommixes** im Jahr 2005 und die **rot gepunktete Linie** die THG-Emissionen von **Wärme** aus einem Gas-Heizwerk, jeweils bezogen auf die Gesamtemissionen (inkl. Vorketten).

5.7 Vergleich der Allokationsmethodiken mit der Gutschriften-Methode für Fernwärme und KWK-Wärme in den Jahren 2000 und 2005

Über diese Analyse hinaus wurden die Ergebnisse auch denen nach der Gutschriften-Methode gegenübergestellt. Hierzu wurde die deutsche Fernwärmebereitstellung in den Jahren 2000 und 2005 jeweils mit einer Gutschrift für den in KWK erzeugten Strom bilanziert, wobei die Gutschrift auf Basis des Strommixes im Jahr 2000 bzw. 2005 erfolgte.

Das Resultat zeigt die folgende Tabelle im Vergleich zu den Ergebnissen, die mittels Allokation für die Fernwärme ermittelt wurden. Vereinfachend wurde diese Bilanzierung nur für die Gesamtemissionen (inkl. Vorketten) durchgeführt.

Tabelle 18 Gesamte THG-Emissionsfaktoren für KWK-Wärme nach der Gutschriften- sowie den Allokations-Methoden in 2000 und 2005

Gesamte THG-Emissionen (inkl. Vorketten), CO ₂ -Äquivalente in g/kWh _{th}	2000	2005
Heizkraftwerke – Gutschrift	230,7	191,6
Heizkraftwerke – eta	216,8	201,2
Heizkraftwerke – THG	218,9	196,2
mix HW/HKW – Gutschrift	243,3	202,0
mix HW/HKW – eta	232,4	214,0
mix HW/HKW – THG	234,1	209,5
Fernwärme – Gutschrift	277,9	234,7
Fernwärme – eta	262,6	248,8
Fernwärme – THG	264,6	243,6

Quelle: Eigene Berechnungen mit GEMIS 4.5; Angaben bei „eta“ und „THG“ für Referenzsystem: Gas-Heizwerk + Strom-Mix; bei Gutschriften-Methode Strom-Mix

Die Gutschriftenmethode führt bei der KWK- und Fernwärme gegenüber den Allokationsmethoden zu etwas höheren THG-Gesamtemissionen.

Insgesamt zeigt sich aber, dass die verschiedenen Ansätze für die betrachteten Jahre **vergleichbare Resultate** ergeben.

6 THG-Emissionsfaktoren für einzelne KWK-Systeme

Neben bislang betrachteten Bilanzen für die aggregierte Erzeugung von KWK-Wärme bzw. KWK-Strom aus dem Mix der HKW in den jeweiligen Bezugsjahren wurden auf Basis der Daten für das Jahr 2005 auch eine Analyse für ausgewählte **einzelne KWK-Anlagen** nach Brennstoffen bzw. KWK-Technologien durchgeführt.

Wie zuvor wurde dabei zwischen den beiden Allokationsansätzen „eta“ und „THG“ unterschieden und als Referenzsysteme ein Gas-Heizwerk sowie der Strommix angenommen. Die Ergebnisse für KWK-Wärme und KWK-Strom zeigen die folgenden Tabellen.

Tabelle 19 Differenzierte THG-Emissionsfaktoren für KWK-Wärme aus verschiedenen Anlagen im Jahr 2005

KWK-System	Emissionsfaktoren für KWK-Wärme, in g/kWh _{th}			
	nur direkt aus Anlagen		gesamt inkl. Vorketten	
	CO ₂	CO ₂ -Äquiv.	CO ₂	CO ₂ -Äquiv.
Gas-BHKW	167,2	168,9	182,6	195,6
Gas-BHKW	148,9	150,0	170,1	189,8
Steinkohle-HKW-DT-EK	206,4	209,8	220,5	239,0
Steinkohle-HKW-DT-EK	188,6	191,2	208,7	233,5
Heizöl-HKW-DT-EK	149,5	150,3	172,2	174,2
Heizöl-HKW-DT-EK	136,6	137,0	163,0	170,2
Erdgas-HKW-DT-EK	112,2	114,6	122,9	133,0
Erdgas-HKW-DT-EK	102,5	104,5	116,4	129,9
Müll-HKW-DT-EK	146,9	150,5	184,0	188,6
Müll-HKW-DT-EK	134,4	137,4	174,3	184,3
Erdgas-HKW-GT	185,4	188,5	192,0	197,6
Erdgas-HKW-GT	165,3	167,6	179,0	191,8
Erdgas-HKW-GuD	141,6	143,7	146,8	150,8
Erdgas-HKW-GuD	123,2	124,6	134,8	145,5
Biogas-Gülle-Einspeisung-BHKW	0,0	1,6	61,8	75,0
Biogas-Gülle-Einspeisung-BHKW	0,0	1,4	57,1	72,6
Biogas-NaWaRo-BHKW	0,0	1,6	41,5	73,2
Biogas-NaWaRo-BHKW	0,0	1,4	38,5	70,9
Holz-HS-Wald-HKW	0,0	48,1	7,6	56,1
Holz-HS-Wald-HKW	0,0	43,0	7,1	54,5
Holz-HS-KUP-HKW	0,0	48,0	12,8	68,2
Holz-HS-KUP-HKW	0,0	43,0	12,0	66,3

Angaben für Referenzsystem: Gas-Heizwerk + Strom-Mix

Allokationsmethode „eta“
Allokationsmethode „THG“

Tabelle 20 Differenzierte THG-Emissionsfaktoren für KWK-Strom aus verschiedenen Anlagen im Jahr 2005

KWK-System	Emissionsfaktoren für KWK-Strom, in g/kWh _{el}			
	nur direkt aus Anlagen		gesamt inkl. Vorketten	
	CO ₂	CO ₂ -Äquiv.	CO ₂	CO ₂ -Äquiv.
Gas-BHKW	359,4	362,9	392,4	420,3
Gas-BHKW	390,1	394,7	413,4	429,9
Steinkohle-HKW-DT-EK	443,7	450,8	473,8	513,6
Steinkohle-HKW-DT-EK	494,0	503,3	507,2	529,0
Heizöl-HKW-DT-EK	321,4	323,1	370,1	374,3
Heizöl-HKW-DT-EK	357,8	360,6	396,1	385,5
Erdgas-HKW-DT-EK	241,1	246,3	264,2	285,8
Erdgas-HKW-DT-EK	268,5	274,9	282,8	294,3
Müll-HKW-DT-EK	315,7	323,4	395,4	405,3
Müll-HKW-DT-EK	352,0	361,5	423,5	417,6
Erdgas-HKW-GT	398,5	405,1	412,6	424,7
Erdgas-HKW-GT	433,0	441,1	435,0	434,6
Erdgas-HKW-GuD	304,3	308,9	315,4	324,1
Erdgas-HKW-GuD	322,7	328,0	327,5	329,5
Biogas-Gülle-Einspeisung-BHKW	0,0	3,4	132,8	161,3
Biogas-Gülle-Einspeisung-BHKW	0,0	3,7	138,8	164,5
Biogas-NaWaRo-BHKW	0,0	3,4	89,1	157,3
Biogas-NaWaRo-BHKW	0,0	3,7	93,5	160,6
Holz-HS-Wald-HKW	0,0	103,3	16,3	120,5
Holz-HS-Wald-HKW	0,0	113,3	17,3	123,5
Holz-HS-KUP-HKW	0,0	103,2	27,6	146,5
Holz-HS-KUP-HKW	0,0	113,2	29,2	150,3

Angaben für Referenzsystem: Gas-Heizwerk + Strom-Mix

Allokationsmethode „eta“
Allokationsmethode „THG“

Die beiden vorstehenden Tabellen können zur Übersicht auch zusammengefasst werden, wenn nur die gesamten CO₂-Äquivalente (inkl. Vorketten) betrachtet werden.

Dies zeigt die folgende Tabelle, wiederum differenziert nach den Allokationsmethoden.

Tabelle 21 THG-Emissionsfaktoren für KWK-Strom aus verschiedenen Anlagen im Jahr 2005

KWK-System	CO ₂ -Äquivalente in g/kWh _{output}			
	KWK-Wärme		KWK-Strom	
	"eta"	"THG"	"eta"	"THG"
Gas-BHKW	195,6	189,8	420,3	429,9
Kohle-HKW-EK	239,0	233,5	513,6	529,0
Öl-HKW-EK	174,2	170,2	374,3	385,5
Gas-HKW-EK	133,0	129,9	285,8	294,3
Müll-HKW-EK	188,6	184,3	405,3	417,6
Gas-GT-HKW	197,6	191,8	424,7	434,6
Gas-GuD-HKW	150,8	145,5	324,1	329,5
Biogas-Gülle-Einspeisung-BHKW	75,0	72,6	161,3	164,5
Biogas-NaWaRo-BHKW	73,2	70,9	157,3	160,6
Holz-HS-Wald-HKW	56,1	54,5	120,5	123,5
Holz-HS-KUP-HKW	68,2	66,3	146,5	150,3
zum Vergleich Referenzsysteme (Gas-Heizwerk für Wärme, Bundesmix für Strom)	284,7		644,9	

Angaben für Referenzsystem: Gas-Heizwerk + Strom-Mix

Werden die durch KWK-Anlagen gegenüber den Referenzsystemen für Strom und Wärme eingesparten THG-Emissionen als relative Größen bestimmt, zeigt sich die „Wirksamkeit“, mit der KWK-Systeme zum Klimaschutz beitragen (vgl. folgende Tabelle).

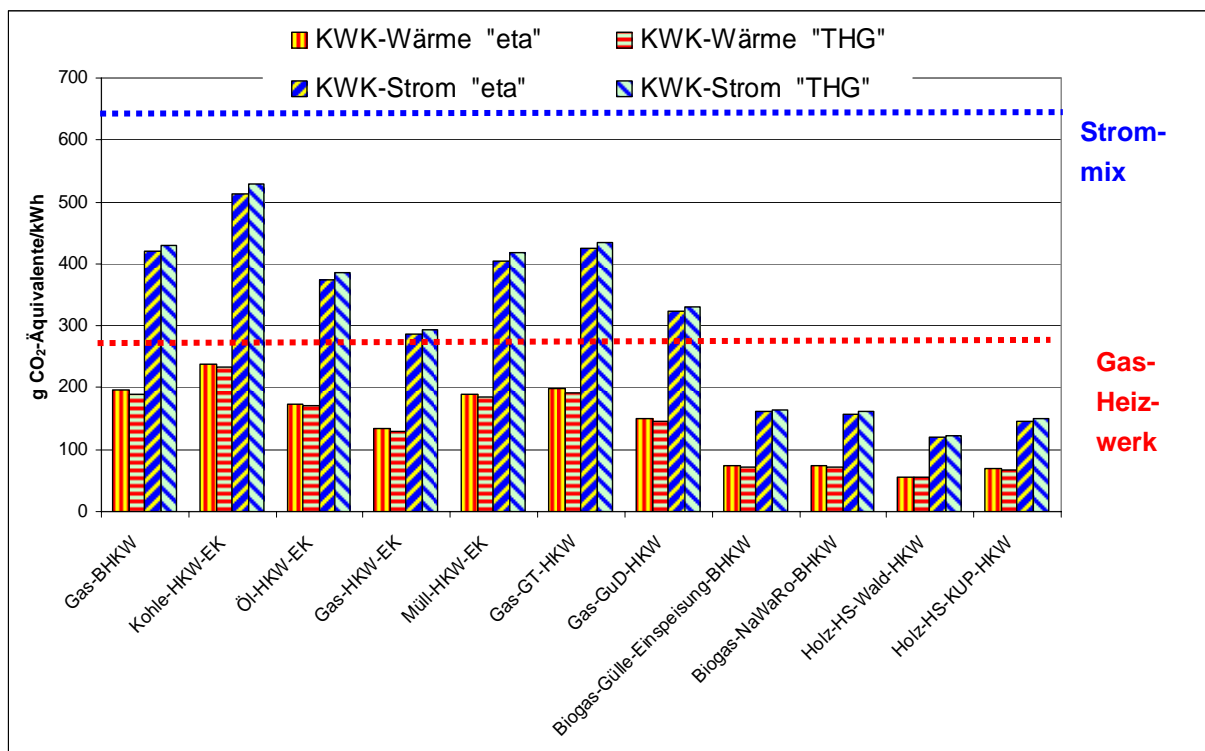
Tabelle 22 Relative THG-Einsparung durch KWK-Wärme und KWK-Strom aus verschiedenen Anlagen im Jahr 2005

KWK-System	relative Einsparung gegenüber Referenzsystem			
	KWK-Wärme		KWK-Strom	
	"eta"	"THG"	"eta"	"THG"
Gas-BHKW	31%	33%	35%	33%
Kohle-HKW-EK	16%	18%	20%	18%
Öl-HKW-EK	39%	40%	42%	40%
Gas-HKW-EK	53%	54%	56%	54%
Müll-HKW-EK	34%	35%	37%	35%
Gas-GT-HKW	31%	33%	34%	33%
Gas-GuD-HKW	47%	49%	50%	49%
Biogas-Gülle-Einspeisung-BHKW	74%	74%	75%	74%
Biogas-NaWaRo-BHKW	74%	75%	76%	75%
Holz-HS-Wald-HKW	80%	81%	81%	81%
Holz-HS-KUP-HKW	76%	77%	77%	77%

Angaben für Referenzsystem: Gas-Heizwerk + Strom-Mix

In grafischer Form gibt das folgende Bild diesen Vergleich wieder.

Bild 3 THG-Emissionen von KWK-Wärme und KWK- Strom für ausgewählte KWK-Anlagen nach den beiden Allokationsmethoden im Jahr 2005



Angaben für Referenzsystem: Gas-Heizwerk + Strom-Mix

Zum Vergleich der THG-Emissionen von KWK-Wärme und KWK-Strom zeigen die **blau gepunktete Linie** die gesamten THG-Emissionen des deutschen **Strommixes** im Jahr 2005 und die **rot gepunktete Linie** die THG-Emissionen von **Wärme** aus einem Gas-Heizwerk, jeweils bezogen auf die Gesamtemissionen (inkl. Vorketten).

In dieser Gegenüberstellung wird nochmals deutlich, dass KWK-Systeme sowohl auf der „Stromseite“ wie auch bei der Wärme gegenüber den Referenzsystemen sehr günstig in Bezug auf die gesamten THG-Emissionen liegen.

Dies gilt insbesondere für die Systeme mit Biomasse, die 74 bis 81% Reduktion sowohl beim Strom wie auch bei der Wärme erlauben.

Die Gegenüberstellung zeigt weiter, dass die Unterschiede zwischen den beiden Allokationsmethoden bei gegebenem Referenzsystem vernachlässigbar sind.

7 Schlussfolgerungen

Als Ergebnis der durchgeführten methodischen Überlegungen, Modellrechnungen und Vergleichsanalysen ergibt sich, dass die dargestellten Allokationsmethoden belastbare Ergebnisse nicht nur für die Treibhausgasemissionen aus der **durchschnittlichen** Bereitstellung von Fernwärme sowie KWK-Wärme und KWK-Strom erlauben, sondern auch technologiescharfe Ergebnisse für **einzelne** KWK-Systeme.

Die Allokationsmethoden sind zudem in den Ergebnissen **robust** gegenüber Variationen der Referenzsystem-Kombination für Strom und Wärme.

Der Vergleich mit den Ergebnissen der „Netto“-Bilanzierung für Fernwärme aus HKW, die mit der Gutschriften-Methode auf Basis des Strom-Mix erfolgt, ergab ebenfalls eine gute Übereinstimmung der Resultate für die Bezugsjahre.

Um mit möglichst einfachen, nachvollziehbaren und fortschreibbaren Daten die Allokation zwischen KWK-Wärme und KWK-Strom durchführen zu können wird **empfohlen**, die „**eta**“-**Methode** zu verwenden, die einer heizwertbezogenen Allokation bei KWK-Anlagen entspricht und international anschlussfähig ist. Zudem steht sie im Einklang mit den methodischen Festlegungen in der Nachhaltigkeitsverordnung zum Biokraftstoff-Quoten-Gesetz.

Schließlich wird die Ergänzung der Analyse für weitere KWK-Systeme, die künftig Bedeutung erlangen können, empfohlen – dies sind insbesondere ORC-Systeme mit Geothermie und Brennstoffzellen für Biomethan.

Weiterhin wäre der Einfluss der Anlagengröße von KWK-Systemen und die Effekte der Wärmeverteilung (Nah/Fernwärmenetze) mit darzustellen.

Mit den im Rahmen dieser Studie bereitgestellten EDV-Werkzeugen ist diese weitergehende Differenzierung leicht möglich.

Schließlich sollten die Ergebnisse der vorliegenden Studie breit kommuniziert werden, um die bestehenden Unsicherheiten über die THG-Relevanz von KWK-Wärme und Strom durch realistische Darstellungen abzubauen und die positiven Klimawirkungen herauszustellen.

Literatur

- AGEB (Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V.) o.J.: Vorwort zu den Energiebilanzen für die Bundesrepublik Deutschland; Frankfurt www.ag-energiebilanzen.de
- AGEB (Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V.) 2006: Energiebilanzen der Bundesrepublik Deutschland für das Jahr 2005; Frankfurt www.ag-energiebilanzen.de
- AGFW (Arbeitsgemeinschaft für Wärme und Heizkraftwirtschaft e.V.) 2006: Hauptbericht der Fernwärmeversorgung 2005; Frankfurt www.agfw.de
- DIW (Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung)/ÖKO (Öko-Institut – Institut für angewandte Ökologie e.V.)/VIK (Verband der Industriellen Energie- und Kraftwirtschaft e.V.) 2007: Ermittlung der Potenziale für die Anwendung der Kraft-Wärme-Kopplung und der erzielbaren Minderung der CO₂-Emissionen einschließlich Bewertung der Kosten (Verstärkte Nutzung der Kraft-Wärme-Kopplung); Forschungsbericht 202 41 182 i.A. des UBA; Climate Change 10/07; Dessau
www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3291.pdf
- EnStatG (Energiestatistikgesetz) 2003: Gesetz über Energiestatistik vom 26. Juli 2002 (BGBl. I S. 2867), geändert durch Artikel 107 der Verordnung vom 25. November 2003 (BGBl. I S. 2304)
- EU (Kommission der Europäischen Union) 2007: Entscheidung der Kommission vom 21. Dezember 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 L 32 vom 6.2.2007, S. 183 f
- EU (Parlament und Rat der Europäischen Union) 2004: Richtlinie 2004/8/EG des Europäischen Parlaments und des Rates über die Förderung einer am Nutzwärmebedarf orientierten Kraft-Wärme-Kopplung im Energiebinnenmarkt und zur Änderung der Richtlinie 92/42/EWG; Amtsblatt L 52 vom 21.2.2004, S. 50 f
- ÖKO (Öko-Institut – Institut für angewandte Ökologie e.V.) 2003: Energiebilanzen und Treibhausgas-Emissionen für fossile Brennstoffketten und Stromerzeugungsprozesse in Deutschland für die Jahre 2000 und 2020; Bericht für den Rat für Nachhaltige Entwicklung; Darmstadt
www.nachhaltigkeitsrat.de/service/download/pdf/Energiebilanzen_fossil_und_Strom_08-03.pdf
- ÖKO (Öko-Institut – Institut für angewandte Ökologie e.V.) 2006: Stand und Entwicklung von Treibhausgasemissionen in den Vorketten für Erdöl und Erdgas; U. Fritsche/L. Rausch/K. Schmidt; Endbericht i.A. des IWO e.V., Darmstadt
www.oeko.de/service/gemis/files/present/2006vorketten_iwo.pdf
- ÖKO (Öko-Institut – Institut für angewandte Ökologie e.V.) 2007a: Endenergiebezogene Gesamtemissionen für Treibhausgase aus fossilen Energieträgern unter Einbeziehung der Bereitstellungsvorketten; Kurzbericht i.A. des BGW; Darmstadt

- ÖKO (Öko-Institut – Institut für angewandte Ökologie e.V.) 2007b: Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme (GEMIS) Version 4.4; Internet-release auf www.gemis.de (August)
- ÖKO (Öko-Institut – Institut für angewandte Ökologie e.V.) 2008 Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme (GEMIS) Version 4.5 Internet-release auf www.gemis.de (April)
- ÖKO (Öko-Institut – Institut für angewandte Ökologie e.V.)/DIW (Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung) 2007: Dokumentation der Datenqualität von Aktivitätsdaten für die Berichte über Emissionen aus stationären Feuerungen im Rahmen des Nationalen Inventarberichtes und des Monitoring Mechanismus nach RL EG 99/296; Endbericht zum F&E-Vorhaben FKZ 204 41 132 i.A. des UBA; Berlin
- UBA (Umweltbundesamt) 2007a: ZSE – Datenbank (Stand April 2007); Dessau
- UBA (Umweltbundesamt) 2007b: Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen 2007 - Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990 - 2005; Dessau
- VIK (Verband der Industriellen Energie- und Kraftwirtschaft e.V.) 2006: CO₂ Kennzeichnung von Strom aus KWK-Anlagen Brennstoffzuordnung auf elektrische- und thermische Energie (Entwurf); Essen
www.vik.de/fileadmin/vik/Sonst_info/Brennstoffzuordnung_KWK.pdf

Abkürzungsverzeichnis

AGEB	Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V. www.ag-energiebilanzen.de
AGFW	Arbeitsgemeinschaft für Wärme und Heizkraftwirtschaft e.V. www.agfw.de
BHKW	Blockheizkraftwerk
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit www.bmu.de
DE	Länderkürzel für Deutschland
DIW	Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung, Berlin
DM	Dampfmotor
DT	Dampfturbine
EEA	European Environment Agency www.eea.europa.eu
EK	Entnahme-Kondensations-Turbine (im Heizkraftwerk)
el	elektrisch
eta	Wirkungs- bzw. Nutzungsgrad
EU	Länderkürzel für die Europäische Union
GD	Gegendruck-Turbine (im Heizkraftwerk)
GEMIS	<u>G</u> lobales <u>E</u> missions- <u>M</u> odell <u>I</u> ntegrierter <u>S</u> ysteme www.gemis.de
GHD	Gewerbe, Handel, Dienstleistungen
GM	Gasmotor
GT	Gasturbine
GuD	Gas- und Dampfturbine (Kombi-Kraftwerk)
HH	hier: Haushalte
HW	Heizwerk
IEA	International Energy Agency www.iea.org
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change www.ipccc.ch
KEA	kumulierter Energie-Aufwand
KW	Kraftwerk
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
MW	MegaWatt

NIR	National Inventory Report
ORC	organic rankine cycle
th	thermisch
THG	Treibhausgase
TJ	TeraJoule (10^{12} Joule)
UBA	Umweltbundesamt www.umweltbundesamt.de
ZSE	Zentrales System Emissionen (interne Datenbank des UBA)