

**Dr. Felix Christian Matthes
Dr. Hans-Joachim Ziesing**

Wirtschaftlichkeit von Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen

Studie für den
Verband kommunaler Unternehmen e.V.
(VKU)

**Band 1:
Der KWK-Wirtschaftlichkeitsindikator
COGIX – Methodenband**

Berlin, Januar 2011

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	- 4 -
1 Vorbemerkungen und Zielsetzungen.....	- 5 -
2 Anforderungen und methodisches Grundkonzept für den KWK- Wirtschaftlichkeitsindikator COGIX.....	- 6 -
2.1 Anforderungen an den KWK-Wirtschaftlichkeitsindikator COGIX	- 6 -
2.2 Methodisches Grundkonzept des KWK- Wirtschaftlichkeitsindikators COGIX.....	- 7 -
3 Parametrisierung.....	- 10 -
3.1 Überblick.....	- 10 -
3.2 Anlagenparameter für die COGIX-Ermittlung	- 10 -
3.3 Preisentwicklungen für Brennstoffe, Strom und CO ₂ - Emissionsberechtigungen.....	- 11 -
4 Ergebniseinordnung und -interpretation.....	- 19 -
5 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen.....	- 23 -
6 Referenzen.....	- 25 -
6.1 Literatur.....	- 25 -
6.2 Datenbasen	- 25 -

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Entwicklung der Preise für Spot- und Terminkontrakte an der Strombörse, 2002-2010	- 11 -
Abbildung 2	Monatliche Entwicklung der Preise für Erdgas an verschiedenen Großhandelsplätzen bzw. Berichtspunkten, 2000-2010	- 13 -
Abbildung 3	Monatliche Entwicklung der Verbraucherpreisindizes für Fernwärme, leichtes Heizöl und Erdgas, 2000-2010	- 15 -
Abbildung 4	Halbjährliche Entwicklung der Großhandels- und Endverbrauchspreise für Erdgas sowie des Ansatzes für die anlegbaren Wärmeerlöse von KWK-Anlagen, 2000-2010.....	- 16 -
Abbildung 5	Entwicklung der Preise für CO ₂ -Emissionsberechtigungen, 2003-2010	- 17 -
Abbildung 6	Monatliche Entwicklung des KWK-Wirtschaftlichkeitsindikators COGIX für eine Stromkennzahl von 1,0, 2003-2010	- 19 -
Abbildung 7	Monatliche Entwicklung des KWK-Wirtschaftlichkeitsindikators COGIX für eine Stromkennzahl von 0,5, 2003-2010	- 20 -
Abbildung 8	Monatliche Entwicklung des KWK-Wirtschaftlichkeitsindikators COGIX und dessen Einordnung, 2003-2010.....	- 21 -
Abbildung 9	Vergleich des Barwerts der sonstigen Betriebskosten von KWK-Anlagen mit dem Barwert verschiedener Fördermaßnahmen.....	- 22 -

1 Vorbemerkungen und Zielsetzungen

Die Stärkung und der Ausbau der gekoppelten Erzeugung von Strom und Wärme bilden traditionell einen wichtigen Pfeiler von Klima- und Ressourcenschonungspolitik. Mit dem Einsatz der Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) können – bei realistischen Annahmen – im Vergleich zur ungekoppelten Erzeugung von Strom und Wärme (bzw. auch Kälte) Energieeinsparungen und auch Minderungen von Treibhausgasemissionen in erheblichem Umfang erzielt werden. Mit dem Integrierten Energie- und Klimaschutzprogramm der Bundesregierung (BReg 2007) ist 2007 so das Ziel gesetzt worden, den Anteil des in KWK erzeugten Stroms auf 25% des gesamten Stromaufkommens zu erhöhen.

Die Diskussion um die KWK steht jedoch vor allem mit Blick auf die ökonomische Darstellbarkeit vor einer komplexen Situation:

- Der Oberbegriff KWK umfasst eine Vielzahl von Anlagenkonfigurationen, ganz unterschiedliche Leistungsklassen und eine große Bandbreite von Anwendungsfällen. Aussagen über „die“ KWK, gerade in Bezug auf wirtschaftliche Fragen lassen sich damit nicht oder nur mit sehr umfangreichen Analysen ableiten.
- Der Vorteil der KWK, die Erzeugung eines Koppelproduktes, beschreibt gleichzeitig auch eine wesentliche Herausforderung für die KWK: KWK-Anlagen sind in der Produktion letztlich parallel auf vier Märkten tätig: auf den Brennstoff- und CO₂-Märkten als Nachfrager und den Strom- und Wärmemärkten als Anbieter. Die Komplexität und die Risikostruktur der KWK erhöhen sich damit.

Diese Komplexität hat sich im Diskurs um die Notwendigkeit bzw. die Ausgestaltung von Fördersystemen für die KWK stets als Problem erwiesen. Einerseits wurde oft, je nach Ausgangs- und Interessenlage, der Fokus auf Einzelaspekte der wirtschaftlichen Bewertung von KWK-Anlagen gelegt, die ganzheitliche Bewertung der KWK-Wirtschaftlichkeit aber ausgeblendet. Wegen dieser Notwendigkeit einer ganzheitlichen Bewertung konnte diese andererseits immer nur im Rahmen komplexer Berechnungen erfolgen und diese waren gerade für den energie- und klimapolitischen Diskurs wegen dieser Komplexität nur begrenzt geeignet.

Vor diesem Hintergrund erschien es sinnvoll, einen aussagekräftigen und in vergleichsweise kurzfristiger Frequenz fortschreibbaren Indikator für die wirtschaftliche Situation der KWK in ihren verschiedenen Dimensionen zu entwickeln, der auch für den Bereich der KWK-Förderpolitik sinnvoll interpretiert werden kann.

Die hier vorgelegte Kurzstudie beschreibt den Hintergrund, das methodische Konzept sowie die Parametrisierung des KWK-Wirtschaftlichkeitsindikators COGIX (COGeneration IndeX). Die Idee und die Umsetzung des COGIX wurde in der Arbeitsgruppe KWK-Wirtschaftlichkeit des Verbands kommunaler Unternehmen (VKU) über einen längeren Prozess diskutiert und begleitet. Die vielfältigen Facetten dieser Diskussion können und sollen im hier vorgelegten Bericht nicht ansatzweise nachgezeichnet werden, der Bericht beschränkt sich auf die Ergebnisse dieses längeren Prozesses. Gerade vor diesem Hintergrund sei den am Diskussionsprozess Beteiligten herzlich gedankt.

2 Anforderungen und methodisches Grundkonzept für den KWK-Wirtschaftlichkeitsindikator COGIX

2.1 Anforderungen an den KWK-Wirtschaftlichkeitsindikator COGIX

Die Anforderungen an die Entwicklung des KWK-Wirtschaftlichkeitsindikator COGIX sind vielfältiger Natur:

1. Der Indikator soll aussagekräftig für ein hinreichend großes Segment von KWK-Anlagen sein.
2. Der Indikator soll Aussagen zur Wirtschaftlichkeit von KWK-Anlagen sowohl
 - a. im Bereich von Bestandsanlagen als auch
 - b. für Neuanlagenermöglichen bzw. für die entsprechende Interpretation geeignet sein.
3. Der Indikator soll die Entwicklungen auf den
 - a. Brennstoffmärkten
 - b. CO₂-Märkten
 - c. Strom-Märkten
 - d. Wärmemärktenintegriert berücksichtigen und ggf. auch die Interaktion der Märkte abbilden.
4. Der Indikator soll in regelmäßigen Abständen, d.h.
 - a. ggf. mit vergleichsweise hoher Frequenz sowie
 - b. ohne oder nur mit geringen Zusatzaufwendungenaktualisierbar sein, also auf regelmäßig publizierten Daten abstellen und ohne spezifische Zusatzuntersuchungen fortschreibbar sein.
5. Der Indikator soll eine robuste Fortschreibung für zukünftig erwartbare Entwicklungen und damit eine Projektion ermöglichen.

Die Gesamtheit dieser Anforderungen bildet den Rahmen für die Entwicklung und die Parametrisierung des hier vorgestellten Konzepts für den KWK-Wirtschaftlichkeitsindikator COGIX.

Das generische Spannungsfeld zwischen Repräsentativität eines aussagekräftigen, allgemeinen und fortschreibbaren Wirtschaftlichkeitsindikators und der spezifischen wirtschaftlichen Situation einer konkreten Anlage in einem konkreten Einsatzfall bleibt damit bestehen. Bei den Analysen und Diskussionen zur Ausgestaltung des Konzeptes für die Ermittlung des COGIX wurde jedoch versucht, dieses Spannungsfeld mit Sensitivitätsbetrachtungen immer wieder zu berücksichtigen und so ein Höchstmaß an Repräsentativität abzusichern.

2.2 Methodisches Grundkonzept des KWK-Wirtschaftlichkeitsindikators COGIX

In der Praxis der Strommarktaktivitäten bilden die erzielbaren Deckungsbeiträge der Stromerzeugung die wichtigste Ziel- und Entscheidungsgröße.

Deckungsbeiträge werden dabei ganz allgemein als die Differenz zwischen den Erträgen und den kurzfristigen Grenzkosten des Anlagenbetriebes definiert:

$$D = G \cdot p - G \cdot k$$

mit

D Deckungsbeitrag

G Güterproduktion

p auf dem Markt erzielbarer Preis

k kurzfristige Grenzkosten der Produktion

Auf Grundlage der Ergebnisse für den Deckungsbeitrag fallen Produktions- und Investitionsentscheidungen:

- Eine Anlage wird nur betrieben, wenn positive Deckungsbeiträge erwirtschaftet werden können.
- Die Investition in eine Anlage wird nur getätigt, wenn mit den Deckungsbeiträgen auch fixe Betriebskosten sowie die Investitionskosten erwirtschaftet werden können.

Zumindest in der stromwirtschaftlichen Praxis bilden die Deckungsbeiträge für die Stromerzeugung, hier bezeichnet als Spark spread (für die Stromerzeugung auf Erdgasbasis) bzw. Dark spread (für die Stromerzeugung auf Kohlebasis) die zentrale wirtschaftliche Bewertungsgröße:

$$s = p_{el} - \frac{1}{\eta_{el}} p_f$$

mit

s (Spark/dark) Spread

p_{el} erzielbarer Strompreis

η_{el} aktueller Nutzungsgrad der Anlage

p_f Preis des benötigten Brennstoffes

Positive Deckungsbeiträge für die Stromerzeugung werden damit nur dann erzielt, wenn die spezifischen Erträge für die Stromerzeugung auf dem jeweils relevanten Markt größer sind als die bei der Stromerzeugung entstehenden Brennstoffkosten (als wesentliche Determinante der kurzfristigen Grenzkosten).

Seitdem am 1. Januar 2005 das EU-Emissionshandelssystem eingeführt wurde, sind für die Deckungsbeiträge auch die CO₂-Kosten der Produktion zu berücksichtigen, die so ermittelten Deckungsbeiträge werden in der Stromwirtschaft als *Green spark spread*

(für die Stromerzeugung auf Erdgasbasis) bzw. *Clean dark spread* bezeichnet und wie folgt ermittelt¹:

$$s^{cl} = p_{el} - \frac{1}{\eta_{el}} (p_f + e \cdot p_{CO_2})$$

mit

s^{cl} Green/clean (spark/dark) spread

p_{el} erzielbarer Strompreis

η_{el} aktueller elektrischer Nutzungsgrad der Anlage

p_f Preis des benötigten Brennstoffs

e spezifische CO₂-Emissionen der Stromerzeugung

p_{CO_2} Preis für CO₂-Emissionsberechtigungen

Das Grundkonzept des COGIX besteht nun darin, dieses Konzept der spezifischen Deckungsbeiträge auf KWK-Anlagen zu erweitern, indem ein weiterer Einkommensstrom aus dem Absatz der in KWK erzeugten Wärme berücksichtigt wird.

$$COGIX = p_{el}^{KWK} - \frac{1}{\eta_{el}^{KWK}} (p_f^{KWK} + e^{KWK} \cdot p_{CO_2}) + \frac{1}{\sigma_A^{KWK}} p_{th}^{KWK}$$

mit

COGIX KWK-Wirtschaftlichkeitsindikator

p_{el}^{KWK} erzielbarer Strompreis der KWK-Anlage

η_{el}^{KWK} aktueller elektrischer Nutzungsgrad der KWK-Anlage

p_f^{KWK} Brennstoffpreis frei KWK-Anlage

e^{KWK} spezifische CO₂-Emissionen der KWK-Anlage (brennstoffbezogen)

p_{CO_2} Preis für CO₂-Emissionsberechtigungen

σ_A^{KWK} (arbeitsbezogene) Stromkennzahl der KWK-Anlage

p_{th}^{KWK} erzielbarer Wärmepreis frei KWK-Anlage

Der KWK-Wirtschaftlichkeitsindikator COGIX beschreibt damit den Deckungsbeitrag, der sich aus dem Absatz der erzeugten Produkte Strom und Wärme sowie den kurzfristigen Grenzkosten der Produktion (Brennstoff und CO₂-Emissionsberechtigungen) ergibt.

Für die Spezifikation des KWK-Wirtschaftlichkeitsindikators COGIX wurden nach eingehenden Diskussionen die folgenden weiteren Abgrenzungen definiert:

1. Der Indikator soll nur für KWK-Anlagen ermittelt werden, die auf Basis Erdgas betrieben werden. Andere KWK-Anlagen müssen entweder wegen der Bandbreite der Einsatzfälle sehr spezifisch betrachtet werden (Steinkohle-Heizkraftwerke) oder werden unter sehr spezifischen wirtschaftlichen Rahmen-

¹ Eventuelle kostenlose Zuteilungen für CO₂-Emissionsberechtigungen werden bei der Ermittlung der Deckungsbeiträge nicht berücksichtigt, da als Preis für die Emissionsberechtigungen stets auch die Opportunitätskosten der CO₂-Zertifikate (definiert als Wert der alternativen Verwendung) in Ansatz gebracht werden müssen.

bedingungen betrieben (erneuerbare Energien) und sind damit für die Berücksichtigung im Rahmen eines robust aussagefähigen Indikators eher ungeeignet.

2. Der Indikator soll nur für KWK-Anlagen ermittelt werden, deren Betriebsweise sich an den Großhandelsmärkten orientiert. Für alle Anlagenkonzepte bzw. -konfigurationen, die auf die Endverbrauchsmärkte zugeschnitten sind, erlaubt der KWK-Wirtschaftlichkeitsindikator COGIX vor dem Hintergrund der vielfältigen Einsatzparameter sowie der erheblichen Unsicherheiten (Bewertung von Netzkosten, Strompreisbildung bei den verschiedenen Kundengruppen etc.) keine ausreichend repräsentativen Aussagen.

3 Parametrisierung

3.1 Überblick

Für die Parametrisierung des KWK-Wirtschaftlichkeitsindikators COGIX in der Ist-Entwicklung müssen folgenden Parameterdefinitionen unterschieden werden

1. Die Parameter für die als repräsentativ definierte KWK-Anlagen
 - a. Gesamtnutzungsgrad der Anlage
 - b. Stromkennzahl der Anlage
 - c. spezifische CO₂-Emissionen der Anlage
2. Die Parameter für die Preisentwicklungen auf den relevanten Märkten
 - a. Brennstoffe (Erdgas)
 - b. Strom
 - c. Wärme
 - d. CO₂-Emissionsberechtigungen
3. Die Parameter zur Ermittlung der Erlös- und Kostendaten frei KWK-Anlagen
 - a. Brennstoffe (Erdgas)
 - b. Wärme

Für alle Parameter werden im Folgenden die möglichen Definitionen und Datenquellen dargestellt, diskutiert und begründet.

3.2 Anlagenparameter für die COGIX-Ermittlung

Unter Maßgabe der in den Abschnitten 2.1 und 2.2 dargestellten Vorüberlegungen bzw. Eingrenzungen ist die Zahl der für die COGIX-Ermittlung notwendigen Parameter begrenzt. Hierzu werden folgende robuste Parameterdefinitionen getroffen:

1. Hocheffiziente KWK-Anlagen haben heute durchgängig Gesamtnutzungsgrade von etwa 85%. Dieser Wert wird für die COGIX-Ermittlung zu Grunde gelegt.
2. Stromkennzahlen von Erdgas-KWK-Anlagen liegen heute in der Bandbreite von 0,5 bis 1,0. Hier wird zunächst eine Stromkennzahl von 1,0 angesetzt (hocheffizienten Großanlage), daneben wird aber auch eine Sensitivitätsbetrachtung für eine Stromkennzahl von 0,5 (kleine bis mittlere KWK-Anlagen) angestellt. Die elektrischen Wirkungsgrade liegen bei dem o.g. Gesamtnutzungsgrad von 85% damit bei 42,5% (Stromkennzahl 1,0) bzw. 28,3% (Stromkennzahl 0,5).
3. Für Erdgas-KWK-Anlagen wird ein einheitlicher CO₂-Emissionsfaktor von 56 t CO₂ je Terajoule (TJ) Brennstoffinput festgelegt.

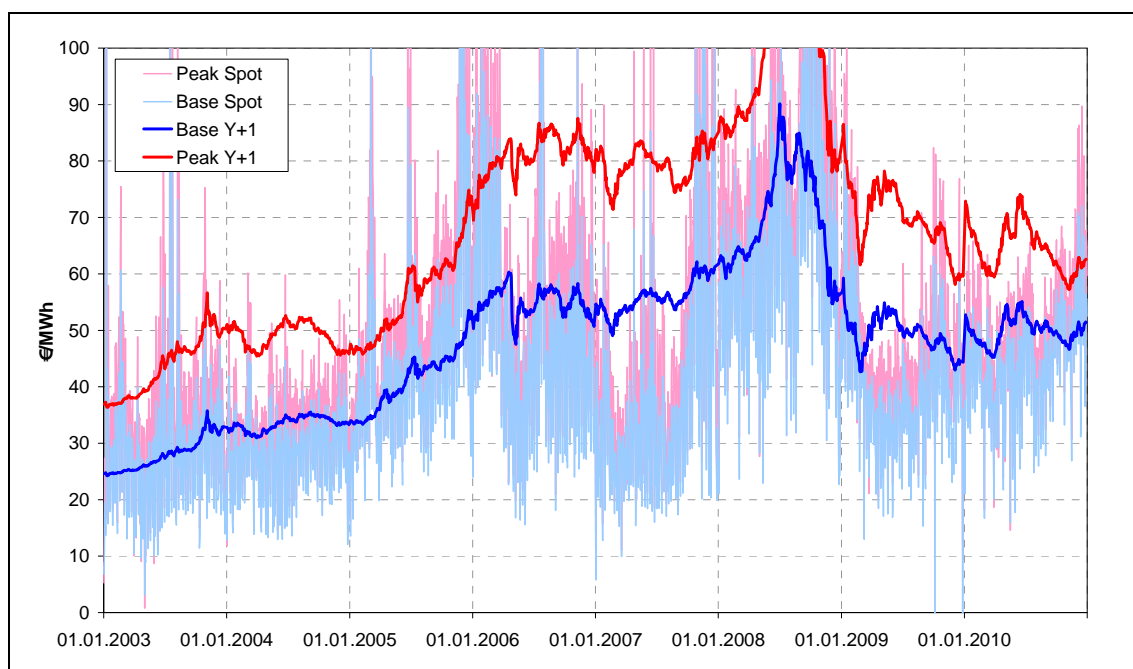
3.3 Preisentwicklungen für Brennstoffe, Strom und CO₂-Emissionsberechtigungen

Für die Entwicklung der die Wirtschaftlichkeit bestimmenden Marktdaten ist zunächst die Frage der Datenverfügbarkeit und der Aktualisierungsfrequenz von entscheidender Bedeutung. Folgende Datenquellen stehen dabei grundsätzlich zur Verfügung:

1. Preisdaten für Strom, Erdgas und CO₂-Emissionsberechtigungen werden von den verschiedenen Börsen (Commodity-Börsen wie EEX, ECX etc.) sowie von spezialisierten Daten Providern zur Verfügung gestellt.
2. Im Kontext der amtlichen Statistik werden regelmäßig Grenzübergangsdaten für Erdgas-Importe sowie Verbraucherpreisindizes für Fernwärme veröffentlicht.
3. Die EU-Statistikbehörde Eurostat veröffentlicht regelmäßig (halbjährig) Preisübersichten zu Erdgas und Strom für verschiedene Abnehmergruppen.

Die Abbildung 1 zeigt zunächst die Entwicklung der Großhandelspreise für Strom im Überblick. Dargestellt sind dabei einerseits die Spotpreise für Base- und Peak-Lieferungen am Folgetag und andererseits die Preise für Terminlieferungen im jeweils folgenden Kalenderjahr, wiederum für Base- und Peak-Produkte.

Abbildung 1 Entwicklung der Preise für Spot- und Terminkontrakte an der Strombörse, 2002-2010



Quelle: EPEX, EEX, eigene Berechnungen.

Die Preisentwicklung der letzten Jahre ist dabei in den letzten Jahren durch eine erhebliche Volatilität gekennzeichnet. Im Zeitraum 2003 bis 2006 sind die Großhandelspreise sowohl im Spot- wie auch im Terminmarkt vergleichsweise stetig und weitgehend pa-

parallel gestiegen. Die Phase von Anfang 2006 bis Mitte 2007 ist durch ein Auseinanderlaufen der Spot- und Terminmarktrends gekennzeichnet. Während an den Spotmärkten (v.a. bedingt durch den Zusammenbruch des Preises für CO₂-Emissionsberechtigungen) die Preise in diesem Zeitraum erheblich zurückgingen, blieben sie auf den Terminmärkten auf etwa gleichbleibendem Niveau. Ab Mitte 2007 stiegen die Preise in allen Märkten wieder erheblich an und erreichten Mitte 2008 ihren Höhepunkt. Nach dem Zusammenbruch der Preise in der zweiten Jahreshälfte von 2008 stabilisierten sich die Preise in allen Märkten. Die Übersicht verdeutlicht sehr klar, dass die Spot- und Terminmarktpreise – mit Ausnahme der Phase zwischen Anfang 2006 und Mitte 2007 – sehr vergleichbaren Trajektorien und Dynamiken folgen.

Für die KWK bildet – mit Blick auf die Einsatzcharakteristik der Anlagen – vor allem der Großhandelspreis für Base-Produkte den geeigneten Referenzrahmen und damit den zentralen Ausgangspunkt für die Ermittlung des COGIX. Jedoch stellt sich die Frage, ob die Ermittlung des KWK-Wirtschaftlichkeitsindikators eher auf Basis der Spot- oder die Terminmarktpreise erfolgen soll. Diesbezüglich sind zwei Aspekte zu beachten:

- Die Spotmarktpreise bilden den entscheidenden Maßstab für den Einsatz der Anlagen. Sie sind aber gleichzeitig das Ergebnis einer Vielzahl von Parametern, von aktuellen Brennstoff- und CO₂-Preisen bis hin zu eher situativen Größen wie Klimafaktoren oder spezifischen Knappheitssituationen. Naturgemäß streuen die Spotmarktpreise damit wesentlich stärker als die Terminmarktpreise.
- Ein erheblicher Anteil der Kraftwerkskapazitäten im kontinentaleuropäischen Markt wird zwar mit Blick auf den Spotmarkt eingelastet, jedoch wird die Erzeugung am Terminmarkt vermarktet. Der Terminmarkt sichert damit die Erträge aus der Stromerzeugung, im Spotmarkt können ggf. noch zusätzliche Deckungsbeiträge erwirtschaftet werden (wenn sich im Spotmarkt niedrigere Preise einstellen, Freiheitsgrade zur Rückführung der Stromerzeugung existieren und die alternative Erfüllung der eingegangenen Terminlieferungen über Spotmarkt-Zukäufe erfolgt).

Vor dem Hintergrund der Preisvolatilität, aber auch der beschriebenen Vermarktungsstrategien erscheint es daher als sinnvoll, bei der Ermittlung des KWK-Wirtschaftlichkeitsindikators auf Base-Lieferungen im Terminmarkt abzustellen.

Ein Vorteil dieser Parameterwahl für die Strompreisseite der Berechnungen besteht auch darin, dass auch für Brennstoffe und CO₂ am gleichen Handelsplatz entsprechende Kontrakte gehandelt werden und die COGIX-Ermittlung damit auf Basis eines konsistenten Datengerüsts erfolgen kann.

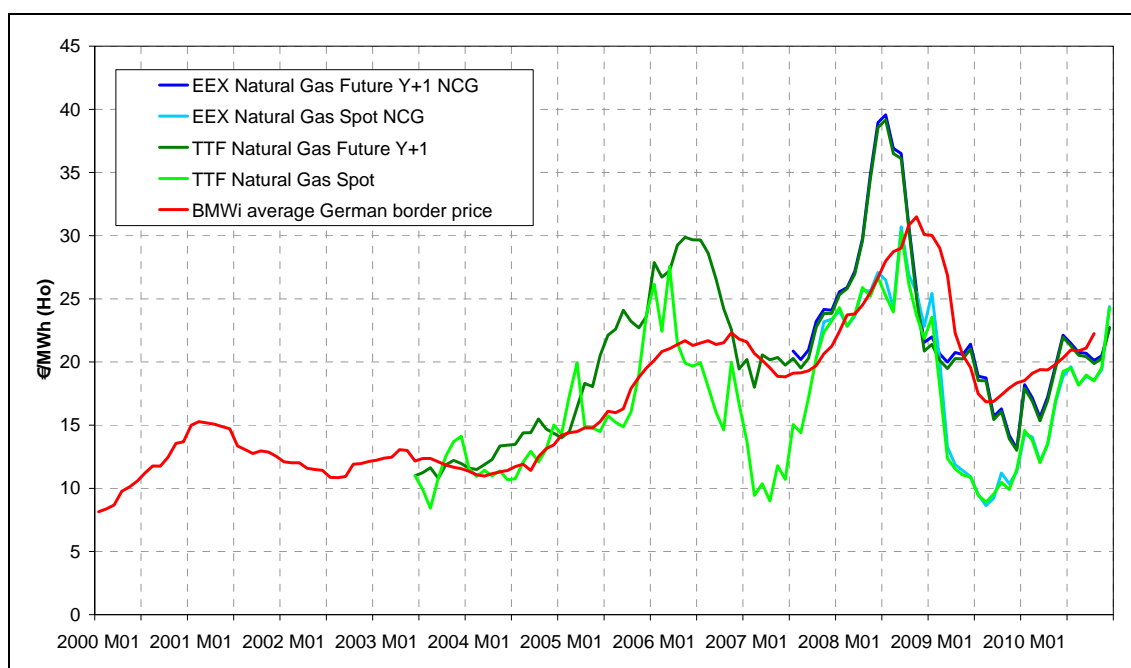
Die Entwicklung der Erdgaspreise auf den verschiedenen Großhandelsplätzen bzw. Berichtspunkten ist in der Abbildung 2 im Überblick dargestellt. Es handelt sich dabei

- um die Börsenpreise für Spot- und Terminlieferungen (für das jeweils nächste Kalenderjahr) an der Leipziger Strombörse EEX;

- die entsprechenden Preise am (virtuellen) Handelsplatz *Title Transfer Facility* (TTF) in den Niederlanden;
- die durchschnittlichen Grenzübergangspreise für Erdgasimporte nach Deutschland auf Grundlage der Berichte des Bundesamtes für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (Bafa).

Alle Preisdaten wurden dabei – wenn nötig – auf monatliche Durchschnittswerte umgerechnet, um einen konsistenten Vergleich hinsichtlich der zeitlichen Auflösung zu gewährleisten (die Bafa-Daten werden nur als monatliche Durchschnittspreise veröffentlicht). Der Vergleich der Preisdaten für die Börsenplätze bzw. Handelspunkte EEX und TTF zeigt zunächst einen bemerkenswerten – und durch die Möglichkeit von Arbitrage-Geschäften auch gut erklärbaren – Gleichlauf der Preisentwicklung. Dadurch kann mit einer Kombination der TTF- und EEX-Preise das Manko ausgeglichen werden, dass Erdgas-Kontrakte an der EEX erst seit Juli 2007 (Terminkontrakte) bzw. Oktober 2007 (Spotmarkt) gehandelt und berichtet werden.

Abbildung 2 *Monatliche Entwicklung der Preise für Erdgas an verschiedenen Großhandelsplätzen bzw. Berichtspunkten, 2000-2010*



Quelle: *EEX, Energate, Bafa, eigene Berechnungen.*

Ein Vergleich der Preisdaten für die Börsen- und Handelsplätze mit den durchschnittlichen Grenzübergangspreisen von Erdgaslieferungen nach Deutschland verdeutlicht die folgenden Aspekte:

- Die Dynamik der Erdgaspreisentwicklung folgt insgesamt sehr vergleichbaren Mustern.

- Die Preise von Spotmarktlieferungen lagen im Verlauf der Wirtschaftskrise (ab Ende 2008) fast durchweg niedriger als die durchschnittlichen Grenzübergangspreise für Erdgas, seit Mitte 2010 werden aber wieder ähnliche Preisniveaus erreicht, die Grenzübergangspreise und die Börsenpreise zeigen deutliche Konvergenztrends.
- Die Preise für Lieferungen im Terminmarkt schwanken um die Grenzübergangspreise für Erdgas, mit Ausnahme der (Sonder-) Situation im Sommer 2008 in einem vergleichsweise engen Band, auch hier ergeben sich spätestens seit Sommer 2010 wieder klar konvergente Entwicklungen.

Vor diesem Hintergrund erscheint es als gerechtfertigt, neben den Terminmarktpreisen für Base-Stromlieferungen im jeweils nächsten Kalenderjahr auch die entsprechenden Gas-Lieferkontrakte für die COGIX-Berechnung in Ansatz zu bringen.

Da für den Gasbezug – im Gegensatz zur Situation beim Stromabsatz – auch die Kosten für Netznutzung etc. berücksichtigt werden müssen, erfolgt die Ermittlung der Brennstoffpreise frei Kraftwerk über die folgende Beziehung²:

$$p_f^{\text{KWK}} = \frac{p_f^{\text{GH}} + 4 \text{ €/MWh}}{0,9025}$$

mit

p_f^{KWK} Erdgas-Einstandspreis frei KWK-Anlage (Hu)

p_f^{GH} Großhandelspreis für Erdgas (Ho)

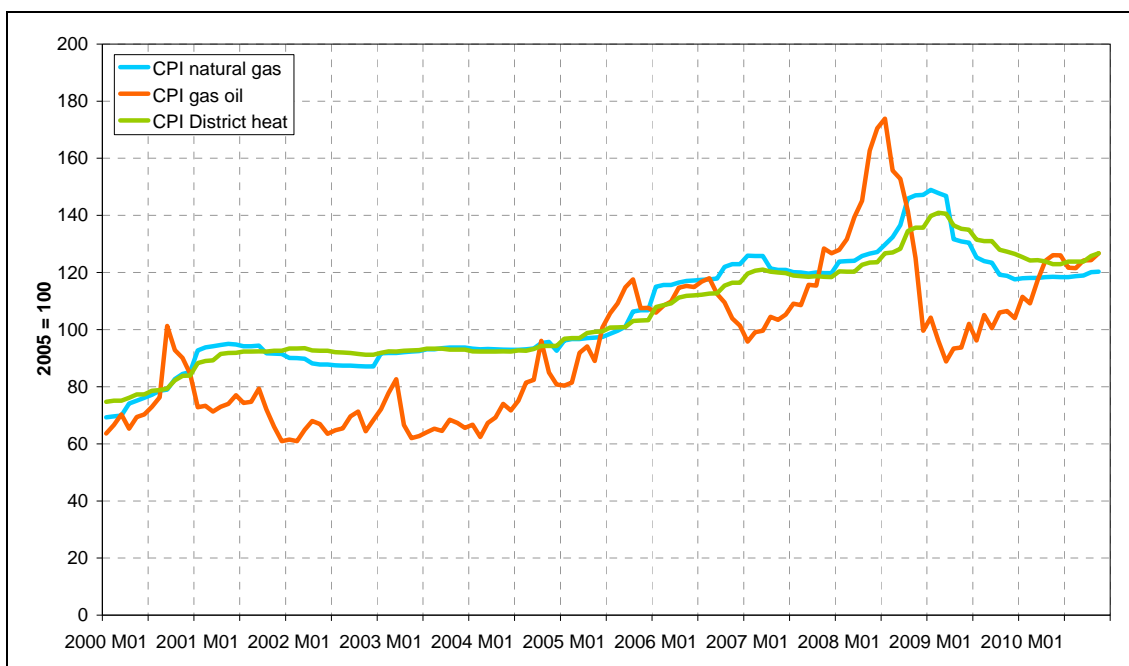
Ein entscheidender Parameter für die Berechnung des KWK-Wirtschaftlichkeitsindikators ist die Höhe der Wärmeerlöse, die frei Kraftwerk entstehen und den zweiten Erlösstrom einer KWK-Anlage bilden. Hier sind vor allem die folgenden Fragen zu adressieren:

- Wenn davon ausgegangen wird, dass die in KWK-Anlagen erzeugte Wärme nach dem Anlegbarkeitsprinzip vermarktet werden kann, stellt sich die Frage, welches der geeignete Referenzmarkt für die Wärme aus KWK-Anlagen ist.
- Auf Basis dieser Spezifikation muss dann eine Annahme getroffen werden, welche Erlöse für die Wärmeproduktion in KWK am Kraftwerk, das heißt unter Berücksichtigung der Kosten für die Wärmeverteilung etc. angesetzt werden können.
- Schließlich muss analysiert werden, ob für die Anlegbarkeit der Wärmeerlöse frei Kraftwerk auch Investitionen in Kundenanlagen (sowohl für den Fall der ungekoppelten Wärmeproduktion als auch für den Anschluss z.B. an die Fernwärme) bzw. komplementäre Investitionen für die KWK-Anlage (Spitzen- und Reserveanlagen) berücksichtigt werden müssen.

² Unterstellt wird dabei, dass für den Erdgaseinsatz in den hier unterstellten hocheffizienten KWK-Anlagen die Erdgassteuer komplett rückvergütet wird.

Mit Blick auf die erste Fragestellung verdeutlicht die Abbildung 3 die empirischen feststellbaren Markttrends. Danach haben sich zumindest in den letzten 10 Jahren die Preise für Fernwärme (hier als Näherungswert für KWK-Wärme in Ansatz gebracht) mit fast identischer Dynamik entwickelt wie die Preise für Erdgas. Die entsprechenden Preistrends für leichtes Heizöl, als alternatives Substitut für Fernwärme folgen zwar generell der gleichen Dynamik, weisen aber eine erhebliche Volatilität auf. Vor diesem Hintergrund liegt es nahe, auch die Wärmeerlöse für die KWK-Anlagen auf Basis von Erdgaspreisen abzuschätzen.

Abbildung 3 *Monatliche Entwicklung der Verbraucherpreisindizes für Fernwärme, leichtes Heizöl und Erdgas, 2000-2010*



Quelle: *Statistisches Bundesamt.*

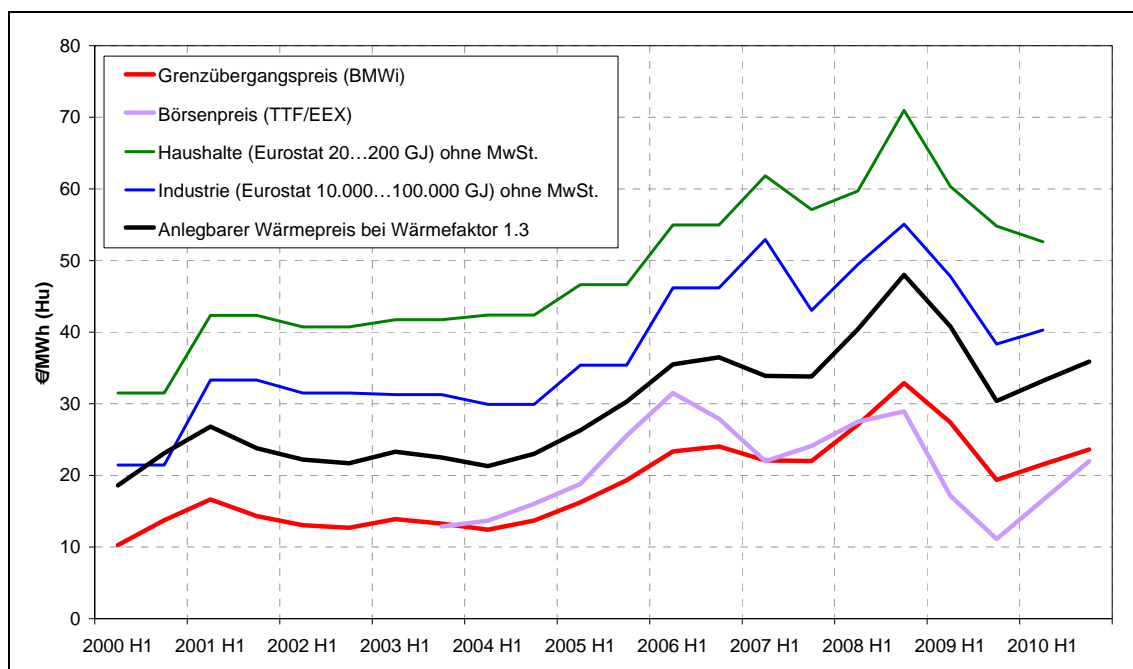
In der Abbildung 4 sind – aus Gründen der Vergleichbarkeit an dieser Stelle auf Halbjahreswerte umgerechnet – zunächst die Preisentwicklungen für verschiedene Marktsegmente überblicksartig zusammengestellt:

- die Grenzübergangspreise nach Berichterstattung des Bafa (umgerechnet auf den unteren Heizwert);
- die Preise für Terminlieferungen im jeweils folgenden Kalenderjahr an der EEX bzw. am Handelspunkt TTF (umgerechnet auf den unteren Heizwert);
- die Preise für Lieferungen an repräsentative (große) Industriekunden nach den Erhebungen von Eurostat (umgerechnet auf den unteren Heizwert, ohne Mehrwertsteuer, aber mit Berücksichtigung aller anderen Steuern und Umlagen);

- die Preise für Lieferungen an repräsentative Haushaltskunden nach den Erhebungen von Eurostat (umgerechnet auf den unteren Heizwert, ohne Mehrwertsteuer, aber mit Berücksichtigung aller anderen Steuern und Umlagen).

Die Übersicht verdeutlicht zunächst eine bemerkenswert ähnliche Dynamik für die Entwicklung der Grenzübergangs- und der Endverbrauchspreise, gleichzeitig eine über im gezeigten Zeitraum zeitweise leicht aufgehende Schere zwischen Endverbrauchs- und Grenzübergangspreisen, auch wenn dabei berücksichtigt werden muss, dass zum 1. Januar 2003 die Erdgassteuer von 3,476 €/MWh auf 5,5 €/MWh, also um etwa 2 €/MWh erhöht worden ist. Gegen Ende des hier gezeigten Zeitabschnitts scheint sich diese Schere jedoch wieder zu schließen, mit hoher Wahrscheinlichkeit als Ergebnis des zunehmenden Gas-zu-Gas-Wettbewerbs.

Abbildung 4 Halbjährliche Entwicklung der Großhandels- und Endverbrauchspreise für Erdgas sowie des Ansatzes für die anlegbaren Wärmeerlöse von KWK-Anlagen, 2000-2010



Quelle: Statistisches Bundesamt.

Nach intensiven Diskussionen in der Arbeitsgruppe KWK-Wirtschaftlichkeit des VKU wurde für die Ableitung des belastbaren Ansatzes für die Wärmeerlöse von KWK-Anlagen (frei Kraftwerk) die folgende Berechnungsmethode festgelegt:

$$p_{th}^{ref} = p_f^{KWK} \cdot 1,3$$

mit

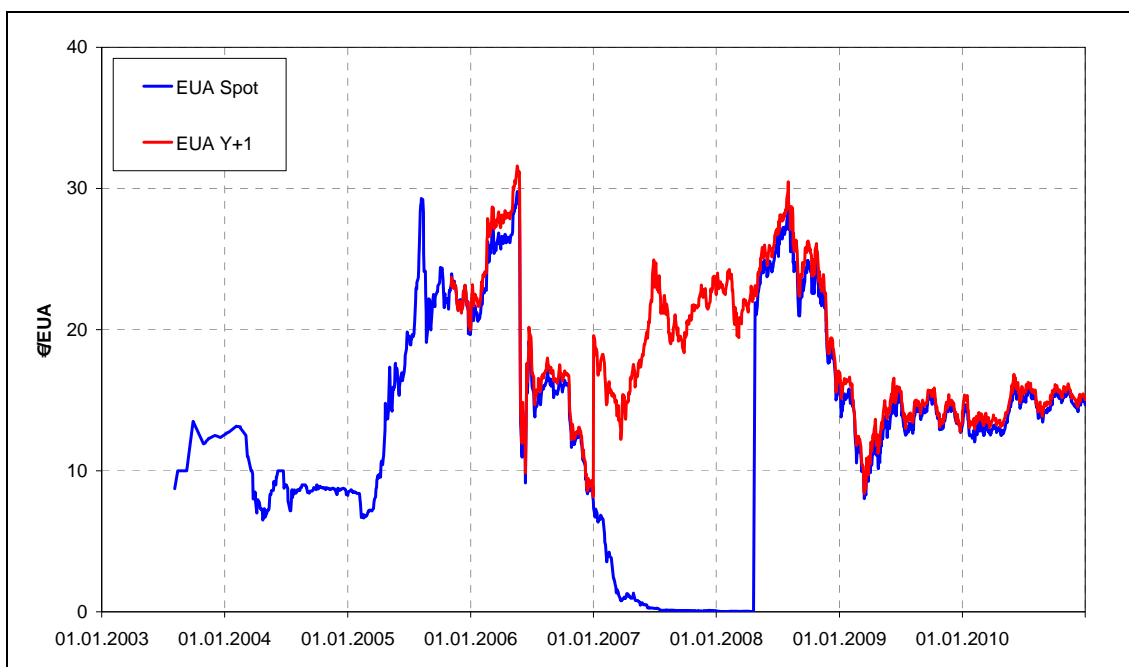
p_{th}^{ref} Anlegbare Erlöse für KWK-Wärme frei Kraftwerk

p_f^{KWK} Erdgas-Einstandspreis frei KWK-Anlage

In Abbildung 4 kann das Ergebnis für diese Modellierung der anlegbaren Wärmeerlöse mit den Preisentwicklungen in den verschiedenen Märkten verglichen werden. Mit einem solchen Wärmeerlös könnte einerseits für größere Industriekunden (ggf. im Wege der Objektversorgung) ein wettbewerbsfähiges Angebot für Wärmelieferungen gemacht werden, andererseits könnten im Anchluss zwischen den Verteilungs- und Vermarktungskosten für Erdgas (die sich als Differenz der Gaspreise für Industrie- und Haushaltskunden zumindest näherungsweise eingrenzen lassen) auch die entsprechenden Kosten für Fernwärme dargestellt werden.

Den letzten Kostenparameter für die Ermittlung des KWK-Wirtschaftlichkeitsindicators bilden die Kosten für den Erwerb von CO₂-Emissionsberechtigungen. Die Abbildung 5 zeigt hier die Entwicklung der Marktpreise für den Zeitraum von 2003 bis 2010. Im Vorfeld des Systemstarts am 1. Januar 2005 wurde eine Reihe von Transaktionen auf Spot-Zertifikate getätigt, bei denen CO₂-Preise von ca. 10 €/EUA erzielt wurden. Nach dem Start des Systems stiegen die Preise im Verlauf des Jahres 2005 auf Werte von 20 bis 30 €/EUA. Nach Bekanntwerden der massiven Überausstattung des Marktes brachen die Preise ab April 2006 ein, wobei die Spotpreise auf Werte nahe Null sanken, die Terminkontrakte jedoch um ein Niveau von 15 €/EUA schwankten. Nach den massiven Preissteigerungen bis Mitte 2008 (hier wurden wiederum Werte von 30 €/EUA erreicht) gingen die CO₂-Preise im Zuge der Abkühlung aller Commodity-Märkte bzw. im Lauf der Finanz- und Wirtschaftskrise auf ein Niveau um 15 € zurück und liegen in den letzten Monaten stabil auf diesem Niveau.

Abbildung 5 Entwicklung der Preise für CO₂-Emissionsberechtigungen, 2003-2010



Quelle: Evomarkets, EEX, eigene Berechnungen.

Konsistent zu den Preis- bzw. Kostenansätzen für die anderen Energieträger wird für die Ermittlung des COGIX wiederum auf die monatlichen Mittelwerte der Terminkontrakte für das jeweils folgende Kalenderjahr zurückgegriffen.

4 Ergebniseinordnung und -interpretation

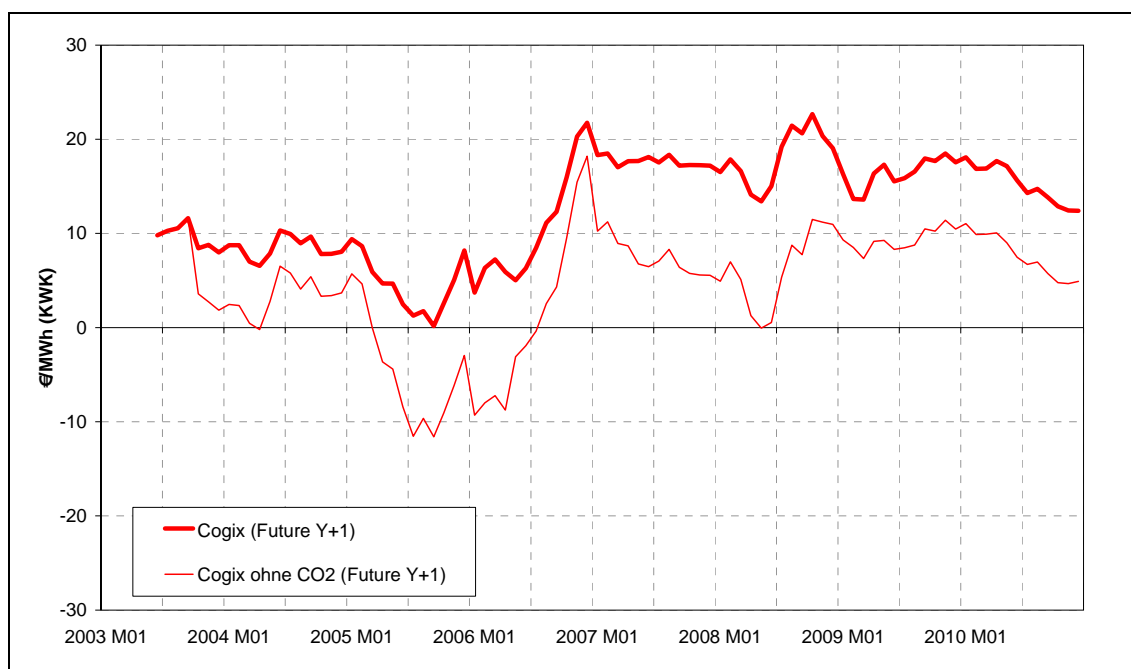
Unter Maßgabe der in den Kapiteln 2.2 und 3 beschriebenen bzw. abgeleiteten Methoden und Parameter kann für den Zeitraum von 2003 bis 2010 der KWK-Wirtschaftlichkeitsindikator COGIX berechnet werden (Abbildung 6).

Eine KWK-Anlage mit einer Stromkennzahl von 1,0 hat damit im Zeitraum von 2003 bis Mitte 2006 Deckungsbeiträge für die fixen Betriebskosten bzw. für die Kapitalkosten in der Bandbreite von 0 bis 10 €/MWh erwirtschaftet. Damit dürfte der Betrieb der KWK-Anlagen wirtschaftlich darstellbar gewesen sein, wesentliche Finanzierungsbeiträge konnten in diesem wirtschaftlichen Umfeld jedoch nicht erwirtschaftet werden.

Ab Anfang 2007 hat sich die wirtschaftliche Situation für die KWK dann leicht gebessert, die hier zu Grunde gelegte (repräsentative) KWK-Anlage hat bis Ende 2008 Deckungsbeiträge von Werte zwischen 15 und 20 €/MWh erwirtschaftet. Seit Anfang 2009 sind die Deckungsbeiträge wieder rückläufig und liegen derzeit bei etwas unter 13 €/MWh.

Zur Illustration zeigt die Abbildung 6 eine hypothetische Entwicklung des COGIX für den Fall, dass das EU-Emissionshandelssystem nicht eingeführt worden wäre. Der Netto-Effekt von Belastungen durch CO₂-Kosten und den über den Emissionshandel bewirkten Strompreiseffekten ist damit für KWK-Anlagen klar positiv. Ohne die Bepreisung der CO₂-Emissionen in der Stromwirtschaft hätten KWK-Anlagen in den Jahren 2005 und 2006 negative Deckungsbeiträge erwirtschaftet, ab 2007 hätten sich die Deckungsbeiträge nur zwischen 0 und 10 €/MWh bewegt.

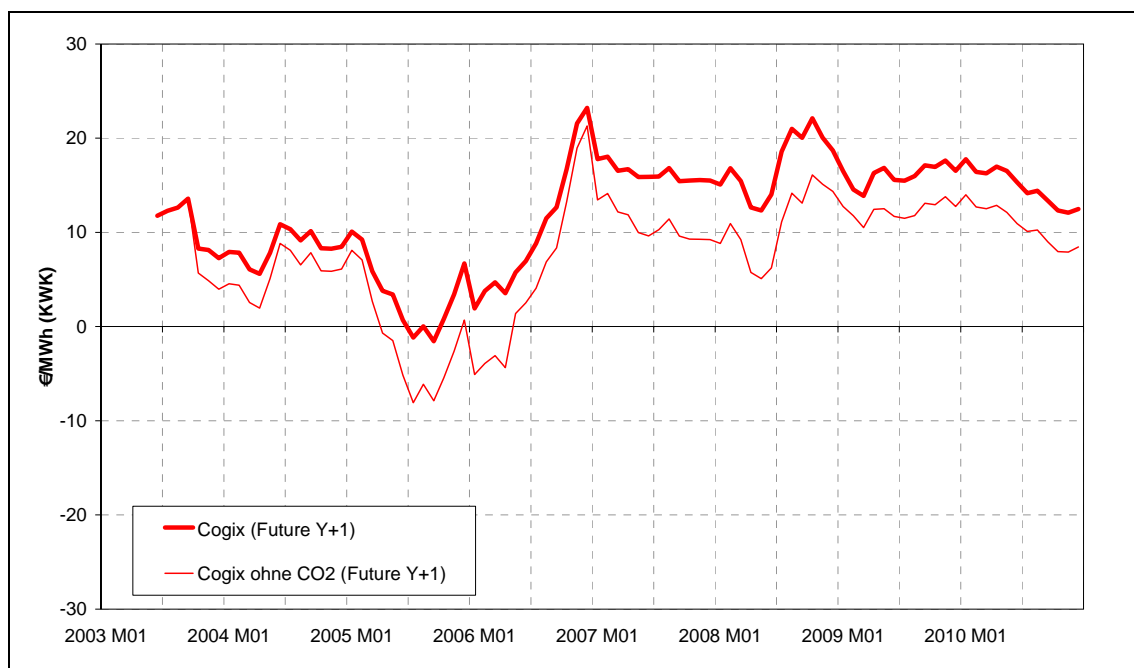
Abbildung 6 *Monatliche Entwicklung des KWK-Wirtschaftlichkeitsindikators COGIX für eine Stromkennzahl von 1,0, 2003-2010*



Quelle: *eigene Berechnungen.*

In der Abbildung 7 sind die Ergebnisse einer Sensitivitätsrechnung für eine alternative Parametrisierung der zu Grunde gelegten KWK-Anlage (Stromkennzahl 0,5) gezeigt.

Abbildung 7 *Monatliche Entwicklung des KWK-Wirtschaftlichkeitsindikators COGIX für eine Stromkennzahl von 0,5, 2003-2010*



Quelle: *eigene Berechnungen.*

Der Vergleich der Ergebnisse (Abbildung 6 und Abbildung 7) zeigt, dass sich keine signifikanten Unterschiede ergeben. Der geringere elektrische Nutzungsgrad der Anlage wird durch die höheren Erlöse auf der Wärmeseite weitgehend kompensiert. Für die Berechnung des COGIX kann deshalb hinsichtlich der Stromkennzahlen auf eine Differenzierung verzichtet werden, es wird im Berechnungsverfahren grundsätzlich auf eine KWK-Anlage mit einer Stromkennzahl von 1,0 abgestellt.

Die Ergebnisse der COGIX-Berechnungen können schließlich auch numerisch bewertet werden. Aus den durch die KWK-Anlage erwirtschafteten Deckungsbeiträgen kann der „anlegbare Barwert“ der über den Deckungsbeitrag zu erbringenden Kosten ermittelt werden.

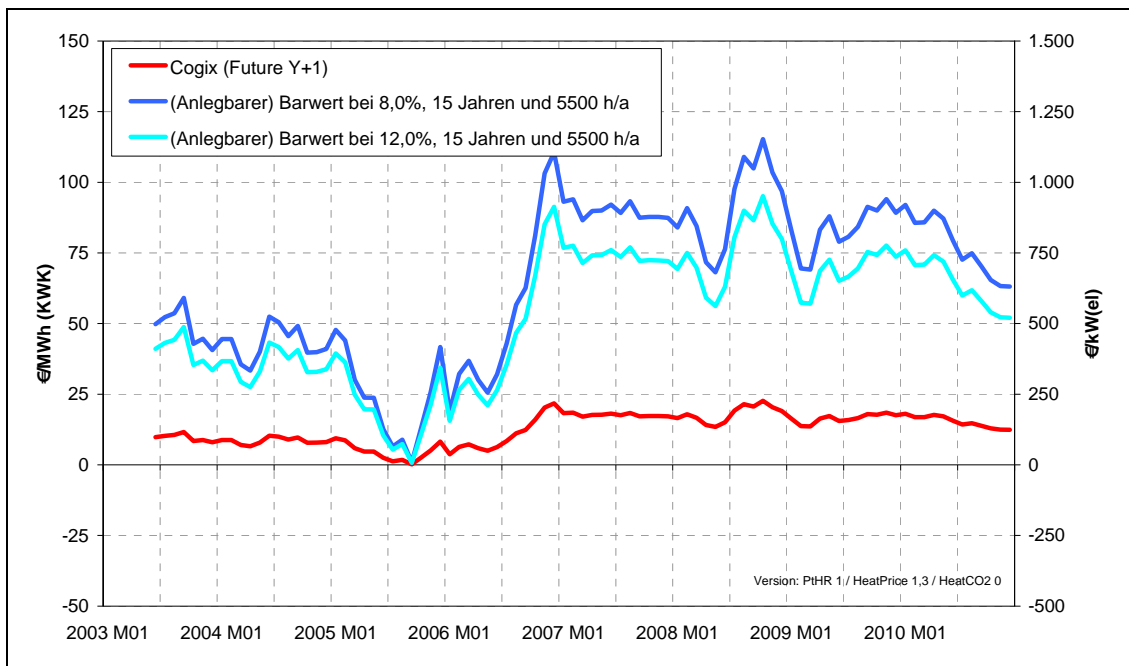
Für die Ermittlung dieses anlegbaren Barwertes, der fixe Betriebskosten etc., vor allem aber die Kapitalkosten von Investitionen abdecken muss, werden zwei Varianten berechnet:

- ein über 15 Jahre ermittelter Barwert bei einer Diskontrate von 8%;
- ein über 15 Jahre ermittelter Barwert bei einer Diskontrate von 12%;

Die in Abbildung 8 dargestellten Berechnungsergebnisse verdeutlichen eindrücklich, dass trotz der im Zeitverlauf angestiegenen Deckungsbeiträge von KWK-Anlagen, allein marktgetriebene Investitionen kaum dargestellt werden können. Der über den

KWK-Wirtschaftlichkeitsindikator COGIX ermittelbare anlegbare Barwert liegt im Zeitraum 2007 bis 2010 überwiegend bei Werten zwischen 500 und 750 €kW, in den letzten Monaten wieder mit deutlich fallender Tendenz.

Abbildung 8 *Monatliche Entwicklung des KWK-Wirtschaftlichkeitsindikators COGIX und dessen Einordnung, 2003-2010*



Quelle: *eigene Berechnungen.*

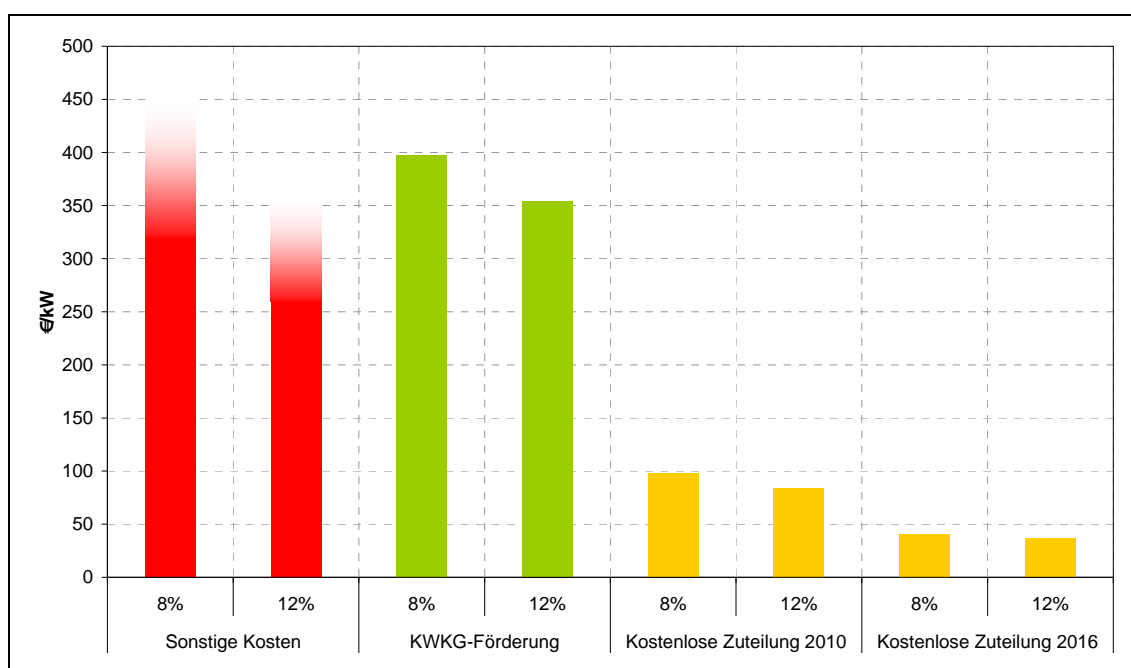
Investitionen in neue KWK-Anlagen (die derzeit für große KWK-Anlagen im Bereich von 750 bis 1.000 €kW liegen dürften) konnten in diesem Zeitraum nur über die Erschließung zusätzlicher Einkommensströme wirtschaftlich dargestellt werden, zum Beispiel

- die Förderung im Rahmen des KWKG;
- Erträge aus der Honorierung vermiedener Netzkosten;
- die kostenlose Zuteilung von Emissionsberechtigungen im Rahmen des EU-Emissionshandelssystems.

Insbesondere gilt dies, wenn neben den Brennstoff-, CO₂- und Investitionskosten auch die weiteren Betriebskosten berücksichtigt werden. Abbildung 9 verdeutlicht die Bedeutung der verschiedenen Fördermaßnahmen. Die KWK-Zuschlagszahlungen im Rahmen des aktuellen KWK-Gesetzes ergeben einen Barwert in der Größenordnung von knapp 400 €kW (bei einem Verzinsungsanspruch von 8%) bzw. 350 €kW (bei einem Verzinsungsanspruch von 12%). Bei einer Anlageninbetriebnahme im Jahr 2010 summiert sich die kostenlose Zuteilung für die Wärmeerzeugung (die wirtschaftlich als Investitionskostenzuschuss betrachtet werden kann) auf einen Barwert von knapp 100 €kW (bei einem Verzinsungsanspruch von 8%) bzw. etwas über 80 €kW (bei einem Verzin-

sungsanspruch von 12%). Bei einer späteren Anlageninbetriebnahme fallen die entsprechenden Effekte wegen der im Zeitverlauf deutlich zurückgehenden kostenlosen Zuteilung deutlich geringer aus. Bei einer Inbetriebnahme im Jahr 2016 ergibt sich aus der kostenlosen Zuteilung für die Wärmeerzeugung in KWK noch ein Förder-Barwert von 40 €/kW (bei einem Verzinsungsanspruch von 8%) bzw. von etwas über 35 €/kW (bei einem Verzinsungsanspruch von 12%).

Abbildung 9 Vergleich des Barwerts der sonstigen Betriebskosten von KWK-Anlagen mit dem Barwert verschiedener Fördermaßnahmen



Quelle: eigene Berechnungen.

Die Förderung im Rahmen des KWKG erweist sich damit als wichtigste Maßnahme zur Verbesserung der wirtschaftlichen Situation der KWK. Gleichwohl reicht diese Förderung nur etwa zur Abdeckung der sonstigen Kosten³, so dass der am Strom- und Wärmemarkt erzielte Deckungsbeitrag bei der derzeitigen KWKG-Förderung die Investitionskosten vollständig decken muss.

Prinzipiell können auf Basis des über den KWK-Wirtschaftlichkeitsindikator COGIX ermittelten „anlegbaren Barwerts“ der erwartbaren Deckungsbeiträge auch Größenordnungen für die notwendigen Flankierungs- und Fördermaßnahmen ermittelt werden, in dem die Differenz des Barwerts für die Kapitalkosten zuzüglich des Barwerts der fixen Betriebskosten mit dem über den COGIX ermittelten Barwert der Deckungsbeiträge verglichen wird.

³ Die als Barwert dargestellten Sonstigen Kosten wurden auf der Basis der Parameter für die detaillierten Wirtschaftlichkeitsberechnungen (Matthes/Ziesing 2011) ermittelt.

5 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Im hier vorgelegten Bericht werden die Methode und deren Parametrisierung zur Ermittlung des KWK-Wirtschaftlichkeitsindikators COGIX vorgestellt. Mit diesem Indikator kann für repräsentative KWK-Anlagen eine numerische Einordnung der durch den Betrieb von KWK-Anlagen erwirtschafteten Deckungsbeiträge vorgenommen werden. Das grundsätzliche Berechnungskonzept des COGIX ist durch folgende Aspekte charakterisiert:

- Die Berechnung des Indikators kann auf einfache und transparente Weise erfolgen.
- Die Berechnung des Indikators erfolgt auf der Basis regelmäßig publizierter Daten und kann damit auch in kürzeren Abständen ohne großen Aufwand aktualisiert werden.
- Die Berechnung des Indikators kann für die Ist-Entwicklung sowie – unter robusten Annahmen – auch für Projektionen erfolgen.
- Die Ergebnisse des Indikators können vergleichsweise einfach in Bezug auf die wirtschaftliche Attraktivität von Neuinvestitionen oder interpretiert werden.

Der KWK-Wirtschaftlichkeitsindikator COGIX ermöglicht die Bewertungen, ob der Betrieb vorhandener KWK-Anlagen wirtschaftlich darstellbar ist, ob Investition in eine KWK-Anlage unter den gegebenen bzw. erwartbaren Rahmenbedingungen wirtschaftlich attraktiv sind bzw. in welcher Größenordnung wirtschaftliche Flankierungsmaßnahmen notwendig wären, um Investitionen in KWK-Anlagen unter den gegebenen bzw. erwartbaren Rahmenbedingungen wirtschaftlich attraktiv zu machen.

Für die Berechnung des KWK-Wirtschaftlichkeitsindikators COGIX kann eine repräsentative Anlagenkonstellation definiert werden. Eine KWK-Anlage auf Erdgasbasis mit einem Gesamtwirkungsgrad von 85% und einer arbeitsbezogenen Stromkennzahl von 1,0 bildet hierfür eine sinnvolle und robuste Basis. Sensitivitätsrechnungen bestätigen die Robustheit dieser Annahmen mit Blick auf die Bildung eines aussagekräftigen Indikators.

Die Parametrisierung des KWK-Wirtschaftlichkeitsindikators COGIX hinsichtlich der energiewirtschaftlichen Umfelddaten bietet sich auf der Grundlage von Börsendaten für Strom, Erdgas und CO₂-Emissionsberechtigungen an. Als robuste und aussagekräftige Datenbasis sind hier vor allem die Preise für Terminkontrakte zur Lieferung im jeweils nächsten Kalenderjahr geeignet. Alle anderen notwendigen Kosten- und Erlösdaten können auf dieser Grundlage mit robusten Ableitungen ermittelt werden.

Die exemplarische Berechnung des KWK-Wirtschaftlichkeitsindikators COGIX zeigt, dass bestehende KWK-Anlagen unter den gegebenen energiewirtschaftlichen Rahmenbedingungen ausreichende Deckungsbeiträge erwirtschaften können. Für Neuinvestitionen ist jedoch eine wirtschaftliche Darstellbarkeit nur unter günstigen Rahmenbedin-

gungen und insbesondere für den Fall höherer CO₂-Preise mit entsprechenden Rückwirkungen auf die Großhandelsmärkte für Strom gegeben.

Insgesamt ist festzustellen, dass sich die Förderung im Rahmen des KWKG als wichtigste Maßnahme zur Verbesserung der wirtschaftlichen Situation der KWK erweist. Gleichwohl reicht diese Förderung nur etwa zur Abdeckung der neben den Investitions-, Brennstoff- und CO₂-Kosten anfallenden sonstigen Kosten, so dass der am Strom- und Wärmemarkt erzielte Deckungsbeitrag bei der derzeitigen Förderung durch das KWKG die Investitionskosten vollständig decken muss.

6 Referenzen

6.1 Literatur

Bundesregierung (BReg) (2007): Eckpunkte für ein integriertes Energie- und Klimaprogramm. Meseberg, 23./24. August 2007.

Matthes, F.Chr.; Ziesing, H.-J. (2011): Wirtschaftlichkeit von Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen. Band 3: Analyse der Wirtschaftlichkeit neuer KWK-Anlagen. Studie für den Verband Kommunaler Unternehmen. Berlin, Januar 2011.

6.2 Datenbasen

Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (Bafa): Grenzübergangspreise Erdgas

Energate: Marktdaten Erdgas

European Energy Exchange (EEX): Marktdaten Strom, Erdgas, Kohle, CO₂-Emissionsberechtigungen

Eurostat: Energiepreis-Daten Strom und Erdgas für Haushalte und Industrie

Evomarket: Marktdaten CO₂-Emissionsberechtigungen

Oanda.com: Wechselkursdaten

Statistisches Bundesamt: Daten zur Energiepreisentwicklung. Lange Reihen von Januar 2000.

**Dr. Felix Christian Matthes
Dr. Hans-Joachim Ziesing**

Wirtschaftlichkeit von Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen

Studie für den
Verband kommunaler Unternehmen e.V.
(VKU)

**Band 2:
Der KWK-Wirtschaftlichkeitsindikator
COGIX – Jahresbericht 2009/2010**

Berlin, Januar 2011

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	- 3 -
1 Einführung	- 5 -
2 Energiewirtschaftliche Basisdaten.....	- 6 -
3 KWK-Wirtschaftlichkeitsindikator COGIX.....	- 8 -

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Entwicklung der monatlichen Preise für Terminlieferungen von Strom (Base), Erdgas sowie CO ₂ - Emissionsberechtigungen, 2003-2010	- 6 -
Abbildung 2	Entwicklung der monatlichen Preise für Terminlieferungen von Strom (Base), Erdgas sowie CO ₂ - Emissionsberechtigungen, 2009-2010	- 7 -
Abbildung 3	KWK-Wirtschaftlichkeitsindikator COGIX und dessen Interpretation	- 8 -

1 Einführung

Die Stärkung und der Ausbau der gekoppelten Erzeugung von Strom und Wärme bilden traditionell einen wichtigen Pfeiler von Klima- und Ressourcenschonungspolitik. Mit dem Einsatz der Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) können – bei realistischen Annahmen – im Vergleich zur ungekoppelten Erzeugung von Strom und Wärme (bzw. auch Kälte) Energieeinsparungen und auch Minderungen von Treibhausgasemissionen in erheblichem Umfang erzielt werden. Mit dem Integrierten Energie- und Klimaschutzprogramm der Bundesregierung (BReg 2007) ist 2007 so das Ziel gesetzt worden, den Anteil des in KWK erzeugten Stroms auf 25% des gesamten Stromaufkommens zu erhöhen.

Die wirtschaftliche Attraktivität der KWK ist ein wesentlicher Treiber für die Sicherung und den Ausbau der Strom- und Wärmeerzeugung in KWK. Diese ergibt sich jedoch – als Besonderheit der KWK – vor allem aus den Entwicklungen auf vier verschiedenen Märkten, dem Strom- und Brennstoffmarkt für Kraftwerke, dem Wärmemarkt im Bereich der zu beliefernden Kunden und dem Markt für CO₂-Zertifikate. Zudem muss für Neuinvestitionen der dynamische Anlagenmarkt Berücksichtigung finden.

Um die komplexen Zusammenhänge für die Wirtschaftlichkeit von KWK-Anlagen zu verdichten, wurde für den Verband kommunaler der KWK-Wirtschaftlichkeitsindikator COGIX (COGeneration IndeX) entwickelt.¹ Dieser Indikator wird auf der Basis aktueller Energie- und CO₂-Marktdaten entwickelt und repräsentiert KWK-Anlagen auf Erdgasbasis, die im Großhandelsmarkt für Strom aktiv sind oder aktiv sein können.

Der KWK-Wirtschaftlichkeitsindikator COGIX ist eine Maßzahl für die durch KWK-Anlagen erwirtschaftbaren Deckungsbeiträge bei standardisierten Rahmenbedingungen. Die Entwicklung des COGIX erlaubt damit einerseits Aussagen über die wirtschaftliche Situation des Betriebes bestehender KWK-Anlagen, die vor allem ihre laufenden Kosten erwirtschaften müssen und andererseits eine Einordnung der Wirtschaftlichkeit von Neuinvestitionen in hocheffiziente KWK-Anlagen.

Der COGIX wird auf monatlicher Basis aktualisiert und kann auf Basis jeweils aktueller Energie- und CO₂-Preisprojektionen auch für die Zukunft fortgeschrieben werden. Auf Grundlage der verfügbaren Energiemarktdaten wird der COGIX für den Zeitraum seit Anfang 2003 berechnet.

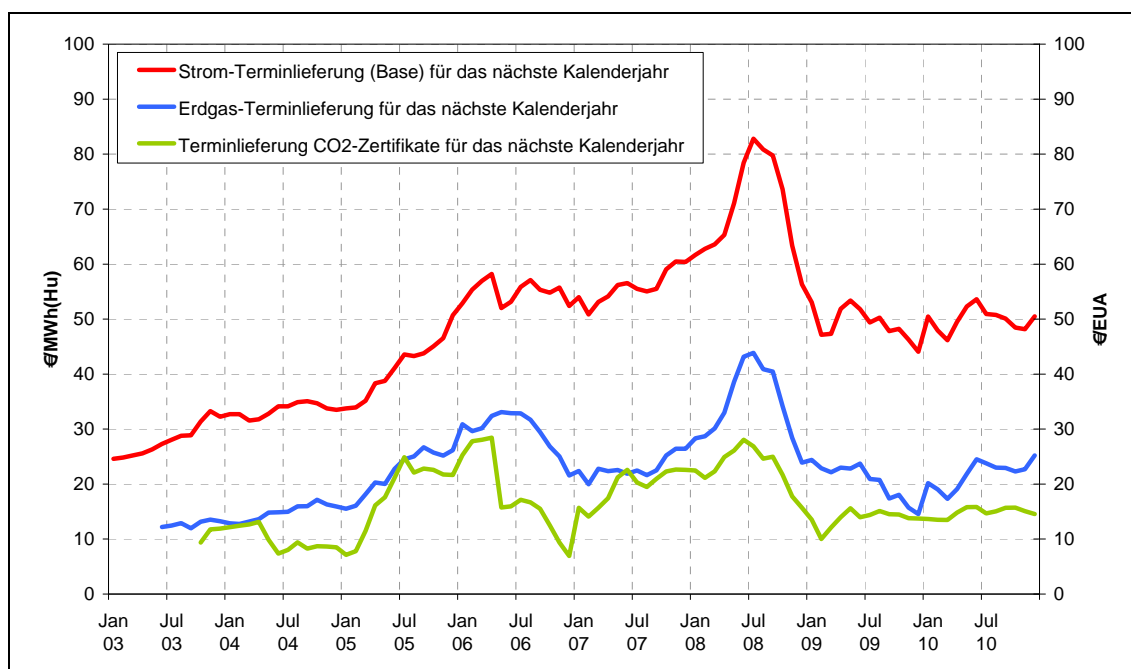
Im hier vorgelegten Jahresbericht 2010 werden die energiewirtschaftlichen Basisdaten für die Entwicklung des COGIX bis einschließlich Oktober 2010 dokumentiert und diskutiert sowie der Ergebnisse für den COGIX dargestellt und hinsichtlich der wirtschaftlichen Situation der KWK eingeordnet.

¹ Die Methodik und die Parametrisierung des KWK-Wirtschaftlichkeitsindikators COGIX und dessen Interpretation sind in Matthes/Ziesing (2011) im Einzelnen dokumentiert.

2 Energiewirtschaftliche Basisdaten

Die Preisentwicklung der für die Ermittlung des KWK-Wirtschaftlichkeitsindikators COGIX genutzten Energie- und CO₂-Marktdaten ist in den Jahren seit 2003 durch eine erhebliche Volatilität gekennzeichnet (Abbildung 1).

Abbildung 1 Entwicklung der monatlichen Preise für Terminlieferungen von Strom (Base), Erdgas sowie CO₂-Emissionsberechtigungen, 2003-2010



Quelle: EEX, Energate, eigene Berechnungen.

Im Zeitraum 2003 bis Mitte 2006 sind die **Großhandelspreise für Strom** von etwa 25 €/MWh auf fast 60 €/MWh vergleichsweise stetig gestiegen. Die Phase von Mitte 2006 bis Mitte 2007 ist durch eine Stagnation des Strompreises im Bereich von 50 bis 60 €/MWh charakterisiert, ab Mitte 2007 stiegen die Strompreise – wie die Preise auf nahezu allen Commodity-Märkten – massiv an und erreichten Mitte 2008 mit über 80 €/MWh ihren bisherigen Höchstpunkt. Das zweite Halbjahr 2008 ist dann durch einen massiven Rückgang der Strompreise auf ein Niveau von um die 50 €/MWh geprägt. Seit Anfang 2009 schwanken die Preise für Terminlieferungen von Strom (Base) für das jeweils nächste Kalenderjahr um einen Wert von 50 €/MWh, seit Mitte 2010 zunächst mit deutlich fallender Tendenz und einer leichten Erholung in den letzten Monaten des Jahres 2010.

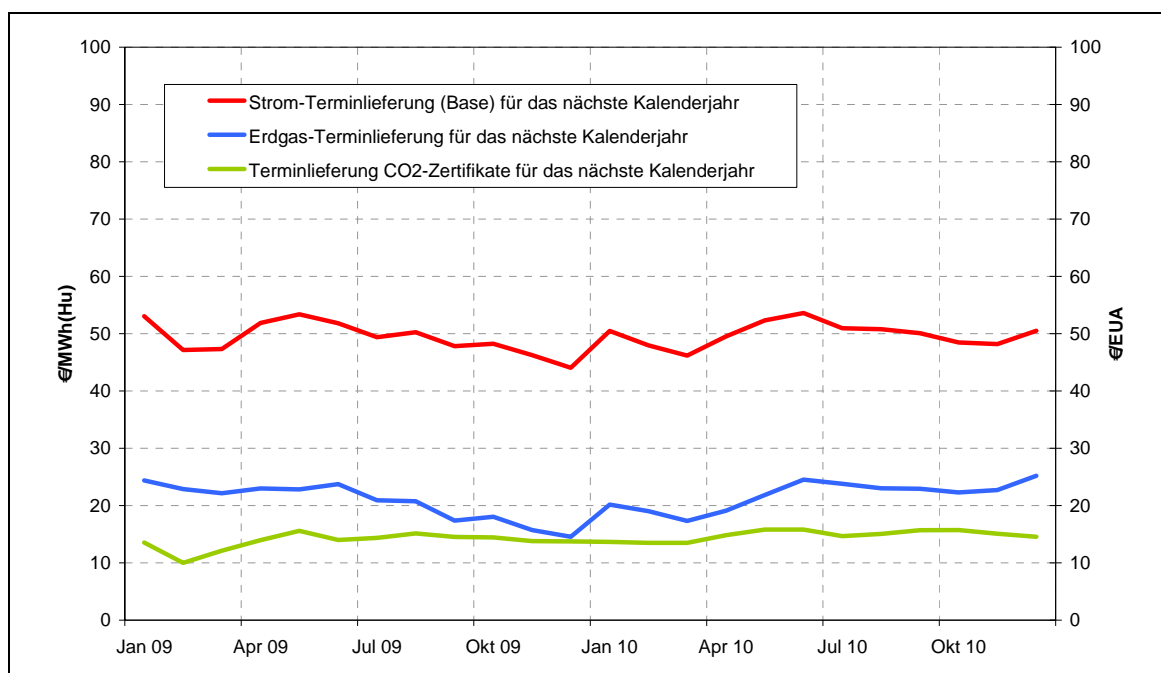
Die **Großhandelspreise für Erdgas** folgen seit Anfang 2003 einer ähnlichen Dynamik, die jedoch teilweise stärker ausgeprägt ist als die in den Strommärkten. Die Preise für Terminlieferungen im jeweils nächsten Kalenderjahr stiegen von etwa 12 €/MWh (aus Gründen der besseren Vergleichbarkeit berechnet auf den unteren Heizwert) auf etwa 33 €/MWh im Sommer 2006. Die Preisentwicklung im Zeitraum von Mitte 2006 bis Anfang 2007 durch einen erheblichen Rückgang der Erdgaspreise auf Niveaus von etwa

20 €/MWh gekennzeichnet. Seinen bisherigen Höchstpunkt erreichte der Preis für Erdgas-Terminlieferungen im Sommer 2008 mit 44 €/MWh. Der Rückgang der Preise für Erdgas nach dem Höhepunkt im Juli 2008 hielt länger an als bei den Strompreisen und erreichte erst im Ende 2009 bei etwa 15 €/MWh die Talsole. Bis Mitte 2010 sind die Erdgaspreise auf den Terminmärkten dann wieder deutlich auf 25 €/MWh angestiegen und zeigt seit Juli 2010 wieder etwas rückläufige Tendenzen, zogen aber in den letzten Monaten des Jahres 2010 wieder deutlich an.

Im Vorfeld der Einführung des EU-Emissionshandelssystems für Treibhausgase am 1. Januar 2005 bewegten sich die Preise von **Terminlieferungen für Emissionsberechtigungen** auf einem relativ stabilen Niveau von etwa 10 €/EUA. Bis zum Frühjahr 2006 ist die Preisentwicklung dann – mit einigen Erholungsabschnitten – durch erhebliche Preisanstiege bis auf ein Niveau von knapp 30 €/EUA geprägt. Nach dem Zusammenbruch des CO₂-Preises im Frühjahr gingen die Preise für Terminlieferungen von CO₂-Emissionsberechtigungen für das jeweils nächste Kalenderjahr auf Werte von bis zu 8 €/MWh zurück, erholten sich dann mit Beginn der zweiten Handelsperiode (2008-2012) dann schnell und erreichten im Sommer 2008 dann mit Werten von 28 €/EUA wieder ein Niveau, das fast den Spitzenwerten des Frühjahrs 2006 entsprach. Nach dem massiven Rückgang der Preise bis zum Frühjahr 2009 liegen die Preise für CO₂-Zertifikate im Verlauf des Jahres 2010 im Bereich von 15 €/EUA.

Die wirtschaftliche Situation der KWK ist in diesem Umfeld durch eine erhebliche Dynamik gekennzeichnet, wenn sich auch die Rahmenbedingungen im Verlauf der Jahre 2009 und 2010 zunächst etwas stabilisiert haben.

Abbildung 2 Entwicklung der monatlichen Preise für Terminlieferungen von Strom (Base), Erdgas sowie CO₂-Emissionsberechtigungen, 2009-2010

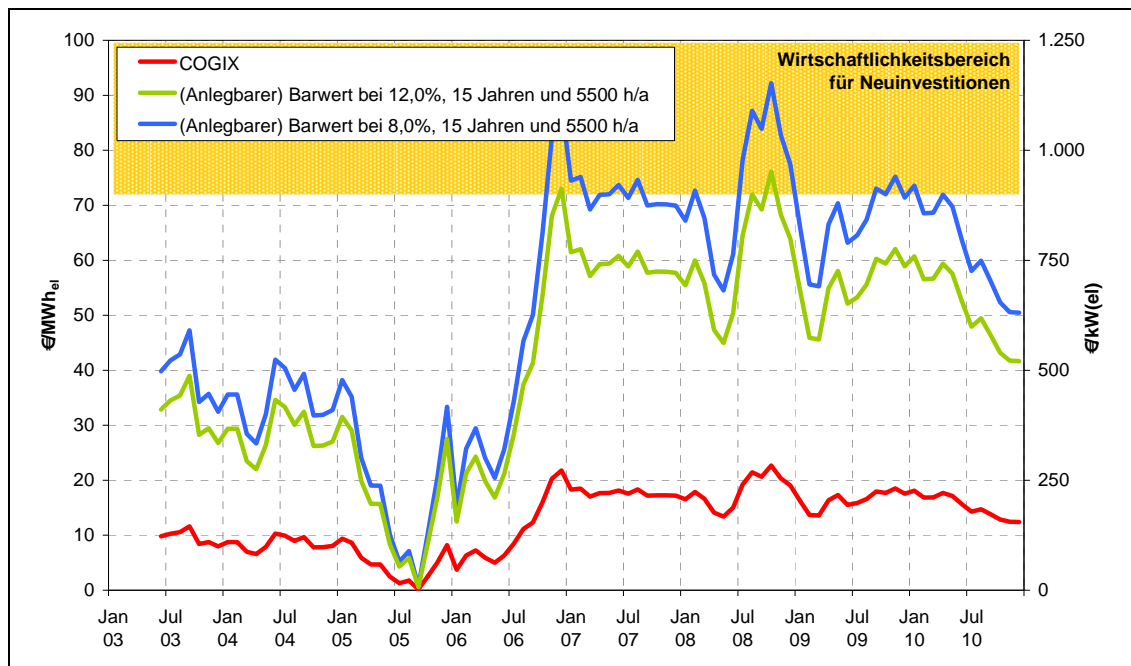


Quelle: EEX, Energate, eigene Berechnungen.

3 KWK-Wirtschaftlichkeitsindikator COGIX

Die Abbildung 3 zeigt die Entwicklung des **KWK-Wirtschaftlichkeitsindikators COGIX** für den Zeitraum seit Anfang 2003.

Abbildung 3 KWK-Wirtschaftlichkeitsindikator COGIX und dessen Interpretation



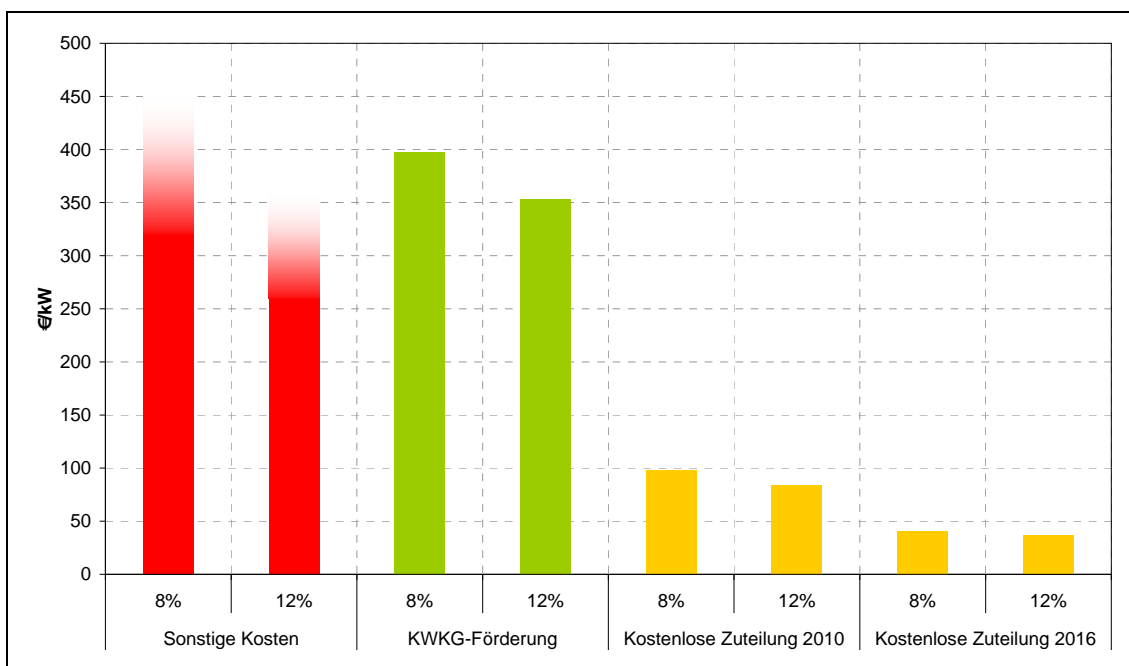
Quelle: eigene Berechnungen.

Von Anfang 2003 bis Ende 2004 konnten KWK-Anlagen Deckungsbeiträge von etwa 10 €/MWh erwirtschaften. Das Jahr 2005 war durch einen starken Einbruch der erzielbaren Deckungsbeiträge gekennzeichnet, die sich erst ab Anfang 2006 wieder erholen konnten. Bis Anfang 2007 konnten dann stetig steigende Deckungsbeiträge erwirtschaftet werden, der KWK-Wirtschaftlichkeitsindikator COGIX erreichte hier Werte um die 20 €/MWh. Im Verlauf der Jahre 2007, 2008 und 2009 wurden Deckungsbeiträge in der Bandbreite von 15 bis 20 €/MWh erzielbar, wobei im Zuge der Hausse im Sommer 2008 auch die Werte des COGIX das Niveau von 20 €/MWh erkennbar überschritten. Nach dem starken Rückgang des COGIX ab dem Frühjahr 2010 ging der Wert dann wieder deutlich unter 15 €/MWh zurück, bei insgesamt ungebrochen rückläufiger Tendenz.

Für den gesamten Zeitraum reichten die im COGIX repräsentierten Deckungsbeiträge also aus, um den Betrieb bestehender Anlagen wirtschaftlich darstellen zu können. Eine andere Situation ergibt sich für Neuinvestitionen in KWK-Anlagen. Hier hätte eine Fortschreibung der Momentanwerte für die Deckungsbeiträge letztlich nur in wenigen Phasen (2007 und 2008) und bei vergleichsweise niedrigen Verzinsungsanforderungen sowie bei günstigen Anlagenpreisen ausgereicht, eine wirtschaftlich erfolgreiche Investition zu rechtfertigen. Für die sonstigen Kosten (Personal, Instandhaltung, Versiche-

nung etc.) wären jedoch darüber hinaus Kosten angefallen, die in etwa (als Barwert berechnet) der Förderung durch das KWKG entsprechen (Abbildung 4). Die wirtschaftliche Situation für KWK-Neuanlageninvestitionen wird sich in den nächsten Jahren auch durch die veränderten Zuteilungsregelungen im Rahmen des EU-Emissionshandelssystems verschärfen, da der Barwert der kostenlosen Zuteilung für die KWK-Wärmeerzeugung deutlich zurückgehen wird. Bei einer Anlage, die im Jahr 2016 in Betrieb genommen würde, fällt der Barwert der kostenlosen Zuteilung im Vergleich zur Situation bei einer Anlageninbetriebnahme im Jahr 2010 um ca. 60%.

Abbildung 4 Vergleich des Barwerts der sonstigen Betriebskosten von KWK-Anlagen mit dem Barwert verschiedener Fördermaßnahmen



Quelle: eigene Berechnungen.

Seit Sommer 2010 zeigt die Entwicklung des COGIX sehr deutlich, dass bei einer Fortschreibung des aktuellen energiewirtschaftlichen Umfeldes eine Investitionen in die hier betrachteten KWK-Anlagen als kaum noch darstellbar erscheint. Die Fortführung des KWKG in der bisherigen Größenordnung würde die Wirtschaftlichkeit zwar tendenziell verbessern, aber nur unter günstigen Randbedingungen zu einem positiven Ergebnis führen. Dies gilt vor allem für größere und vor allem wärmemarktorientiert betriebene Anlagen. Dabei ist auch nicht zu übersehen, dass sich die wirtschaftliche Bewertung mit steigenden Zertifikatspreisen (wegen der damit einhergehenden Strompreiseffekte) günstiger darstellt.

Für die wirtschaftliche Darstellbarkeit einer **KWK-Neuanlageninvestition ohne jede Förderung** müsste der KWK-Wirtschaftlichkeitsindikator COGIX beim derzeitigen Stand von Investitions- und sonstigen Betriebskosten auf mindestens 25, im Regelfall eher auf 30 €/MWh steigen. Derartige Werte wurden in den letzten Jahren nur sehr ver-

einzelnt auch nur annähernd erreicht. Angesichts der in den letzten Monaten vergleichsweise stetig fallenden Werte für den COGIX ist eine solche Erholung jedoch (noch) nicht absehbar.

4 Schlussfolgerungen

Das Jahr 2010 war für bestehende KWK-Anlagen durch eine auskömmliche wirtschaftliche Situation gekennzeichnet. Existierende Anlagen konnten Deckungsbeiträge erwirtschaften, die einen wirtschaftlichen Anlagenbetrieb ermöglichten.

Nachdem der KWK-Wirtschaftlichkeitsindikator COGIX im Zeitraum 2007 bis Mitte 2010 bei Werten in der Bandbreite von 15 bis 20 €/MWh gelegen hatte, ging er im Verlauf der zweiten Jahreshälfte 2010 vergleichsweise stetig zurück und erreichte Ende 2010 nur noch einen Wert von etwa 12,50 €/MWh, nachdem er Anfang des Jahres 2010 noch bei etwa 18 €/MWh gelegen hatte.

Für Investitionen in KWK-Neuanlagen ergab sich im Verlauf des Jahres 2010 eine deutliche Verschärfung der wirtschaftlichen Rahmenbedingungen. Nachdem im Jahr 2009 Deckungsbeiträge erwirtschaftet wurden, die – unter Berücksichtigung der verschiedenen Fördermaßnahmen – die Erwirtschaftung der Investitions- und sonstigen Kosten möglich erscheinen lassen, erreichte der KWK-Wirtschaftlichkeitsindikator COGIX im Verlauf des Jahres 2010 nur noch ein Niveau, bei dem eine deutliche Ausweitung der Förderung notwendig wäre, um Neuinvestitionen in die hier berücksichtigten (größeren) KWK-Anlagen selbst bei moderaten Verzinsungsanforderungen zu rechtfertigen.

Dies gilt insbesondere vor dem Hintergrund der Tatsache, dass die Förderbeiträge aus dem EU-Emissionshandelssystem (kostenlose Zuteilung für die Wärmeerzeugung von KWK-Anlagen) im Zuge des stetigen Abschmelzens der kostenlosen Zuteilung in den nächsten Jahren deutlich abnehmen, d.h. sich bis Mitte der Dekade mehr als halbieren werden. Unabhängig davon ist aber festzustellen, dass sich die Wirtschaftlichkeit mit steigenden CO₂-Zertifikatspreisen tendenziell verbessert.

Auch mit Blick auf diese Entwicklungen gilt, dass KWK-Neuanlageninvestitionen in der mit Bezug auf den COGIX relevanten KWK-Anlagenklasse (große Anlagen mit einer elektrischen Leistung im mindestens zweistelligen Megawattbereich) ohne jede Förderung nur darstellbar werden, wenn der KWK-Wirtschaftlichkeitsindikator COGIX beim derzeitigen Stand von Investitions- und sonstigen Betriebskosten auf 25 bis 30 €/MWh steigen, d.h. sich um den Faktor 2 bis 2,5 erhöhen müsste. Derartige Werte wurden in den letzten Jahren nur im Ausnahmefall und nur für sehr kurze Zeiträume allenfalls annähernd und knapp erreicht. Angesichts der in den letzten Monaten vergleichsweise stetig fallenden Werte für den COGIX ist eine solche Erholung jedoch zumindest derzeit nicht absehbar.

Immerhin ist festzustellen, dass sich die Förderung im Rahmen des KWKG als wichtigste Maßnahme zur Verbesserung der wirtschaftlichen Situation der KWK erweist. Gleichwohl reicht diese Förderung nur etwa zur Abdeckung der neben den Investitions-,

Brennstoff- und CO₂-Kosten anfallenden sonstigen Kosten, so dass der am Strom- und Wärmemarkt erzielte Deckungsbeitrag bei der derzeitigen Förderung durch das KWKG die Investitionskosten vollständig decken muss.

Ingesamt zeigt sich, dass für die Bewertung der wirtschaftlichen Situation der KWK eine integrierte Betrachtungsweise notwendig ist. Der KWK-Wirtschaftlichkeitsindikator COGIX kann diesbezüglich eine umfassende, transparente und belastbare Orientierung bieten und als Entscheidungshilfe dienen.

5 Referenzen

5.1 Literatur

Bundesregierung (BReg) (2007): Eckpunkte für ein integriertes Energie- und Klimaprogramm. Meseberg, 23./24. August 2007.

Matthes, F.Chr.; Ziesing, H.-J. (2011): Wirtschaftlichkeit von Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen. Band 1: Der KWK-Wirtschaftlichkeitsindikator COGIX - Methodenband. Studie für den Verband Kommunaler Unternehmen. Berlin, Januar 2011.

5.2 Datenbasen

Energate: Marktdaten Erdgas

European Energy Exchange (EEX): Marktdaten Strom, Erdgas, Kohle, CO₂-Emissionsberechtigungen

Evomarket: Marktdaten CO₂-Emissionsberechtigungen

Dr. Felix Christian Matthes
Dr. Hans-Joachim Ziesing

Wirtschaftlichkeit von Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen

Studie für den
Verband kommunaler Unternehmen e.V.
(VKU)

Band 3:
**Analyse der Wirtschaftlichkeit
neuer KWK-Anlagen**

Berlin, Januar 2011

Inhaltsverzeichnis

1	Vorbemerkungen und Zielsetzung	11 -
2	Veränderungen der KWK-relevanten Rahmenbedingungen	13 -
2.1	Wirtschaftliche Rahmenbedingungen.....	13 -
2.2	Politische Rahmenbedingungen.....	24 -
3	Wirtschaftlichkeit neuer KWK-Anlagen auf der Basis von Modellannahmen	31 -
3.1	Annahmen für die Modellrechnungen	31 -
3.2	Ergebnisse im Referenz-Szenario	37 -
3.3	Ergebnisse in der günstigen Variante bei 100%-Einspeisung	39 -
3.4	Ergebnisse in der ungünstigen Szenario bei 100%-Einpreisung .	41 -
3.5	Weitere Interpretationshinweise	42 -
4	Zusammenfassung und Schlussfolgerung	47 -
5	ANLAGEN	49 -

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Entwicklung der Weltmarktpreise für Rohöl (Brent) von August 2005 bis Mitte Dezember 2010	- 13 -
Abbildung 2	Entwicklung der Welt-Rohölpreise, der Rohölimportpreise in Deutschland sowie der Wechselkurse von 2000 bis November 2010.....	- 14 -
Abbildung 3	Entwicklung der Rohöl- und Erdgas-Importpreise von 2005 bis Oktober 2010.....	- 15 -
Abbildung 4	Entwicklung der Grenzübergangswerte für Erdgas von 1991 bis Oktober 2010.....	- 15 -
Abbildung 5	Entwicklung der Future für Erdgas mit Lieferperioden 2001, 2012 und 2013 von Anfang 2009 bis Ende August 2010.....	- 16 -
Abbildung 6	Entwicklung der Weltmarktpreise für Rohöl und Kohlen von 2007 bis November (Rohöl)/Dezember (Kohle) 2010.....	- 17 -
Abbildung 7	Entwicklung des Grenzübergangswertes für Steinkohlenimporte vom 1. Quartal 2000 bis zum 3. Quartal 2010.....	- 17 -
Abbildung 8	Entwicklung der Kohle Futures für das Liefermonat Januar 2012 von Januar 2009 bis August 2010.....	- 18 -
Abbildung 9	Quartalspreise für Strom gemäß KWK-Gesetz von 2000 bis zum 4. Quartal 2010	- 19 -
Abbildung 10	Entwicklung der Strom Futures (Peak und Base) für Lieferzeitpunkte 2011 und 2013 von Anfang 2009 bis Mitte Oktober 2010.....	- 20 -
Abbildung 11	Entwicklung der CO2-Zertifikatspreise in der zweiten Handelsperiode von Anfang 2008 bis Herbst 2010	- 21 -

Abbildung 12	Entwicklung der CO ₂ -Zertifikatspreise (Spotpreis- und Future) von Anfang 2008 bis Ende August 2010.....	- 21 -
Abbildung 13	Entwicklung der an der EEX für den Januar 2012 gehandelten Stromfutures und der Preise für CO ₂ -Zertifikate (spot und future)	- 22 -
Abbildung 14	Entwicklung der Entwicklung der Erzeugerpreise für Fernwärme von Januar 2000 bis November 2010.....	- 23 -
Abbildung 15	Entwicklung der Preise für Fernwärme, Erdgas und Heizöl, leicht, 2000 bis November 2010.....	- 24 -
Abbildung 16	Annehmen zur langfristigen Entwicklung der Preise für den Brennstoffeinsatz in KWK-Anlagen	- 34 -
Abbildung 17	Referenz-Szenario: Kapitalwert großer KWK-Anlagen bei einem Zinssatz von 8 % und Auktionierung ohne CO ₂ -Einpreisung nach CO ₂ -Preisen	- 50 -
Abbildung 18	Referenz-Szenario: Kapitalwert großer KWK-Anlagen bei einem Zinssatz von 8 % und Auktionierung mit 100%-CO ₂ -Einpreisung nach CO ₂ -Preisen.....	- 51 -
Abbildung 19	Referenz-Szenario: Kapitalwert großer KWK-Anlagen bei einem Zinssatz von 8 % und Auktionierung mit 100%-CO ₂ -Einpreisung und Förderung nach dem KWKG/EEG nach CO ₂ -Preisen	- 51 -
Abbildung 20	Referenz-Szenario: Kapitalwert kleiner KWK-Anlagen bei einem Zinssatz von 8 % und Auktionierung mit 100%-CO ₂ -Einpreisung nach CO ₂ -Preisen.....	- 52 -
Abbildung 21	Referenz-Szenario: Kapitalwert kleiner KWK-Anlagen bei einem Zinssatz von 8 % und Auktionierung mit 100%-CO ₂ -Einpreisung und Förderung nach KWKG und Mini-KWK-Programm nach CO ₂ -Preisen	- 52 -
Abbildung 22	Günstige Variante: Kapitalwert großer KWK-Anlagen bei einem Zinssatz von 8 % bei vollständiger Auktionierung mit 100%-CO ₂ -Einpreisung nach CO ₂ -Preisen.....	- 53 -

Abbildung 23	Günstige Variante: Kapitalwert großer KWK-Anlagen bei einem Zinssatz von 8 % bei Auktionierung mit 100%-CO ₂ -Einpreisung und Förderung nach KWKG/EEG nach CO ₂ -Preisen.....	- 53 -
Abbildung 24	Günstige Variante: Kapitalwert kleiner KWK-Anlagen bei einem Zinssatz von 8 % bei Auktionierung mit 100%-CO ₂ -Einpreisung nach CO ₂ -Preisen.....	- 54 -
Abbildung 25	Günstige Variante: Kapitalwert kleiner KWK-Anlagen bei einem Zinssatz von 8 % bei Auktionierung mit 100%-CO ₂ -Einpreisung sowie Förderung nach KWKG und Mini-KWK-Programm nach CO ₂ -Preisen	- 54 -
Abbildung 26	Ungünstige Variante: Kapitalwert großer KWK-Anlagen bei einem Zinssatz von 8 % bei Auktionierung mit 100%-CO ₂ -Einpreisung nach CO ₂ -Preisen.....	- 55 -
Abbildung 27	Ungünstige Variante: Kapitalwert großer KWK-Anlagen bei einem Zinssatz von 8 % bei Auktionierung mit 100%-CO ₂ -Einpreisung und Förderung nach KWKG/EEG nach CO ₂ -Preisen.....	- 55 -
Abbildung 28	Ungünstige Variante: Kapitalwert kleiner KWK-Anlagen bei einem Zinssatz von 8 % bei Auktionierung mit 100%-CO ₂ -Einpreisung sowie Förderung nach KWKG und Mini-KWK-Programm nach CO ₂ -Preisen	- 56 -
Abbildung 29	Ungünstige Variante: Kapitalwert kleiner KWK-Anlagen bei einem Zinssatz von 8 % bei Auktionierung mit 100%-CO ₂ -Einpreisung sowie Förderung nach KWKG und Mini-KWK-Programm nach CO ₂ -Preisen	- 56 -

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Struktur und Entwicklung der KWK-Nutzung in Deutschland 2003 bis 2009	- 25 -
Tabelle 2	Förderung von Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen nach dem KWKG mit Stand vom 21. August 2009	- 26 -
Tabelle 3	Ermittlung des realen Barwertes der nach dem KWKG vorgesehenen Zuschläge in Abhängigkeit von der Anlagengröße, vom Zinssatz und von der Inflationsrate	- 27 -
Tabelle 4	Fördersätze nach dem „Impulsprogramm Mini-KWK-Anlagen“ (rückwirkend zum 1. August 2009 vollständig ausgesetzt)	- 28 -
Tabelle 5	Vergütungssätze des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (2008) zuletzt geändert am 31., Juli 2010	- 28 -
Tabelle 6	Annahmen für die Wirtschaftlichkeitsrechnungen neuer KWK-Anlagen: Referenz-Szenario	- 32 -
Tabelle 7	Annahmevarianten für die Wirtschaftlichkeitsrechnungen.....	- 35 -
Tabelle 8	Annahmen zur Entwicklung des Wärmebenchmarks für die Ermittlung der kostenfreien Zertifikatezuteilung an KWK-Anlagen	- 36 -
Tabelle 9	Referenz-Szenario ohne KWK-Förderung: Kapitalwert neuer KWK-Anlagen nach Zinssatz und CO ₂ -Preis, ohne Einpreisung der CO ₂ -Kosten	- 38 -
Tabelle 10	Referenz-Szenario ohne KWK-Förderung: Kapitalwert neuer KWK-Anlagen nach Zinssatz und CO ₂ -Preis, mit 100%-Einpreisung der CO ₂ -Kosten	- 38 -
Tabelle 11	Referenz-Szenario mit KWK/EEG-Förderung: Kapitalwert neuer KWK-Anlagen nach Zinssatz und CO ₂ -	

	Preis, mit 100%- Einpreisung der CO ₂ -Kosten (ohne Mini-KWK-Förderung).....	- 39 -
Tabelle 12	Günstige Variante ohne Förderung: Kapitalwert neuer KWK-Anlagen differenziert nach Zinssatz, CO ₂ -Preis bei vollständiger Auktionierung und 100%- Einpreisung der CO ₂ -Kosten	- 40 -
Tabelle 13	Günstige Variante mit KWK/EEG-Förderung: Kapitalwert neuer KWK-Anlagen differenziert nach Zinssatz, CO ₂ -Preis bei vollständiger Auktionierung und 100%- Einpreisung der CO ₂ -Kosten (ohne Mini-KWK-Förderung).....	- 40 -
Tabelle 14	Ungünstige Variante ohne Förderung: Kapitalwert neuer KWK-Anlagen differenziert nach Zinssatz, CO ₂ -Preis bei vollständiger Auktionierung und 100%- Einpreisung der CO ₂ -Kosten	- 41 -
Tabelle 15	Ungünstige Variante mit KWK/EEG-Förderung: Kapitalwert neuer KWK-Anlagen differenziert nach Zinssatz, CO ₂ -Preis bei vollständiger Auktionierung und 100%- Einpreisung der CO ₂ -Kosten (ohne Mini-KWK-Förderung).....	- 42 -
Tabelle 16	Modifiziertes Referenz-Szenario ohne KWK/EEG-Förderung bei einem modernen Steinkohlenkraftwerk als Grenzkraftwerk mit spezifischen CO ₂ -Emissionen von 750 g CO ₂ /kWh.....	- 43 -
Tabelle 17	Modifiziertes Referenzszenario mit KWK/EEG-Förderung bei einem modernen Steinkohlenkraftwerk als Grenzkraftwerk mit spezifischen CO ₂ -Emissionen von 750 g CO ₂ /kWh (ohne Mini-KWK-Förderung).....	- 44 -
Tabelle 18	Modifiziertes Referenz-Szenario ohne KWK/EEG-Förderung bei einem Erdgaskraftwerke als Grenzkraftwerk mit spezifischen CO ₂ -Emissionen von 350 g CO ₂ /kWh.....	- 44 -

Tabelle 19	Modifiziertes Referenzszenario mit KWK/EEG-Förderung bei einem Erdgaskraftwerk als Grenzkraftwerk mit spezifischen CO ₂ -Emissionen von 350 g CO ₂ /kWh (ohne Mini-KWK-Förderung).....	- 45 -
Tabelle 20	Einfluss des Mini-KWK-Förderprogramms auf die Wirtschaftlichkeit der Mini-KWK-Anlagen mit und ohne gleichzeitiger Inanspruchnahme der Förderung nach dem KKG (Zins: 8 %).....	- 46 -
Tabelle 21	Kapitalwerte von KWK-Anlagen mit Förderung nach dem KWKG2009 und mit Mini-KWK- und EEG-Förderung (Zins: 8%).....	- 58 -
Tabelle 22	Kapitalwerte von KWK-Anlagen mit Förderung nach dem KWKG2009 und mit Mini-KWK- und EEG-Förderung (Zins:12%).....	- 59 -
Tabelle 23	Kapitalwerte von KWK-Anlagen mit Förderung nach dem KWKG2009, ohne Mini-KWK- und EEG-Förderung (Zins:8%).....	- 60 -
Tabelle 24	Kapitalwerte von KWK-Anlagen mit Förderung nach dem KWKG2009, ohne Mini-KWK- und EEG-Förderung (Zins:12%).....	- 61 -

1 Vorbemerkungen und Zielsetzung

Mit dem Inkrafttreten des novellierten Gesetzes für die Erhaltung, die Modernisierung und den Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung (Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz, KWKG) am 1. Januar 2009 haben sich die Rahmenbedingungen für die Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) in Deutschland in zweierlei Hinsicht deutlich geändert. Erstens ist mit dem Gesetz eine Zielsetzung für den Ausbau der KWK definiert worden, die nur noch wenig Interpretationsspielraum hinsichtlich der Zielerfüllung lässt. Das Ziel, den Stromerzeugungsbeitrag der KWK auf 25% auszubauen, ist – auch im Kontext der Ziele des Integrierten Energie- und Klimaschutzprogramms der Bundesregierung (IEKP), in dem auch das Zieljahr 2020 definiert ist – relativ genau zu überprüfen. Dies ist ein erheblicher Fortschritt im Vergleich zur (methodisch) stets breit interpretierbaren Vorgabe eines CO₂-Minderungsbeitrags. Zweitens ist die Bandbreite der förderbaren KWK-Neuanlagen deutlich ausgeweitet worden, wozu auch die Förderung von Wärmenetzen gehört.

Für das Jahr 2011 sieht das novellierte KWKG eine Zwischenüberprüfung vor, in der insbesondere der Beitrag zur Erreichung der energie- und klimapolitischen Ziele der Bundesregierung sowie die Rahmenbedingungen für den wirtschaftlichen Betrieb von KWK-Anlagen und die jährlichen Zuschlagzahlungen analysiert und bewertet werden sollen. Nachdem – im Gegensatz zu den bisherigen Verfahren der Zwischenüberprüfung – die Frage der Zielerfüllung durch den deutlich weniger bestreitbaren Anteil an der Stromerzeugung sowie die inzwischen etablierten bzw. derzeit vorbereiteten Prozeduren zum Monitoring (der KWK-Vereinbarung) und zum IEKP in der Zwischenüberprüfung wahrscheinlich als weniger kritisch anzusehen ist, wird die sich die Bewertung der Wirtschaftlichkeit von KWK-Anlagen, d.h. ggf. auch der Förderbedürftigkeit und der Spezifikation von Zuschlagzahlungen als einer der kritischen Punkte der Zwischenüberprüfung im Jahr 2011 erweisen.

In diesem Rahmen ist die zentrale Zielsetzung der im Auftrag des VKU bearbeiteten Untersuchung die Bewertung der Wirtschaftlichkeit von KWK-Anlagen. Dabei geht es sowohl um die Entwicklung eines schnell reproduzierbaren Standard-Verfahrens für die wirtschaftliche Bewertung des Betriebs bestehender KWK-Anlagen, als auch um die Erstellung von jährlich reproduzierbaren Analysen zum jeweils aktuellen Stand der Wirtschaftlichkeitsbewertung von Neuinvestitionen in KWK-Anlagen. Gegenstand des hier als Band 3 der Gesamtuntersuchung vorgelegten Teilberichtes ist die Untersuchung der Wirtschaftlichkeit neuer KWK-Anlagen. Dabei sollen im folgenden Kapitel zunächst die Veränderungen der wirtschaftlichen und politischen Rahmenbedingungen für

die KWK dargestellt werden. Dem folgt in Kapitel 3 die konkrete Wirtschaftlichkeitsanalyse mit einer Definition der dazu getroffenen Annahmen und einer Diskussion der daraus folgenden Ergebnisse. Der Bericht schließt mit einer kurzen Zusammenfassung und einigen wesentlichen Schlussfolgerungen.

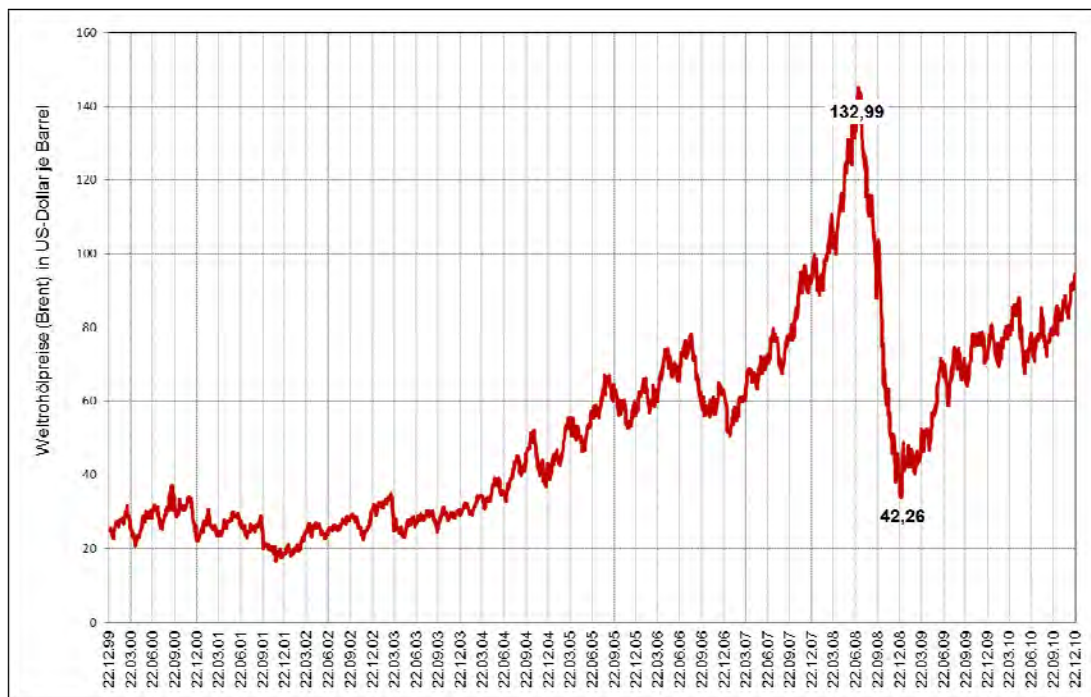
2 Veränderungen der KWK-relevanten Rahmenbedingungen

2.1 Wirtschaftliche Rahmenbedingungen

Die Wirtschaftlichkeit der KWK ist außer von den originären wirtschaftlichen Faktoren (Gaspreise, Strompreise, Zinssatz, Investitionskosten, Betriebskosten u.ä.) abhängig von politisch bestimmten Rahmenbedingungen (z.B. KWK-Gesetz; Ökosteuer, Emissionshandel) sowie technischen Determinanten (z.B. Niveau und Struktur des jeweiligen Wärmemarktes). Im Folgenden soll vorrangig auf die Veränderungen der wirtschaftlichen Rahmenbedingungen eingegangen werden. Dazu zählt in erster Linie die Entwicklung der Energiepreise, speziell der Öl-, Kohle-, Gas- und Strompreise.

Die weltweite Entwicklung der **Rohölpreise** ist nach wie vor durch eine hohe Volatilität geprägt: Nach einer längeren Phase vergleichsweise niedriger Rohölpreise von Mitte der achtziger bis Mitte der ersten Dekade des 21. Jahrhunderts mit seinem Tiefpunkt Ende der neunziger Jahre, wurde erstmals wieder im Jahr 2004 die \$40 /bbl-Marke überschritten mit dem Höhepunkt von über 140 \$/bbl. im Juli 2008. Ebenso drastisch fielen die Ölpreise in der Folgezeit bis auf ein Niveau von 35 \$/bbl. Ende 2008. Seither zeichnet sich wieder ein mehr oder weniger ausgeprägter Preisanstieg bis auf über 90 \$/bbl. Ende 2010 (Abbildung 1 und Abbildung 2).

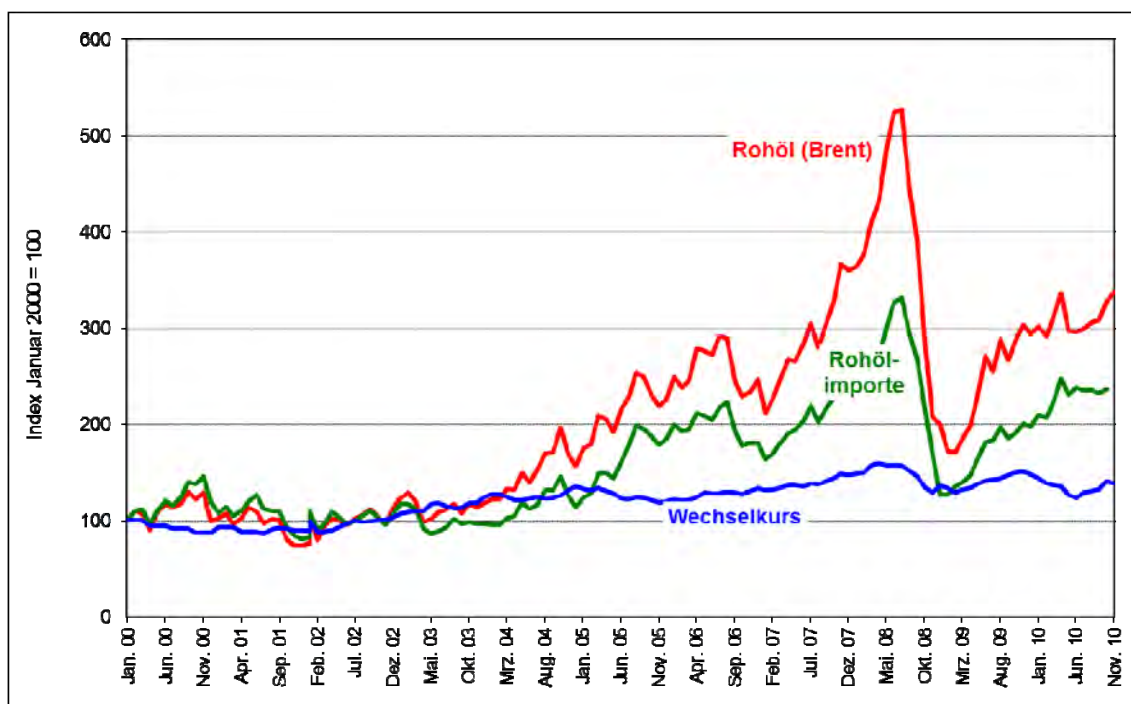
Abbildung 1 Entwicklung der Weltmarktpreise für Rohöl (Brent) von August 2005 bis Mitte Dezember 2010



Quelle: EIA.

Die Veränderungen der weltweiten Rohölpreise beeinflussten direkt oder indirekt die Importpreise für Rohöl, Mineralölprodukte, Erdgas und Kohle. Differenzen ergeben sich weitgehend durch die jeweilige Entwicklung der Wechselkurse; durch die Höherbewertung des Euro blieb der Anstieg der Rohölimportpreise spürbar hinter dem Welt-Rohölpreis zurück; seit Mitte 2008 kehrt diese Tendenz indes leicht um (Abbildung 2).

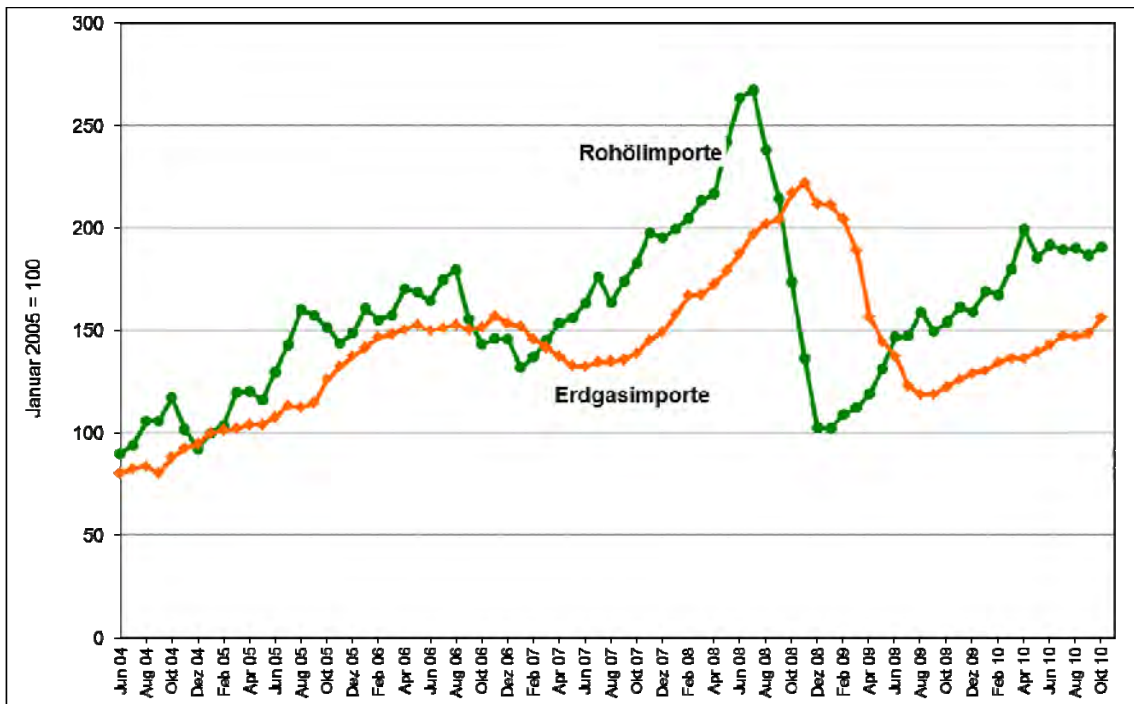
Abbildung 2 Entwicklung der Welt-Rohölpreise, der Rohölimportpreise in Deutschland sowie der Wechselkurse von 2000 bis November 2010



Quelle: Statistisches Bundesamt, MWV, Statistik der Kohlenwirtschaft.

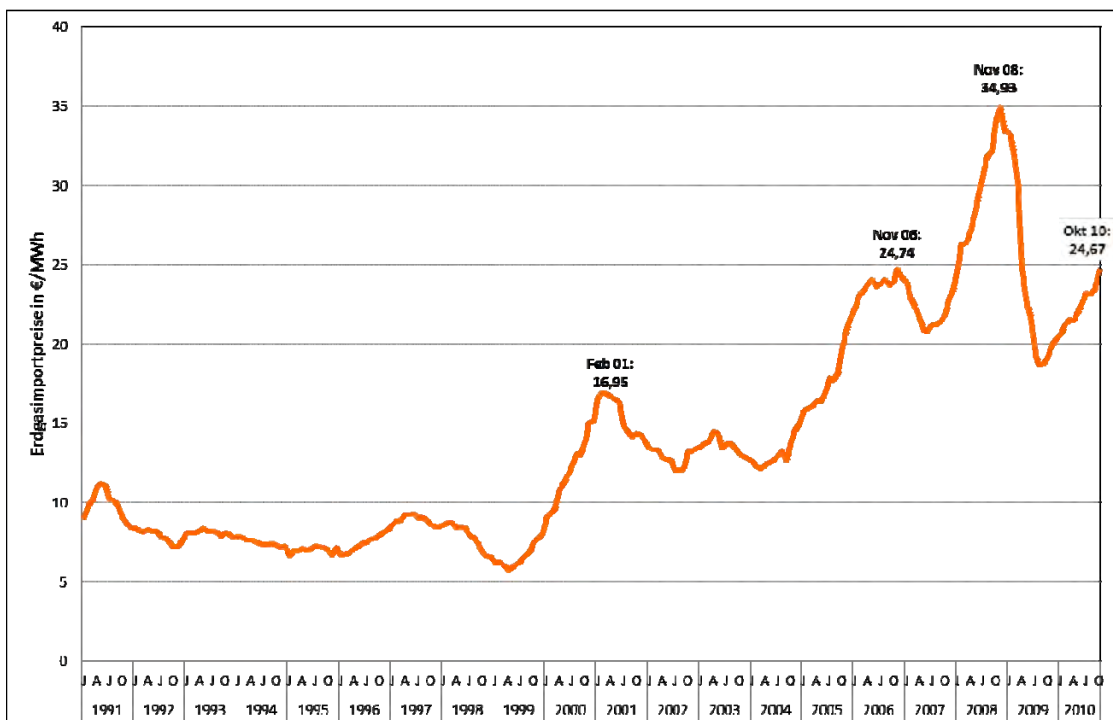
Noch stärker ausgeprägt stellt sich (zumindest bisher) der Zusammenhang zwischen Rohölimporten und Erdgasimporten dar, wenn auch die Erdgasimportpreise dem Rohölpreise gewöhnlich mit einem Zeitabstand von etwa einem halben Jahr folgen (Abbildung 3 und Abbildung 4). Interessant ist auch, dass die an der Leipziger EEX gehandelten Futures für Erdgas zwar vom Niveau her bei späteren Lieferzeiträumen spürbar höhere Preise aufweisen, insgesamt aber in den vergangenen Monaten, selbst bei Lieferungen im Jahr 2013, stets unter 24 Euro/MWh_{Ho} lagen. Eine eindeutige Aufwärtstendenz ist insoweit momentan auch nicht zu erkennen (Abbildung 5).

Abbildung 3 Entwicklung der Rohöl- und Erdgas-Importpreise von 2005 bis Oktober 2010



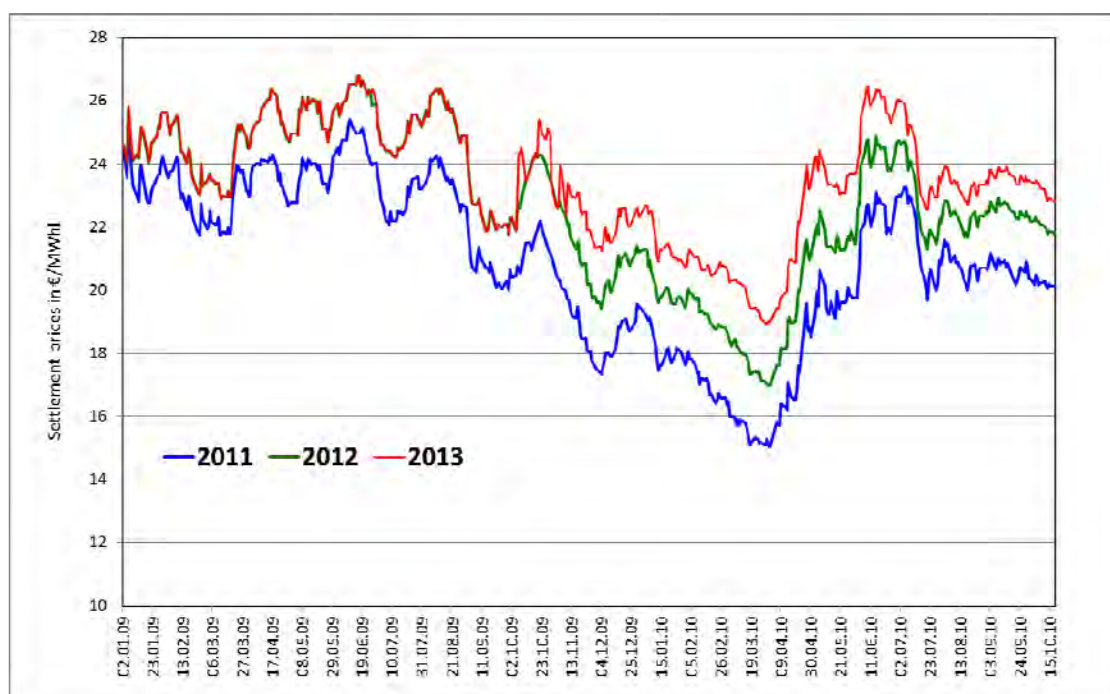
Quelle: BMWi, BAFA.

Abbildung 4 Entwicklung der Grenzübergangswerte für Erdgas von 1991 bis Oktober 2010



Quelle: BMWi.

Abbildung 5 Entwicklung der Future für Erdgas mit Lieferperioden 2001, 2012 und 2013 von Anfang 2009 bis Ende August 2010

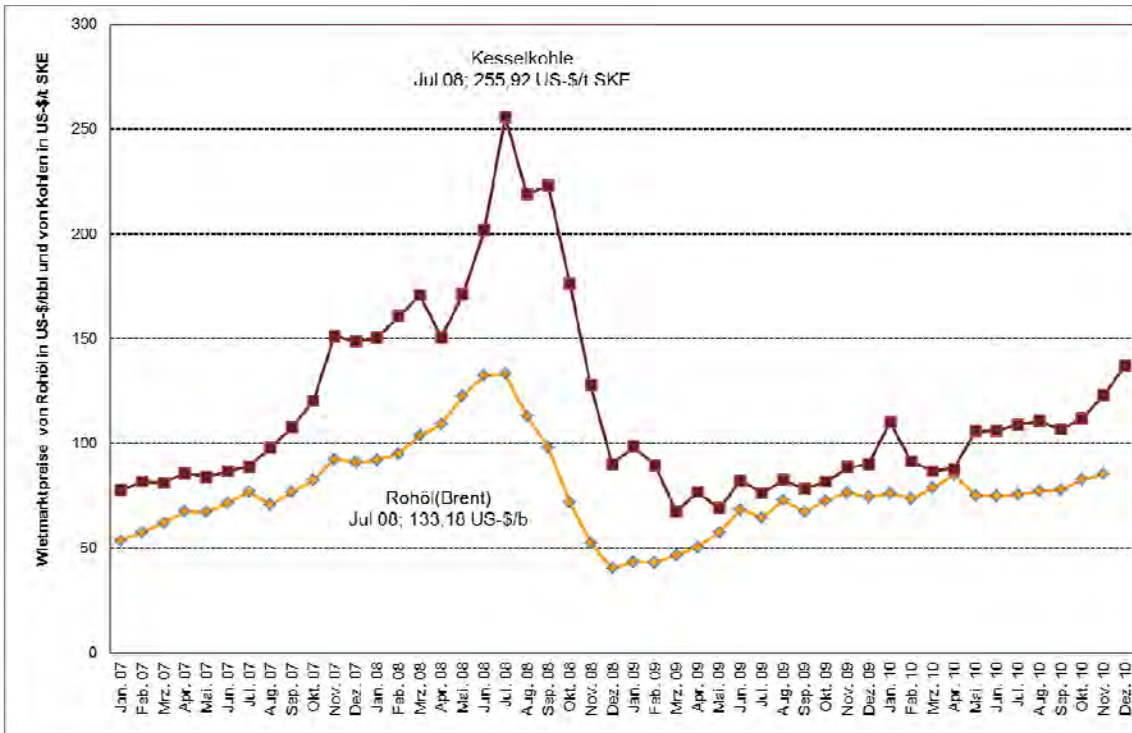


Quelle: EEX..

Auch die Preise der international gehandelten Kohlen folgten weitgehend den Veränderungen der Ölpreise. Ihren Höhepunkt hatten auch die Kohlepreise im Jahr 2008, gefolgt von einem kräftigen Preiseinbruch auf ein Niveau von Ende 2007; schon um den Jahreswechsel 2009/2010 wurde die 100 US-\$/t SKE-Marke wieder überschritten; seit Mai 2010 lagen die Weltmarktpreise für Kohlen stets über dieser Marke, zogen aber seit Herbst 2010 sogar stärker an als im gleichen Zeitraum der Weltmarktpreis für Rohöl, der allerdings ebenfalls eine aufwärtsgerichtete Tendenz zeigt (Abbildung 6).

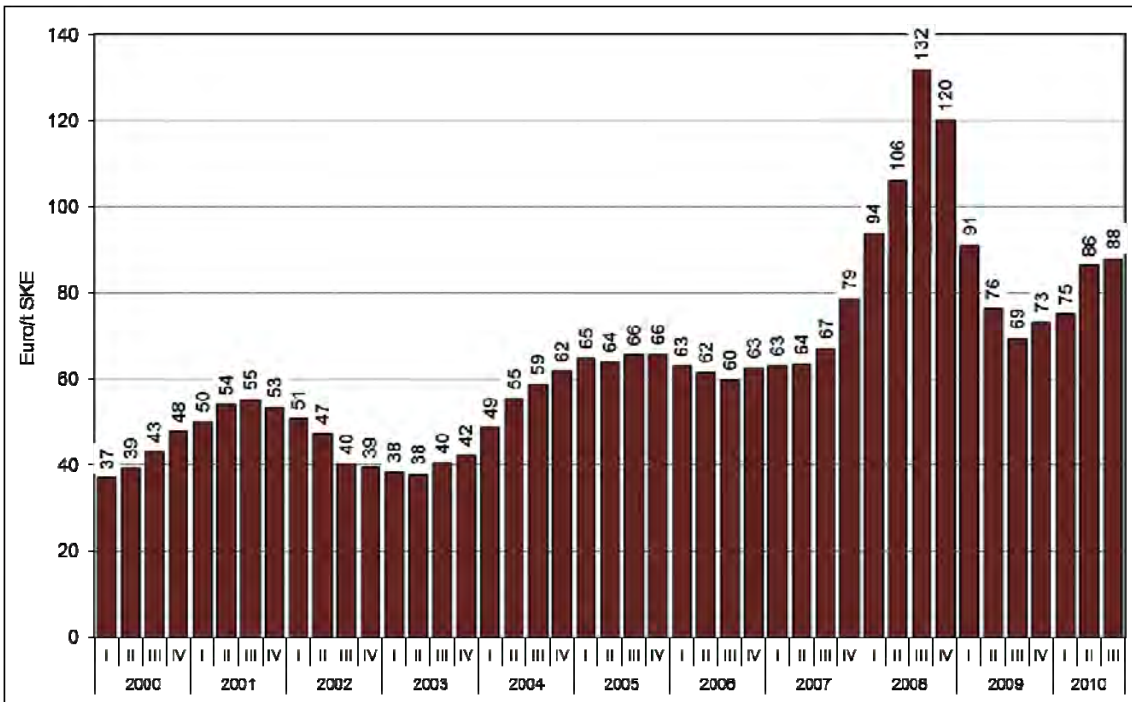
Ähnlich wie die Weltmarktpreise für Kohlen entwickelten sich die Importpreise für Kraftwerkskohle (Abbildung 7). Während die Preise von Ende 2004 bis zum 3. Quartal 2007 vergleichsweise stabil blieben, kam es anschließend zu einer außerordentlichen Steigerung bis auf den bisherigen Höchstwert von 132 Euro/t SKE im 3. Quartal 2008. Mit der Finanz- und Wirtschaftskrise 2008/2009 verfielen auch die Importpreise für Kraftwerkskohle auf ein Niveau von rund 70 Euro/t SKE im 3. Quartal 2009, seither haben sich die Preise aber wieder deutlich nach oben entwickelt bis hin zu 88 Euro/t SKE im 3. Quartal 2010.

Abbildung 6 Entwicklung der Weltmarktpreise für Rohöl und Kohlen von 2007 bis November (Rohöl)/Dezember (Kohle) 2010



Quelle: Mc Closkey's Coal Report; EIA.

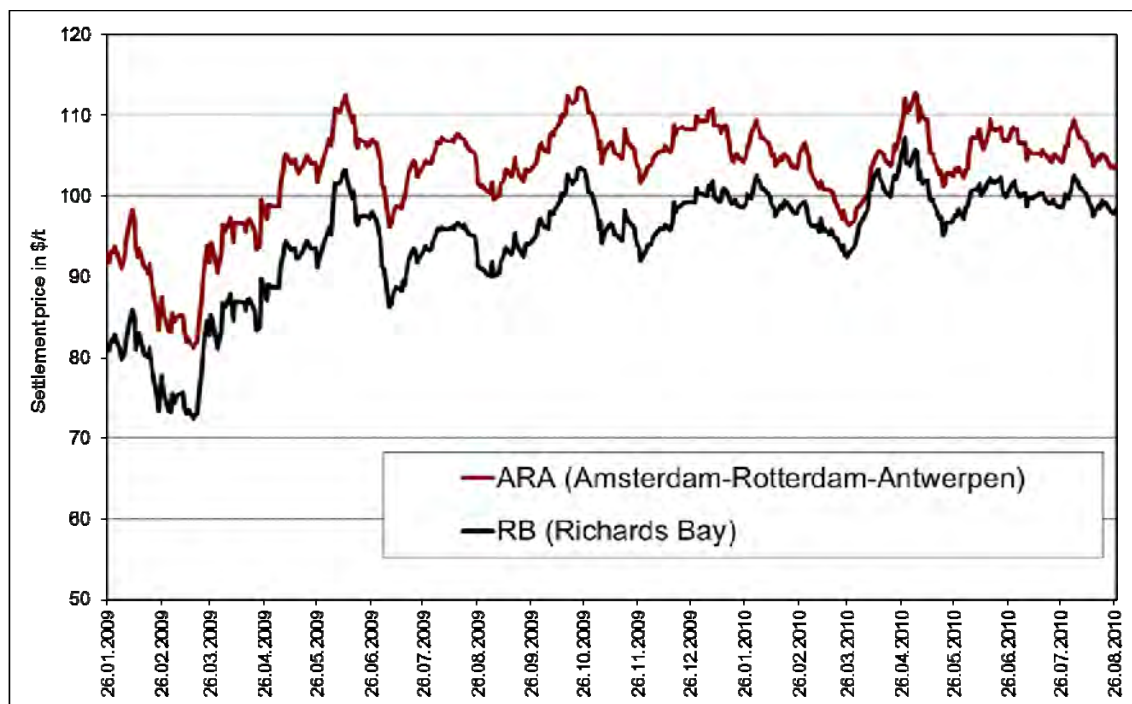
Abbildung 7 Entwicklung des Grenzübergangswertes für Steinkohlenimporte vom 1. Quartal 2000 bis zum 3. Quartal 2010



Quelle: BAFA.

Die an der Börse gehandelten Futures für Kohle zeigen ebenfalls eine Aufwärtstendenz. So bewegen sich die Kohlenpreise im ARA-Gebiet durchweg über 100 US-\$/t (Abbildung 8).

Abbildung 8 Entwicklung der Kohle Futures für das Liefermonat Januar 2012 von Januar 2009 bis August 2010

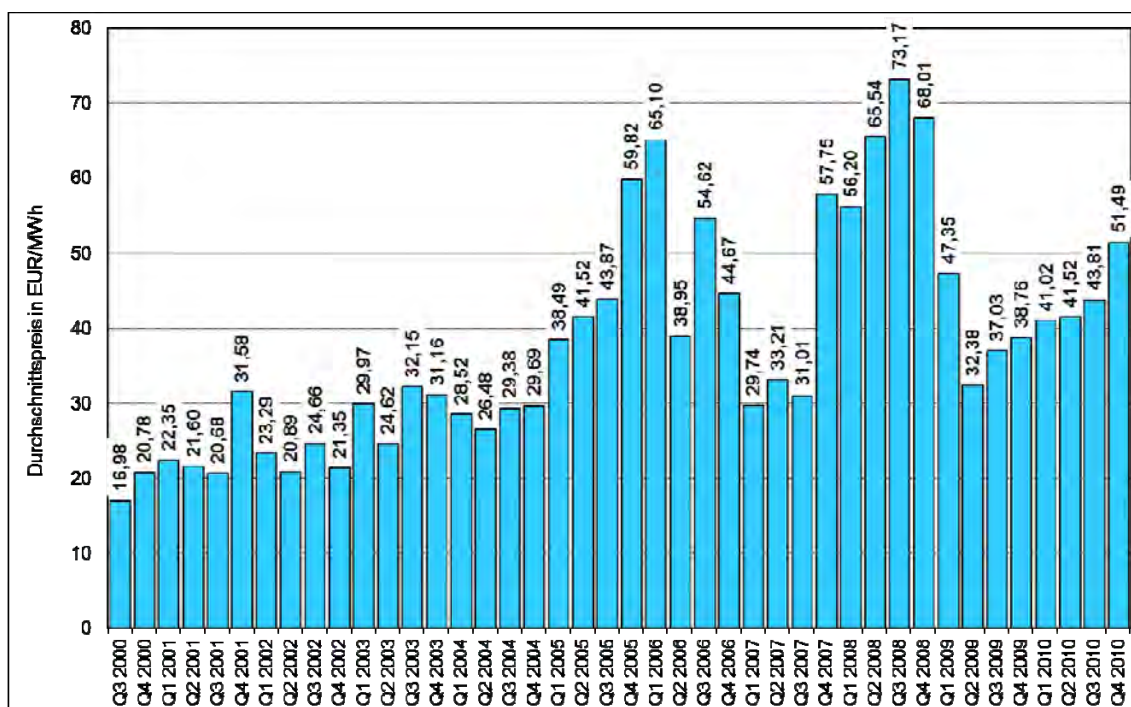


Quelle: EEX.

Wesentlich für die Wirtschaftlichkeit von KWK-Anlagen sind nicht nur die Kraftwerks-Inputpreise für die Brennstoffe Erdgas und Kohle, sondern auch die Strompreise als Indikator für den potentiell zu erwartenden Stromerlös.

Gemessen an dem durchschnittlichen Preis für Baseload-Strom an der EEX zeigte sich in der Vergangenheit eine ausgesprochen schwankende Entwicklung. Die Höchstpreise im Jahr 2006 mit Spitzen von 65 Euro/MWh im 1. Quartal 2006 fielen um mehr als die Hälfte auf unter 30 Euro/MWh im 1. Quartal 2007. Zu einer erneuten Spitze kam es im Anschluss an die drastischen Energiepreissteigerungen im 3. Quartal 2008 mit Werten von über 70 Euro/MWh, die erneut von einem starken Preisverfall gefolgt wurde. Seit dem 3. Quartal 2009 ist allerdings - getrieben durch den wirtschaftlichen Aufschwung - wieder eine kontinuierliche - und zuletzt kräftige - Aufwärtsbewegung der Preise bis auf reichlich 51 Euro/MWh im 4. Quartal 2010 zu verzeichnen (Abbildung 9).

Abbildung 9 Quartalspreise für Strom gemäß KWK-Gesetz von 2000 bis zum 4. Quartal 2010



Quelle: EEX.

Interessant ist aber die Erwartung hinsichtlich der künftigen Strompreise. Nimmt man als Indikator dafür die Futures für die Jahre 2012 und 2013, so zeigt sich eine in Allem stark fallende Tendenz. Beispielsweise wurden die Baseload-Preise im Verlauf des Jahres 2009 für den Lieferzeitpunkt Januar 2013 noch mit Preisen deutlich oberhalb von 60 Euro/MWh gehandelt, während sie im Jahr 2010 deutlich unter die 60 Euro/MWh-Grenze bis auf annähernd 50 Euro/MWh fielen. Eine Begründung dafür könnte in der inzwischen beschlossenen Laufzeitverlängerung für die Kernkraftwerke liegen, bei deren Umsetzung Knappheitssituationen auf dem Strommarkt zumindest auf mittlere Sicht mehr und mehr unwahrscheinlich werden (Abbildung 10).

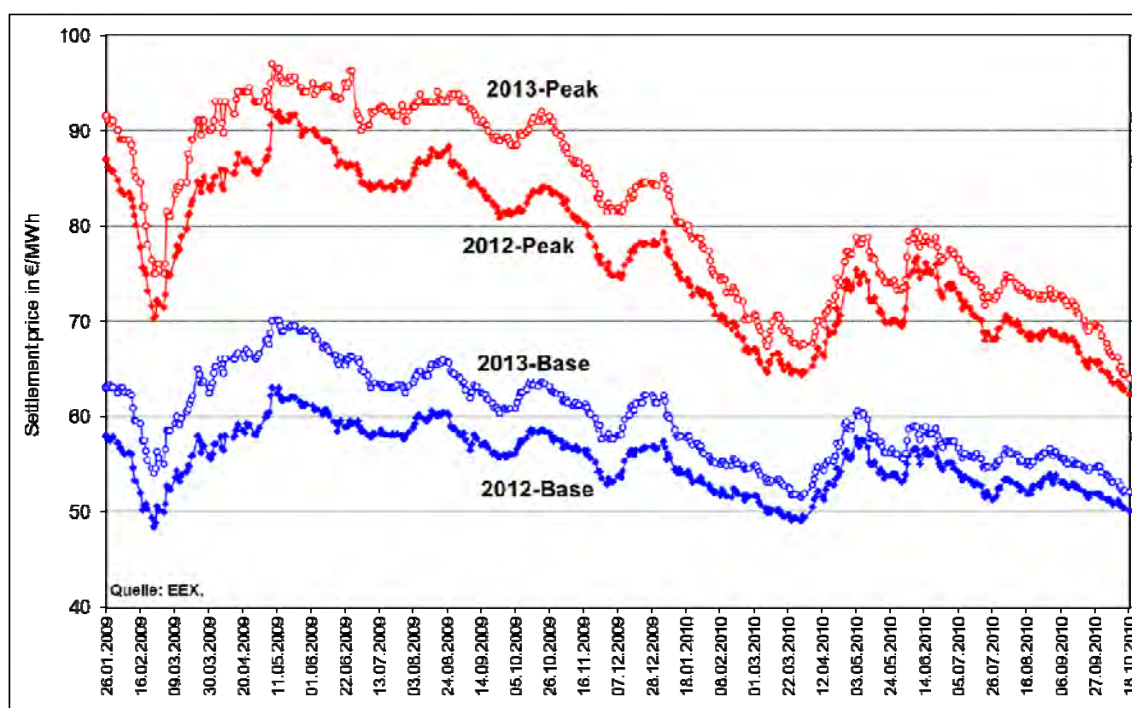
Eine weitere Komponente der Beeinflussung der Wirtschaftlichkeit von KWK-Anlagen stellt die Entwicklung der CO₂-Preise im Zusammenhang mit dem Europäischen Emissionshandel dar. Zu Beginn der zweiten Handelsperiode Anfang 2008 kletterte der Preis von nahe Null auf beinahe 30 Euro/t CO₂. Seither pendelt er in einer Größenordnung von 12 bis 15 Euro/t CO₂ (Abbildung 11). Dies ist umso bemerkenswerter, als mit der Wirtschaftskrise und der allenthalben rückläufigen Industrieproduktion und des sinkenden Stromverbrauchs die am Emissionshandel teilnehmenden Anlagen durchweg mit Zertifikaten überausgestattet gewesen sind. Dennoch kam es nicht – wie es etwa in der ersten Handelsperiode angesichts der weitgehenden Überallokation – nicht zu einem

Preisverfall. Offenkundig haben auch Finanzinvestoren zur „Stabilisierung“ des Marktes beigetragen.

Auch die an der EEX gehandelten Futures signalisieren eine vergleichsweise stabile Entwicklung. So liegen selbst die für 2013 und 2014 gehandelten Futures nur wenig über dem gegenwärtigen Zertifikatspreis um die 15 Euro/t CO₂. Auch ist keine eindeutige Tendenz für die Zukunft auszumachen (Abbildung 12).

Vergleicht man die Entwicklung der CO₂-Zertifikatspreise mit den Preisen für den an der EEX gehandelten Strom, so lassen sich einige Zusammenhänge erkennen. Vor dem Hintergrund der CO₂-Futures in der zweiten Handelsperiode sind auch die Zukunftserwartungen hinsichtlich der Strompreise zu sehen, deren Futures für den Januar 2012 sich in einer Größenordnung von 50 bis 60 €/MWh bewegen (Abbildung 13).

Abbildung 10 Entwicklung der Strom Futures (Peak und Base) für Lieferzeitpunkte 2011 und 2013 von Anfang 2009 bis Mitte Oktober 2010

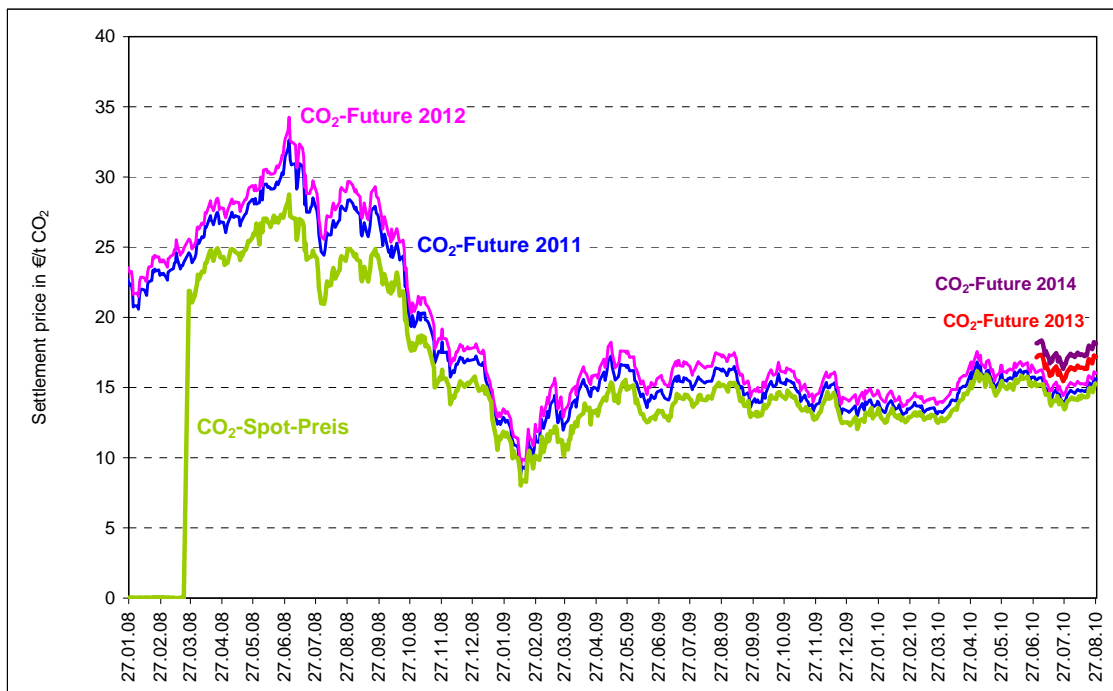


Quelle: EEX.

Abbildung 11 Entwicklung der CO₂-Zertifikatspreise in der zweiten Handelsperiode von Anfang 2008 bis Herbst 2010

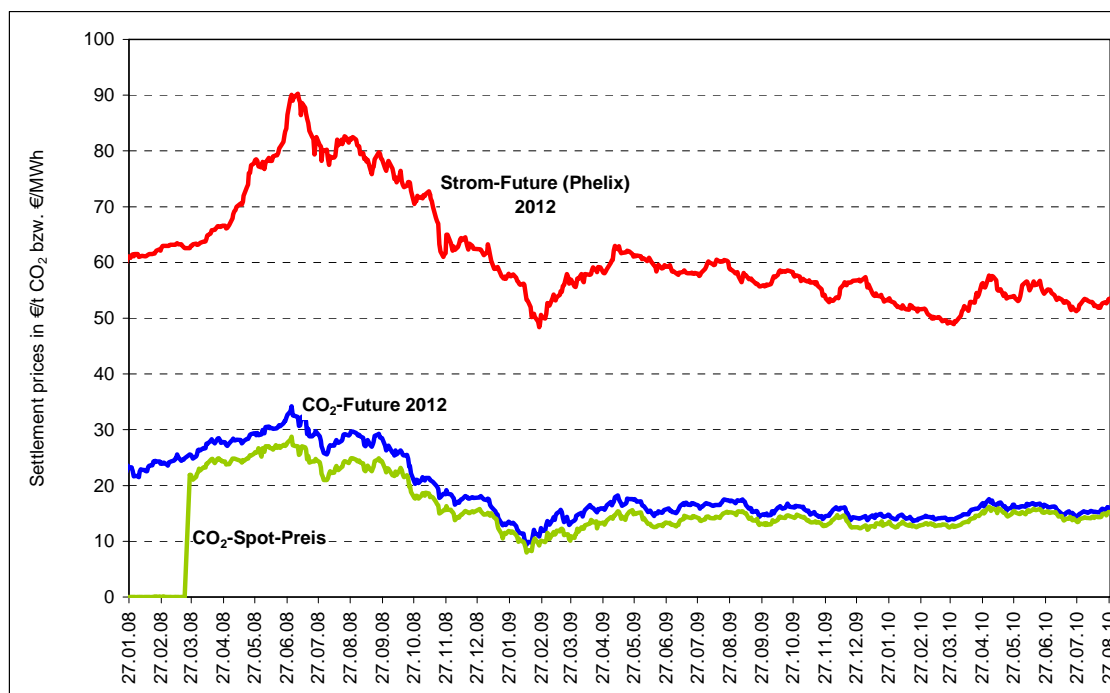


Abbildung 12 Entwicklung der CO₂-Zertifikatspreise (Spotpreis- und Future) von Anfang 2008 bis Ende August 2010



Quelle: EEX.

Abbildung 13 Entwicklung der an der EEX für den Januar 2012 gehandelten Stromfutures und der Preise für CO₂-Zertifikate (spot und future)



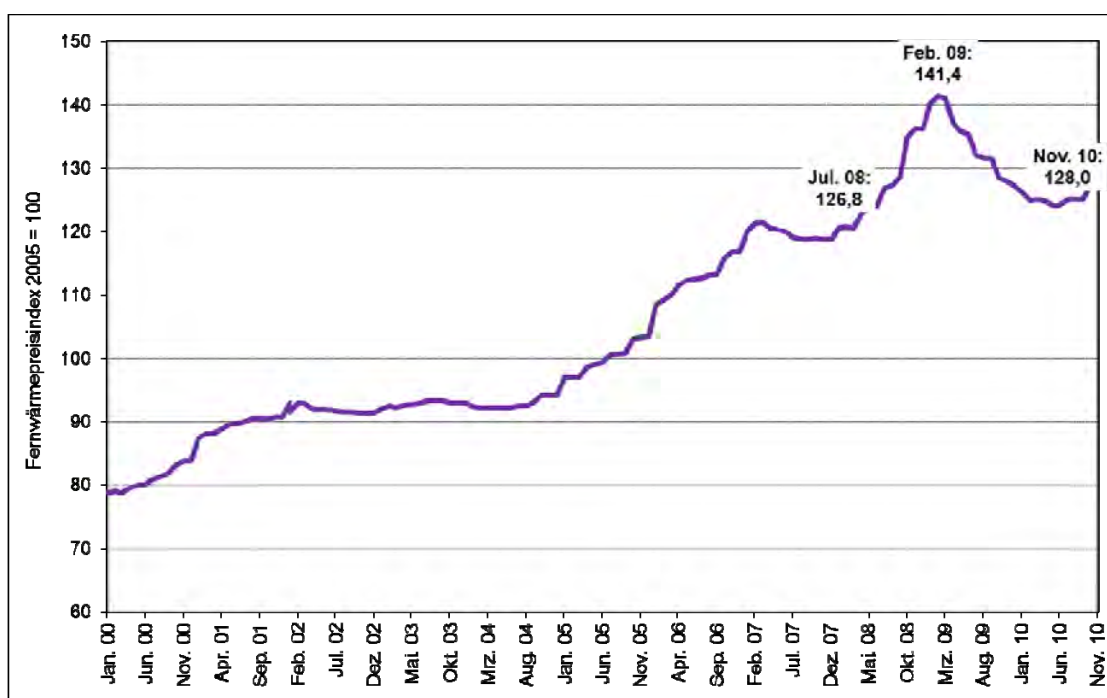
Quellen: EEX.

Mit den zuletzt wieder steigenden Erdgaspreisen und gleichzeitig schwachen Großhandelspreisen für Strom haben sich die wirtschaftlichen Rahmenbedingungen tendenziell erneut zu Lasten der KWK verschlechtert. Es ist auch nicht zu übersehen, dass sich diese Situation künftig vor dem Hintergrund der Entwicklung auf den Welterdölmärkten mit weiterhin relativ hohen Preisniveaus für Erdgas, aber auch Steinkohlen kaum wesentlich ändern dürfte.

Bei der wirtschaftlichen Bewertung der KWK aus Sicht der Energiepreisentwicklung ist aber auch zu berücksichtigen, dass die Erdgaspreise nicht nur als Kostenfaktor mit Blick auf den Brennstoffinput eine wesentliche Rolle spielen, sondern ebenso hinsichtlich der mit den Gaspreissteigerungen einhergehenden Möglichkeiten für eine Anhebung der Fernwärmepreise erlösseitige Spielräume eröffnen. Hiervon ist in den vergangenen Jahren offenkundig in unterschiedlichen Umfang Gebrauch gemacht worden, so dass sich für die einzelnen Fernwärmeunternehmen durchaus ein sehr heterogenes Bild im Hinblick auf ihre konkrete Preisanpassungspolitik ergibt. Teilweise dürften in der Vergangenheit auch die kommunalpolitischen Entscheidungsträger eher auf eine zurückhaltende Preisanpassung hingewirkt haben.

Gleichwohl beinhalten die Fernwärmeverträge der Stadtwerke vielfach von vornherein Preisindexklauseln für Heizöl und Erdgas. In diesen Fällen werden Preisveränderungen der Referenzenergieträger quasi automatisch an die Kunden weiter gegeben. Allerdings geschieht dies nicht zeitgleich, da nach Unternehmensangaben beispielsweise der Heizölpreisindex vom Vorjahr und der Erdgaspreisindex vom Vorhalbjahr berücksichtigt werden. Daher läuft der Fernwärmepreis ein Jahr bzw. ein halbes Jahr den Referenzindizes hinterher, so dass ein zeitgleicher Preisvergleich wenig aussagekräftig ist. Einen Eindruck von den Preisentwicklungen bei der Fernwärme geben die Abbildung 14 sowie im Vergleich zu konkurrierenden Energieträgern die Abbildung 15.

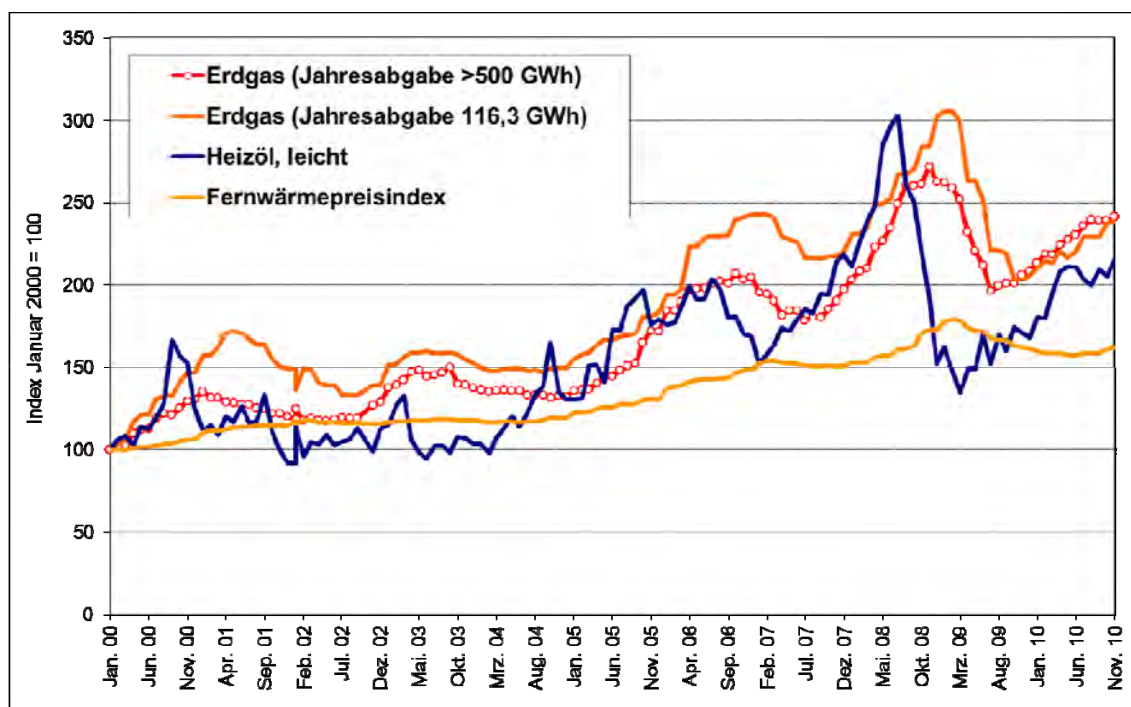
Abbildung 14 Entwicklung der Entwicklung der Erzeugerpreise für Fernwärme von Januar 2000 bis November 2010



Quellen: Statistisches Bundesamt: Index der Erzeugerpreise gewerblicher Produkte (Inlandsabsatz) - Lange Reihen von Januar 1995 bis November 2010. Wiesbaden 2010.

Immerhin konnte der Fernwärmepreis (gemessen am zentsprechenden Erzeugerpreisindex) in den Jahren von 2000 bis 2009 erheblich angehoben werden: Im Februar 2009 war er immerhin um reichlich 40 % höher als im Jahr 2005. Der anschließende Preisrückgang konnte erst Mitte 2010 gestoppt werden; seither ist wieder ein maßvoller Preisanstieg zu verzeichnen. Im Vergleich mit den konkurrierenden Energieträgern Heizöl und Erdgas zeigt sich allerdings durchweg eine deutlich schwächere Preisdynamik.

Abbildung 15 Entwicklung der Preise für Fernwärme, Erdgas und Heizöl, leicht, 2000 bis November 2010



Quellen: Statistisches Bundesamt, Index der Erzeugerpreise gewerblicher Produkte (Inlandsabsatz) - Lange Reihen von Januar 1995 bis November 2010. Wiesbaden 2010.

2.2 Politische Rahmenbedingungen

Die Kraft-Wärme-Kopplung gehört zu den Systemen, die eine besonders effiziente Nutzung der eingesetzten Energie aufweisen. Dies war auch der Anlass, dass KWK-Anlagen seit Jahren auch finanziell unterstützt werden. Das zentrale Instrument hierzu ist **Kraft-Wärme-Kopplungs-Gesetz (KWKG)**, dessen erste Version noch aus dem Jahr 2000 stammt, dann 2002 novelliert und 2009 seine heute (2010) noch gültige Fassung erhielt. Hintergrund der zuletzt genannten Novellierung war das Ziel der Bundesregierung im Rahmen des Meseberg-Programms, den Anteil der Kraft-Wärme-Kopplung an der Stromerzeugung bis 2020 auf 25 % anzuheben.

In dem am 28. September 2010 von der Bundesregierung vorgelegten Energieprogramm findet dieses Ziel zwar keine ausdrückliche Erwähnung mehr, doch wird von der Bundesregierung als Antwort (vom 5. Oktober 2010) auf eine Reihe von schriftlichen Fragen (Frage Nr. 9/394) ausdrücklich auf das KWKG-Gesetz hingewiesen, in dessen § 1 das Ziel von 25 % genannt ist. Es ist insofern von der weiteren Gültigkeit auszugehen.

In den Jahren von 2003 bis 2009 hat sich die gesamte KWK-Stromerzeugung in Deutschland von 73,8 TWh_{netto} um 3,2 TWh_{netto} oder um 4,4 % auf 77,0 TWh_{netto} erhöht. Ihr Anteil an der gesamten Nettostromerzeugung ist damit von 13,6 % im Jahr 2003 auf 15,8 % im Jahr 2009 gestiegen, wobei der Sprung im Jahr 2009 zum großen Teil krisenbedingt gewesen ist. Immerhin ging die KW-Stromerzeugung im Jahr 2009 gegenüber 2008 mit 3,1 % deutlich schwächer zurück als die gesamte Nettostromerzeugung ohne KWK-Strom mit 9,4 %; bei Industriekraftwerken nahm sie sogar um 3,4 % zu, so dass hier der KWK-Anteil gegenüber dem Vorjahr (2008: 56,4) auf 62,5 % kräftig stieg (Tabelle 1)

Tabelle 1 Struktur und Entwicklung der KWK-Nutzung in Deutschland 2003 bis 2009

	Einheit	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Allgemeine Versorgung								
Bruttostromerzeugung	TWh _{brutto}	532,9	533,3	532,4	540,4	522,8	522,8	478,6
Nettostromerzeugung	TWh _{netto}	498,1	498,8	497,5	505,1	488,4	488,6	446,5
dar.: KWK-Strom	TWh _{netto}	50,3	52,4	52,3	54,0	51,9	53,8	50,5
Anteil KWK	%	10,1	10,5	10,5	10,7	10,6	11,0	11,3
Industriekraftwerke								
Bruttostromerzeugung	TWh _{brutto}	48,2	48,3	50,1	51,1	53,2	49,4	46,0
Nettostromerzeugung	TWh _{netto}	44,1	44,2	46,0	46,9	49,0	45,5	42,5
dar.: KWK-Strom	TWh _{netto}	23,5	22,9	25,6	25,8	25,8	25,7	26,6
Anteil KWK	%	53,3	51,9	55,7	55,0	52,6	56,4	62,5
Zusammen								
Bruttostromerzeugung	TWh _{brutto}	581,1	581,5	582,5	591,5	576,0	572,2	524,6
Nettostromerzeugung	TWh _{netto}	542,3	543,0	543,5	552,0	537,4	534,1	489,0
dar.: KWK-Strom	TWh _{netto}	73,8	75,3	77,9	79,8	77,6	79,5	77,0
Anteil KWK	%	13,6	13,9	14,3	14,5	14,4	14,9	15,8
Anteile an der gesamten Stromerzeugung								
Allgemeine Versorgung	%	91,9	91,9	91,5	91,5	90,9	91,5	91,3
Industriekraftwerke	%	8,1	8,1	8,5	8,5	9,1	8,5	8,7
Anteile an der KWK-Stromerzeugung								
Allgemeine Versorgung	%	68,1	69,5	67,1	67,7	66,8	67,7	65,5
Industriekraftwerke	%	31,9	30,5	32,9	32,3	33,2	32,3	34,5
Quelle: Statistisches Bundesamt.								

Quelle: Statistisches Bundesamt, Erhebungsbögen 066 und 067.

Rechnet man wie im Referenzszenario von Prognos/EWI (Prognos/EWI, 2010) für 2020 mit einer Bruttostromerzeugung von rund 580 TWh, so müsste die KWK-Stromerzeugung bei dem gesetzlich fixierten Anteil von 25 % rund 145 TWh_{brutto} bzw. (bei einem Eigenverbrauchsanteil wie 2009 von 6,8 %) etwa 135 TWh_{netto} betragen. Gegenüber 2009 bedeutet dies ein Plus von 58 TWh_{netto} oder eine Steigerung um den Faktor 1,8. Bei einer angenommenen mittleren Auslastung um 5.000 bis 6.000 Stunden

pro Jahr (h/a) erfordert dies zusätzliche KWK-Kapazitäten in einer Größenordnung von 10.000 bis 12.000 MW. Angesichts der etwa mit Blick auf die Laufzeitverlängerung der Kernkraftwerke veränderten Randbedingungen muss dieses Ziel als ausgesprochen ambitioniert bewertet werden; ohne den Fortbestand der Förderung nach dem KWKG-2009, ggf. sogar seiner verbesserten Ausstattung dürften die Chancen der Zielerreichung in hohem Maße gefährdet sein.

Nach dem KWKG in der Fassung vom 21. August 2009 gilt das in Tabelle 2 dargestellte Förderregime, das für unterschiedliche Anwendungsfälle und je nach zeitlicher Erstreckung differenzierte Zuschläge vorsieht.

Tabelle 2 Förderung von Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen nach dem KWKG mit Stand vom 21. August 2009

			Höhe des Zuschlags in ct/kWh und Dauer der Zahlung									
			2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	
§ 5 Abs. 1	Anlagen die vor dem 1.4.2002 in Dauerbetrieb genommen worden sind											
1	Alte Bestandsanlagen	bis 31.12.1989 in Dauerbetrieb genommen	1,53	1,53	1,38	1,38	0,97					
2	Modernisierte Bestandsanlagen	1.1.1990-1.4.2002 in Dauerbetrieb gegangen und modernisiert	1,53	1,53	1,38	1,38	1,23	1,23	0,82	0,56		
3	Alte Bestandsanlagen/modernisiert oder ersetzt	vom 1.4.2002 bis 31.12.2005 wieder in Dauerbetrieb genommen	1,74	1,74	1,74	1,69	1,69	1,64	1,64	1,59	1,59	
4	Anlagen nach 1 und 2; modernisiert oder ersetzt	vom 1.1.2009 bis 31.12.2016 wieder in Dauerbetrieb genommen	Dauer von 6 Betriebsjahren/höchstens 30000 Stunden; für Leistungsanteil bis 50 kW 5,11 ct/kWh, von 50 kW bis 2 MW 2,1 ct/kWh; über 2 MW 1,5 ct/kWh.									
§ 5 Abs. 2	Anlagen die nach dem 1.4.2002 in Dauerbetrieb genommen worden sind											
1	kleine KWK, soweit nicht KWK-Ferwärme verdrängt wird	Dauerbetrieb bis 1.1.2009	2,56	2,56	2,40	2,40	2,25	2,25	2,10	2,10	1,94	
		Dauerbetrieb nach 1.1.2009-31.12.2016	Dauer von 6 Betriebsjahren/höchstens 30000 Stunden; bei Leistung von mehr als 50 kW bis 2 MW für Leistungsanteil bis 50 kW 5,11 ct/kWh, von 50 kW bis 2 MW 2,1 ct/kWh und für den Leistungsanteil über 2 MW 1,5 ct/kWh.									
	kleine KWK-Anlagen mit einer Leistung bis 50 kW, die vor dem 1.1.2009 oder vom 1.1.2009 bis 31.12.2016 in Dauerbetrieb genommen worden sind	Zuschlag von 5,11 ct/kWh für die Dauer von zehn Jahren ab Aufnahme des Dauerbetriebs der Anlage										
2	Brennstoffzellen-Anlagen	Bis 31.12.2016 in Dauerbetrieb genommen										
§ 5 Abs. 3	KWK-Anlagen mit mehr als 2 MW, die ab 1.1.2009 bis 31.12.2016 in Dauerbetrieb genommen werden		Dauer von 6 Betriebsjahren/höchstens 30000 Stunden; bei Leistung von mehr als 50 kW bis 2 MW für Leistungsanteil bis 50 kW 5,11 ct/kWh, von 50 kW bis 2 MW 2,1 ct/kWh und für den Leistungsanteil über 2 MW 1,5 ct/kWh.									
§ 5a	Zuschlagberechtigter Neu- und Ausbau von Wärmenetzen		Ein Euro je Millimeter Nenndurchmesser der neu verlegten Wärmeleitung pro Meter Trassenlänge; maximal 20 % oder höchstens 5 Mio. Euro je Projekt.									

Quelle: KWKG mit Stand vom 21. August 2009.

In Tabelle 3 sind für die in den weiteren Wirtschaftlichkeitsberechnungen unterstellten KWK-Anlagentypen die aus dem KWK-Gesetz resultierenden Barwerte angegeben. Je nach Größenordnung der jeweiligen KWK-Stromerzeugung in den einzelnen KWK-Anlagen bewegen sich die Barwerte über die jeweilige Laufzeit der Zuschläge bis hin zu einem dreistelligen Millionenbetrag.

Tabelle 3 Ermittlung des realen Barwertes der nach dem KWKG vorgesehenen Zuschläge in Abhängigkeit von der Anlagengröße, vom Zinssatz und von der Inflationsrate

	Elektr. Leistung der Modellanlagen in kW	Zahlungsdauer (a)	Leistungsanteile in kW			Mittel in ct/kWh	Inflationsrate von ... 1 %/a					
							Barwertfaktor bei Zins von..		Spez. Barwerte bei Zins von ... in ct/kWh		Absolute Barwerte bei Zins von ... in Mio. Euro	
							0,08	0,12	0,08	0,12	0,08	0,12
			bis 50	50-2000	> 2000							
Mikro-KWK	5	10	5,11			5,11	6,392	5,398	32,66	27,58	0,010	0,008
Mini-KWK	50	10	5,11			5,11	6,392	5,398	32,66	27,58	0,11	0,09
Kleine KWK	170	6	5,11	2,1		2,985	4,474	3,983	13,36	11,89	0,16	0,14
KWK-Anlagen mit mehr als 2 MW, die ab 1.1.2009 bis 31.12.2016 in Dauerbetrieb genommen werden	2000	6	5,11	2,1		2,175	4,474	3,983	9,73	8,66	0,85	0,75
	25000	6	5,11	2,1	1,5	1,554	4,474	3,983	6,95	6,19	11,89	10,58
	30000	6	5,11	2,1	1,5	1,545	4,474	3,983	6,91	6,15	34,56	30,77
	100000	6	5,11	2,1	1,5	1,514	4,474	3,983	6,77	6,03	121,88	108,51
	400000	6	5,11	2,1	1,5	1,503	4,474	3,983	6,73	5,99	215,23	191,61
	800000	6	5,11	2,1	1,5	1,502	4,474	3,983	6,72	5,98	58,62	52,19

Zusätzlich zu den im KWKG-Gesetz verankerten Zuschlägen wurden in der Vergangenheit Mini-KWK-Anlagen mit einer elektrischen Leistung von bis zu 50 kW über das **Mini-KWK-Förderprogramm** vor allem durch vergleichsweise hohe Investitionszuschüsse sehr wirksam gefördert (Tabelle 4). Allerdings ist dieses aus der Nationalen Klimaschutzinitiative des Bundesumweltministeriums geförderte Programm rückwirkend zum 1. August 2009 vollständig ausgesetzt worden. Es ist nicht abzusehen, ob es zu einer „Neuaufgabe kommen wird. Insoweit ist es unsicher, mit welchen Fördermaßnahmen die KWK-Anlagen bis zu 50 kW über das KWKG hinaus in Zukunft rechnen können.

Erwähnt sei weiterhin, dass die Kraft-Wärme-Kopplung durch das **Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG)** in der zum 1. August 2004 in Kraft getretenen Fassung die KWK, soweit biogene Einsatzstoffe in KWK-Anlagen eingesetzt werden, ebenfalls begünstigt wird (Tabelle 5). Allerdings gilt dies gemäß EEG nach § 27 in Verbindung mit Anlage 3 nur für Anlagen von 5 bis 20 MW. Es zeichnet sich schon jetzt ab, dass sich durch diese Neuregelung die wirtschaftliche Attraktivität der dieser Leistungsbandbreite begünstigten KWK-Anlagen deutlich erhöht hat, zumal hier - anders als beim KWKG - keine zu enge Laufzeitbegrenzung besteht. Allerdings werden die Mindestvergütungen

jährlich für ab diesem Zeitpunkt neu in Betrieb genommene Anlagen um jeweils 1,5 Prozent des für die im Vorjahr neu in Betrieb genommenen Anlagen maßgeblichen Wertes gesenkt.

Tabelle 4 Fördersätze nach dem „Impulsprogramm Mini-KWK-Anlagen“ (rückwirkend zum 1. August 2009 vollständig ausgesetzt)

	von (kW)	bis (kW)	Förderbetrag in Euro/kW		von (kW)	bis (kW)	Förderbetrag in Euro/kW	
			einzel	kumuliert in €			einzel	kumuliert
Basisförderung	>0	<= 4	1550	6200	>0	<= 4	1550	6200
	>4	<= 6	775	1550	>4	<= 6	775	775
	>6	<= 12	250	1500	>6	<= 12	250	0
	>12	<= 25	125	1625	>12	<= 25	125	0
	>25	<= 50	50	1250	>25	<= 50	50	0
	50 kW-Anlage		kumuliert	12125	5 kW-Anlage	kumuliert	6975	
Bonusförderung	>0	<= 12	100	1200	>0	<= 12	100	1200
	<= 12	<= 50	50	1900	<= 12	<= 50	50	2500
	50 kW-Anlage		kumuliert	3100	5 kW-Anlage	kumuliert	1200	
Förderbetrag	Förderbetrag	f (Vbh) *	(Basisförderung + Bonusförderung)		Förderbetrag	f (Vbh) *	(Basisförderung + Bonusförderung)	
	Euro	Faktor	Euro	Euro	Euro	Faktor	Euro	Euro
	19793	1,300	12125	3100	9810	1,200	6975	1200
	Tatsächliche Investition in die gewählte 50 kW-Anlage bei 2500 Euro/kW				Tatsächliche Investition in die gewählte 5 kW-Anlage bei 5000 Euro/kW			
	125000	ergibt Förderanteil von	15,8%		25000	ergibt Förderanteil von	39,2%	

Quelle: BMU, Impulsprogramm Mini-KWK-Anlagen.

Tabelle 5 Vergütungssätze des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (2008) zuletzt geändert am 31., Juli 2010

	EEG-Regelung	Anlagenbereich	Leistungsbereich bis ... MW	Vergütung Cent/kWh	Degression % pro Jahr	Anmerkungen
Deponiegas	§ 24		0,5	9,00	1,5	Technologiebonus: 2 ct/kWh
			5	6,16		
Klärgas	§ 25		0,5	7,11	1,5	Technologiebonus: 2 ct/kWh
			5	6,16		
Grubengas	§ 26		1	7,16	1,5	Technologiebonus: 2 ct/kWh
			5	5,16		
			>5	4,16		
Biomasse	§ 27 (1)	bis 20 MW	0,15	11,67	1,0	Technologiebonus: 2 ct/kWh
			0,5	9,18		Nawaro-Bonus: 6 ct/kWh bis 500 kW
			5	8,25		Nawaro-Bonus: 4 ct/kWh bis 5 MW
			20	7,79		KWK-Bonus: 3 ct/kWh

Die Vergütungen sind jeweils für die Dauer von 20 Kalenderjahren zuzüglich des Inbetriebnahmejahres zu zahlen.

Quelle: Erneuerbare-Energien-Gesetz -EEG 2008, zuletzt geändert am 31. Juli 2010.

In gewissem Umfang hat auch die **Ökosteuer** positiv auf die Wirtschaftlichkeit der KWK gewirkt. Nach der 5. Stufe der Ökosteuer, die am 1.1.2003 in Kraft getreten ist, unterliegen aus dem Netz bezogene Elektrizität und eigenerzeugter Strom aus Anlagen mit einer elektrischen Leistung von mehr als 2 MW grundsätzlich einer Stromsteuer von 2,05 ct/kWh_{el}. Zusätzlich wurde die Öko-Mineralölsteuer für Brennstoffe erhöht. Um zu vermeiden, dass auch besonders effiziente Energietechnologien belastet werden, wurden entsprechende Ausnahmeregelungen getroffen. So sind hocheffiziente KWK-Anlagen mit einem monatlichen oder jährlichen Nutzungsgrad von mindestens 70 Prozent vollständig von der Mineralölsteuer (0,55 Cent/kWh bei Erdgas) - also nicht nur vom Ökosteueranteil - befreit. Anlagen, die den Energiegehalt des verwendeten Mineralöls zu mindestens 60 Prozent nutzen, werden zumindest vom „Ökosteuer-Anteil“ (0,366 Cent/kWh bei Erdgas und 2,05 Cent/Liter bei leichtem Heizöl) ausgenommen. Erst mit der künftigen nationalen Umsetzung der EU-Energiesteuer-Richtlinie würde die Gleichbehandlung der zur Stromerzeugung eingesetzten Energieträger hergestellt. Zugleich wurde die Steuerbefreiung für Contracting-Modelle, also für diejenigen, die im Rahmen eines Vertragsverhältnisses für einen anderen eine Anlage zur Wärme- und/oder Stromerzeugung betreiben, entsprechend angepasst und mit der Eigenerzeugung gleichgestellt. Auch dies gibt einen zusätzlichen Anreiz für eine effiziente und dezentrale Energieversorgung.

Schließlich ist die Einführung des **europäischen Emissionshandels** nicht ohne Einfluss auf die wirtschaftlichen Bedingungen für den Betrieb von KWK-Anlagen. Entsprechend der EU-ETS-Richtlinie 2009/29/EC vom 23.04.2009 gelten für die Handelsperiode von 2013 an die folgenden Regelungen:

- 100 % Auktionierung der Stromerzeugung der KWK-Anlagen von Beginn an
- Für Fernwärme und hocheffiziente Kraft-Wärme-Kopplung im Sinne der Richtlinie 2004/8/EG werden für einen wirtschaftlich vertretbaren Bedarf Zertifikate in Bezug auf Wärme- und Kälteerzeugung kostenlos zugeteilt.
- Nach 2013 wird die Gesamtzuteilung an solche Anlagen für die Erzeugung dieser Art von Wärme jährlich anhand des linearen Faktors gemäß Artikel 9 angepasst. Das bedeutet eine Senkung der Zuteilung mit einem linearen Faktor von 1,74 %.
- Deckung der Emissionsdifferenzen durch Beteiligung an Auktionierung.

Inzwischen zeichnen sich einige Präzisierungen im Hinblick auf die Behandlung der Wärmeerzeugung aus KWK-Anlagen ab. Nach noch nicht final beschlossenen Regelungen soll dafür eine Wärmebenchmark in Höhe von einheitlich 224 g CO₂/kWh Wärme gelten (eine Brennstoff-Differenzierung ist noch in der politischen Diskussion). Für die

Zuteilung im Jahr 2013 soll dieser Benchmark mit 80% multipliziert werden; dieser Multiplikator reduziert sich dann bis 2027 auf null. Für neue KWK-Anlagen wird darüber hinaus noch der lineare Reduktionsfaktor von 1,74% angewendet. Im Ergebnis bedeutet diese Regelung also, dass von 2027 an auch die Wärmeerzeugung aus der Kraft-Wärme-Kopplung vollständig der Auktionierung unterliegt.

3 Wirtschaftlichkeit neuer KWK-Anlagen auf der Basis von Modellannahmen

3.1 Annahmen für die Modellrechnungen

Die Bewertung der Wirtschaftlichkeit von KWK-Anlagen ist von jeher methodisch komplex und hat sich in den letzten Jahren (s.o.) durch die massiven Veränderungen der energiewirtschaftlichen Rahmenbedingungen (Energie- und CO₂-Preise), aber auch den energie- und klimapolitischen Rahmen (KWK-Gesetz, verschiedene Förderprogramme, Novellierung des EU-Emissionshandelssystems etc.) noch deutlich verkompliziert.

Grundsätzlich ergibt sich die wirtschaftliche Bewertung für KWK-Anlage vor allem aus den folgenden Parametern:

- Brennstoffkosten
- CO₂-Kosten
- Strom- und Wärmeerlöse
- Andere Betriebskosten
- Investitionskosten.

Alle fünf Parameter bzw. Parametergruppen waren in den letzten Jahren starken Veränderungen unterworfen. Für die konkrete Analyse der Wirtschaftlichkeit wurden in Abstimmung mit dem VKU 10 typische KWK-Anlagen zugrunde gelegt.

Dabei handelt es sich um folgende Kraftwerkstypen mit den jeweils angenommenen **spezifischen Investitionskosten** frei Inbetriebnahme:

Erdgas-GuD-KWK:	800 MW _{el}	700 Euro/kW _{el}
	400 MW _{el}	750 Euro/kW _{el}
	100 MW _{el}	900 Euro/kW _{el}
	30 MW _{el}	1000 Euro/kW _{el}
	2 MW _{el} (BHKW)	1400 Euro/kW _{el}
	170 kW _{el} (Klein-KWK)	1700 Euro/kW _{el}
	50 kW _{el} (Mini-KWK)	2500 Euro/kW _{el}
	5 kW _{el} (Mikro-KWK)	5000 Euro/kW _{el}
Steinkohle-KWK	320 MW _{el}	1800 Euro/kW _{el}
Biomasse-HKW	25 MW _{el}	2200 Euro/kW _{el}

Wenn auch für bestehende KWK-Anlagen ein Fortbestand selbst ohne bzw. ohne eine über das KWKG hinausgehende Förderung – wenn auch nicht ohne Risiken - angenommen werden kann, so muss dies nicht für Neuanlagen gelten, in die nur dann investiert wird, wenn mit deren Vollkostendeckung gerechnet werden kann. Um hierzu hinreichend belastbare Aussagen zu entwickeln, wurden entsprechende Modellrechnungen durchgeführt, deren zentrale Annahmen für ein **Referenz-Szenario** in Tabelle 6 zusammengestellt sind.

Tabelle 6 Annahmen für die Wirtschaftlichkeitsrechnungen neuer KWK-Anlagen: Referenz-Szenario

	Einheit	Micro-KWK	Mini-KWK	Mini-KWK	KWK auf Erdgasbasis					Bio-masse	Steinkohle	
		0,005	0,05	0,17	2	30	100	400	800	5	320	
Allgemein	Planungshorizont	10/15/20										
	Realzinssatz/Diskontierungssatz	8; 12										
	Preis CO ₂ -Emissionsrechte	kein CO ₂ -Handel				15; 25; 35						
Technische Kennziffern	Stromkennzahl (leistungsbezogen)	kW _{el} /kW _{th}	0,41	0,58	0,60	0,76	0,75	0,91	1,05	2,00	0,75	0,38
	Nettoleistung elektrisch	MW _{el}	0,005	0,050	0,170	2,0	30,0	100	400	800	5,0	320
	Nettoleistung thermisch	MW _{th}	0,012	0,086	0,283	2,6	40,0	110	425	400	6,6	550
	Jahresnutzungsdauer elektrisch (netto)	h/a	6000	6000	6000	6000	6000	5500	6000	6000	6000	5600
	Jahresnutzungsdauer thermisch (netto)	h/a	6000	6000	6000	6000	4500	4300	4000	4000	6000	3700
	Nettostromerzeugung	GWh _{el}	0,030	0,300	1,020	12,0	180	550	2400	4800	30	1792
	Netto-Nutzwärmeerzeugung	GWh _{th}	0,074	0,517	1,700	15,9	180	473	1700	1600	40	2035
	Brennstoffausnutzung	%/100	0,89	0,85	0,85	0,85	0,85	0,86	0,80	0,75	0,80	0,75
	Brennstoffverbrauch	GWh/a	0,117	0,961	3,200	32,79	424	1189	5125	8533	87	5103
	Fixe Kosten	Spez. Investitionskosten (einschl. Bauzinsen)	€/kW _{el}	5000	2500	1700	1100	1000	900	750	700	2000
Investitionen (einschl. Bauzinsen)		Mio. €	0,025	0,125	0,289	2,2	30	90	300	560	10	576
Personalaufwand		Personen	0,004	0,007	0,011	0,6	5	20	25	60	10	100
Spezifische Personalkosten		1000 €/P*a	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75
Instandhaltung		% der Inv. (p.a.)	5,0	5,0	5,0	5,0	2,0	2,0	2,0	2,0	5,0	1,5
Verwaltung, Versicherung		(p.a.)	0,5	0,5	0,5	0,5	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Variable Kosten/Erlöse	Brennstoffkosten (ggf. inkl. Verteilungskosten)	€/MWh	66	51	47	40	29	29	29	29	40	12
	Stromerlöse - ohne CO ₂ -Einpreisung	€/MWh	183	113	93	82	40	40	40	40	40	40
	Vermiedene Netzkosten	€/MWh	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	Wärmeerlöse (frei Kraftwerk)	€/MWh	73	56	56	42	38	38	38	38	38	38
	Sonstige Kosten (strombezogen)	€/MWh _{el}	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Sonstige Kosten (wärmebezogen)	€/MWh _{th}	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
Förderung nach KWKG	KWK-Zuschläge lt. KWKG2009	ct/kWh	5,11	5,11	2,99	2,18	1,77	1,55	1,51	1,50	1,50	1,50
	Barwert=f (Laufzeit; 8 % Zins; 1,5 % Infl.)	ct/kWh	36,01	36,01	14,26	10,39	7,38	7,23	7,18	7,17	8,46	7,19
	Barwert=f (Laufzeit; 12 % Zins; 1,5 % Infl.)	ct/kWh	30,23	30,23	12,67	9,23	6,56	6,42	6,38	6,37	7,51	6,38
	Absoluter Barwert (" ; 8 %)	Mio. €	0,011	0,108	0,145	1,247	13,3	39,8	129,3	229,5	2,5	62,7
	Absoluter Barwert (" ; 12 %)	Mio. €	0,009	0,091	0,129	1,108	11,8	35,3	114,8	203,9	2,3	55,7
CO ₂ -Emissionsfaktoren	t CO ₂ /TJ	56	56	56	56	56	56	56	56	0	94	
Eskalationsfaktoren (real)	Brennstoffe: Erdgas/Kohle		2,14	2,14	2,14	2,14	2,14	2,14	2,14	1,00	1,67	
	Strom(erlöse)		1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	
	Wärme(erlöse)		2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	
	Emissionsrechte CO ₂		2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	
	Löhne		1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	
	sonstige Kosten		1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	

Die Wirtschaftlichkeitsrechnungen selbst beruhen auf der Anwendung der Kapitalwertmethode als dynamisches Verfahren der Investitionsrechnung. Dabei werden die unter Einbeziehung des Kalkulationszinssatzes (alternativ 8 % oder 12 %), des Planungszeitraumes sowie der jeweils angenommenen Eskalationsfaktoren der einzelnen Kosten- und Erlöspositionen ermittelten Barwerte der Erlöse und der Kosten gegenüber gestellt;

eine positive Differenz (d.h. ein positiver Kapitalwert) signalisiert die prinzipielle Vorteilhaftigkeit der Investition, während umgekehrt ein negativer Kapitalwert eine Investition als unwirtschaftlich ausweist. Bei den Berechnungen wird zunächst die Zuschlagsregelung nach dem KWK-Gesetz nicht berücksichtigt, um eine Beurteilung der Ergebnisse im Hinblick auf die Fördernotwendigkeiten zu ermöglichen.

In die Rechnungen werden die kostenintensiven **Investitionen in das Wärme-Transport- und -Verteilungsnetz explizit nicht einbezogen**. Implizit sind sie freilich dadurch enthalten, als bei den unterstellten Wärmeerlösen nicht die beim Kunden anlegbaren Wärmepreise, die ja auch die Transport- und Verteilungskosten abdecken müssen, berücksichtigt, sondern lediglich die sehr viel niedrigeren Wärmeerlöse frei Kraftwerkseinspeisung. Die Differenz zwischen diesen Werten und den Wärmepreisen schließen insoweit die Transport- und Verteilungskosten ein. Weiterhin sei erwähnt, dass sämtliche Rechnungen mit inflationsbereinigten Werten (Preisbasis 2008) durchgeführt worden sind.

Nach Absprache mit dem VKU-Begleitkreis zu dem Vorhaben wurde für die zugrunde gelegten **Wärmeerlöse** ein Faktor 1,3 bezogen auf die unterstellten Brennstoffpreise für die Strom- und Wärmeerzeugung in den KWK-Anlagen angenommen. Eine Ausnahme wurde allerdings bei den kleinen KWK-Anlagen, also jenen von 5 kW bis maximal 2 MW gemacht. Hier wurden als Wärmeerlöse die äquivalenten Erdgasbezugspreise unter Berücksichtigung eines Nutzungsgrades von 90 % für die getrennte Wärmeerzeugung angesetzt sowie bei den 2 MW Blockheizkraftwerken 10 Euro/MWh für die Kosten des Nahverteilungsnetzes berücksichtigt.

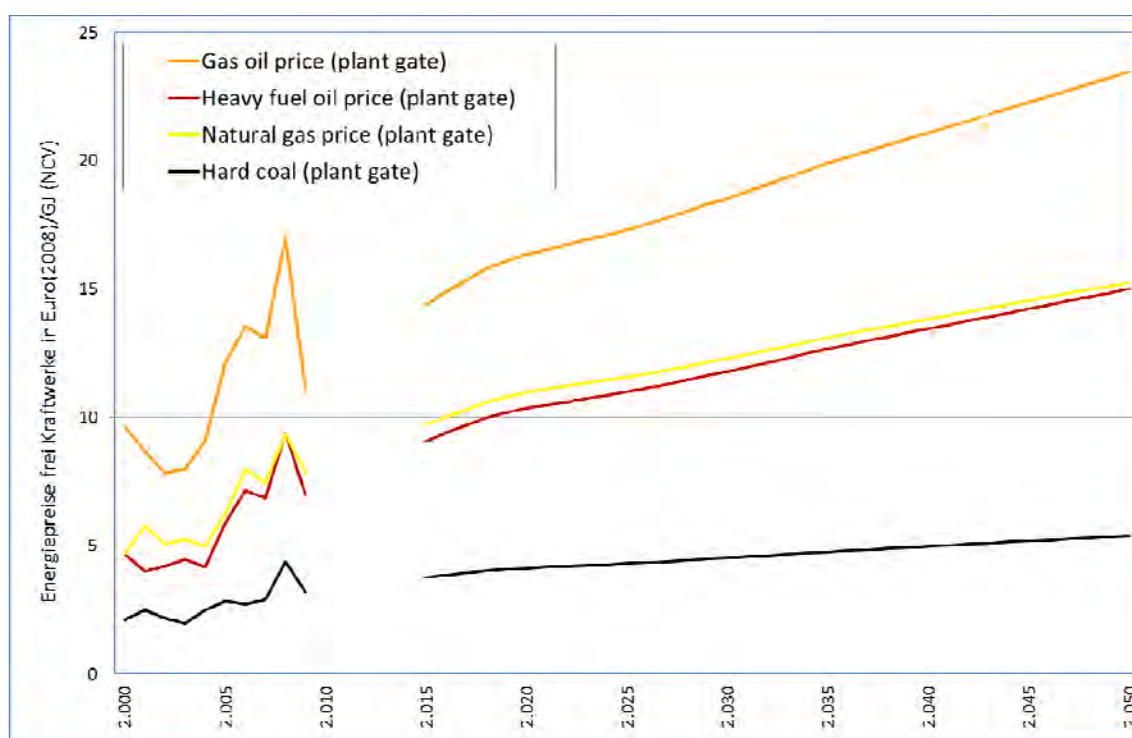
Bei der Festlegung der **Stromerlöse** im Ausgangszustand wurde für die Anlagen größer 2 MW von einem Großhandelspreis von 55 Euro/MWh ausgegangen, abzüglich der eingepreisten CO₂-Kosten, die sich in einer Größenordnung von 15 Euro/t CO₂ bewegen. Entsprechend der getroffenen Annahme hinsichtlich der spezifischen CO₂-Emissionen des preisbestimmenden Grenzkraftwerkes (s.o.) bedeutet das einen Abzug von 15 Euro/MWh, so dass im Ergebnis mit einem derart bereinigten Stromerlös von 40 Euro/MWh gerechnet wird. Für die Anlagen zu einschließlich 2 MW wurden vereinfacht die Stromerlöse mit dem alternativ zu zahlenden Strompreis nach Eurostat in der jeweiligen Verbrauchsgruppe gleichgesetzt. Dies ist insofern eine optimistische, die Wirtschaftlichkeit der kleinen Anlagen begünstigende Annahme, als dabei die Netzkosten unbeachtet bleiben. Eine derartige Ausrichtung an der „grid parity“ ausgerichteten Annahme ist allerdings allenfalls solange vertretbar, als es zu keinem „massenhaften“ Einsatz kleiner KWK-Anlagen kommt. Ansonsten müsste bei den Stromerlösen mit

einem Abschlag für die im System entstehenden Netzkosten gerechnet werden es sei denn, die Anlagen sollen „off-grid“ betrieben werden).

Die **Preise für die in den KWK-Anlagen eingesetzten Brennstoffe** richten sich bei den kleinen Anlagen nach den auch ansonsten zu zahlenden Preisen nach Eurostat. Für die großen Anlagen werden die Importpreise für Erdgas bzw. für Drittlands-Kesselkohle unterstellt. Als Basiswerte werden jeweils die Durchschnitte in den Jahren von 2007 bis 2009 gewählt.

Wesentlich für die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsberechnungen sind auch die Annahmen über die **künftige Entwicklung der Preise und Erlöse**. Hinsichtlich Preise für den Brennstoffeinsatz in KWK-Anlagen wird von den in Band 2 der Untersuchung abgeleiteten Ergebnissen ausgegangen (Abbildung 16). Daraus ergeben sich für den Zeitraum von 2009 bis 2030 jahresdurchschnittliche Preissteigerungsraten für die in dieser Untersuchung relevanten Brennstoffe Erdgas von gut 2,1 %/a und Steinkohle von knapp 1,7 %/a. In Anlehnung an diese Entwicklung werden die Steigerungsraten für die Stromerlöse mit etwa 1,5 %/a und für die Wärmeerlöse wie für die CO₂-Zertifikatspreise mit rund 2 %/a angenommen.

Abbildung 16 *Annahmen zur langfristigen Entwicklung der Preise für den Brennstoffeinsatz in KWK-Anlagen*



Als Variante zum Referenz-Szenario wird eine für die Wirtschaftlichkeit der KWK-Anlagen günstigere bzw. ungünstigere Konstellation der zugrunde gelegten Planungshorizonte sowie der Strom- und Wärmeerlöse unterstellt. Details sind der Tabelle 7 zu entnehmen.

Tabelle 7 Annahmevarianten für die Wirtschaftlichkeitsrechnungen

	Einheit	KWK auf Erdgasbasis								Bio-	Stein-
		Installierte Leistungen in MW _{el}									
		0,005	0,05	0,17	2	30	100	400	800	25	320
Referenzfall											
Planungshorizont	Jahre	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Stromerlös (ohne CO ₂ -Einpreisung; 15 €/t)	€/MWh	183	113	93	82	40	40	40	40	40	40
Wärmeerlös*	€/MWh	73	56	56	42	38	38	38	38	38	38
Günstige Variante											
Planungshorizont	Jahre	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Stromerlös (Ref. +10 €/MWh)	€/MWh	193	123	103	92	50	50	50	50	50	50
Wärmeerlös (Ref. +10 €/MWh)	€/MWh	83	66	66	52	48	48	48	48	48	48
Ungünstige Variante											
Planungshorizont	Jahre	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Stromerlös (Ref. -10 €/MWh)	€/MWh	173	103	83	72	30	30	30	30	30	30
Wärmeerlös (Ref. -10 €/MWh)	€/MWh	63	46	46	32	28	28	28	28	28	28
*) Bei den kleinen Anlagen gleich dem Brennstoffeinsatzpreis unter Berücksichtigung des Nutzungsgrades einer konventionellen Heizungsanlage (Brennwertkessel); bei den großen Anlagen (> 2 MW) Importpreise plus 4 €/MWh mal Wärmefaktor 1,3.											

Weiterhin werden für die Wirtschaftlichkeitsberechnungen von vornherein die Regelungen unterstellt, die gemäß EU-Richtlinie 2009/29/EC vom 23.04.2009 zum Emissionshandel nach 2012 sowie den darauf basierenden Konkretisierungen festgelegt worden sind.

Demnach wird auch für die **Stromerzeugung aus KWK-Anlagen** von 2013 an mit einer **vollständigen Auktionierung** gerechnet mit der Folge einer **100%-Einpreisung** der Zertifikatskosten. Zugleich wird angenommen, dass die Wirkungen auf den Großhandelspreis vom Grenzkraftwerk bestimmt werden, für das von einem älteren Steinkohlenkraftwerk mit spezifischen CO₂-Emissionen von 1 kg CO₂ je erzeugter Kilowattstunde ausgegangen wird.

Für die freie Zuteilung von Zertifikaten für die **Wärmeerzeugung aus KWK-Anlagen** wird entsprechend der weiter oben skizzierten Regelung von einem einheitlichen Benchmark von 224 g CO₂/kWh_{th} ausgegangen, der sich sukzessive durch den unterstellten Multiplikator bis 2027 bis auf Null vermindert. Zugleich ist für neue KWK-Anlagen ein linearer Reduktionsfaktor von 1,74% anzuwenden. In dem Maße, wie im Zeitverlauf der Benchmark reduziert wird, erhöht sich der Auktionierungsanteil der für

die Wärmeerzeugung erforderlichen Zertifikate. Im Einzelnen wird für die weiteren Rechnungen mit folgendem Verlauf des Wärmebenchmarks gerechnet (Tabelle 8)

Tabelle 8 Annahmen zur Entwicklung des Wärmebenchmarks für die Ermittlung der kostenfreien Zertifikatezuteilung an KWK-Anlagen

	Wärmebenchmark	Multiplikator	Linearer Reduktionsfaktor von 1,74 %/a
	Basiswert: 224 g CO ₂ /kWh _{th}		
	g CO ₂ /kWh	Faktor	
2013	176,1	0,800	0,9826
2014	157,5	0,729	0,9652
2015	139,5	0,657	0,9478
2016	122,1	0,586	0,9304
2017	105,2	0,514	0,9130
2018	88,8	0,443	0,8956
2019	73,1	0,371	0,8782
2020	57,8	0,300	0,8608
2021	48,6	0,257	0,8434
2022	39,6	0,214	0,8260
2023	31,1	0,171	0,8086
2024	22,8	0,129	0,7912
2025	14,9	0,086	0,7738
2026	7,3	0,043	0,7564
2027	0,0	0,000	0,7390

Im Hinblick auf die **Berücksichtigung von Fördermaßnahmen für KWK-Anlagen** wird bei dem angenommenen Biomasse-Heizkraftwerk nicht die Förderung nach dem KWK-Gesetz, sondern jene nach dem EEG unterstellt, da dessen Förderwirkung weit- aus höher als jene nach dem KWK-Gesetz ist. Angenommen wird der Fördersatz von 8,25 ct/kWh zzgl. Des KWK-Bonus von 3 ct/kWh, zusammen also 11,25 ct/kWh über 20 Jahre. Daraus errechnet sich bei einer Förderdauer von 20 Jahren und einem Zinssatz von 8 % (12 %) ein kumulierter Barwert von rund 36 Mio. Euro (27 Mio. Euro). Dabei müssen allerdings die Barwerte der andernfalls erzielbaren Stromerlöse gegengerechnet werden, so dass sich der EEG-Fördereffekt entsprechend vermindert.

3.2 Ergebnisse im Referenz-Szenario

Grundsätzlich wird bei der folgenden Darstellung der Ergebnisse mit einer 100%igen Einpreisung der CO₂-Zertifikatspreise gerechnet. Lediglich zur Illustration wird für das Referenz-Szenario auch der Fall einer Nicht-Einpreisung betrachtet, um die entsprechenden Effekte sichtbar werden zu lassen. Weiterhin werden jeweils die Ergebnisse ohne bzw. unter Berücksichtigung der Fördermaßnahmen ausgewiesen.

Die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsrechnungen für das Referenz-Szenario ohne KWK-Förderung und ohne CO₂-Einpreisung sind Tabelle 9 zu entnehmen. Daraus ergibt sich, dass mit einer einzigen Ausnahme (Steinkohlen-HKW bei 0 Euro/t CO₂ und 8 % Zins) sämtliche anderen KWK-Anlagen in allen Kombinationen negative Kapitalwerte aufweisen – insoweit also ihre Wirtschaftlichkeitsschwelle nicht erreichen werden.

Dieses Bild ändert sich leicht (Tabelle 10), wenn eine erwartbare 100%-Einpreisung angenommen wird. In diesem Fall gelangen mehr und mehr KWK-Anlagen auch schon ohne besondere KWK-Förderung in den Bereich der Wirtschaftlichkeit. Dabei wird eine Tendenz deutlich erkennbar: Mit positiven Kapitalwerten verbessern sich bei gegebener Verzinsung mit steigenden CO₂-Preisen. Dieser Effekt kommt dadurch zustande, dass die untersuchten KWK-Anlagen durchweg günstigere spezifische CO₂-Emissionen aufweisen als das preisbestimmende Grenzkraftwerk (mit 1 kg CO₂/kWh!). Daher profitieren die Anlagen von den im Zuge der steigenden CO₂-Preisen höheren Strompreisen. Bei CO₂-Preisen von 35 Euro/t CO₂ sind bei einem Zinssatz von 8 % nahezu alle KWK-Anlagen mit Ausnahme der Biomasse-KWK (ohne Berücksichtigung der EEG-Förderung!) und der Mikro-KWK (5 kW) „wirtschaftlich“.

Einen Eindruck von den Auswirkungen der KWK-Förderung auf die Wirtschaftlichkeit der KWK-Anlagen liefert Tabelle 11 (ohne Förderung nach dem Mini-KWK-Programm). Danach zeigt sich für zahlreiche Konstellationen – aber (insbesondere bei niedrigen CO₂-Preisen) nicht für alle – ein positiver Kapitalwert. Demnach würde die derzeit geltende Förderregelung unter den hier getroffenen Annahmen vielfach eine Wirtschaftlichkeit der KWK-Anlagen bewirken. Eine deutliche Ausnahme bildet allerdings die untersuchte KWK-Anlage auf Biomassebasis, die in keinem Fall positive Kapitalwerte erreicht.

Graphische Darstellungen der Ergebnisse für das Referenz-Szenario mit und ohne Förderung bei einem Zinssatz von 8 % sind Abbildung 17 bis Abbildung 21 im Anhang zu entnehmen.

Tabelle 9 Referenz-Szenario ohne KWK-Förderung: Kapitalwert neuer KWK-Anlagen nach Zinssatz und CO₂-Preis, ohne Einpreisung der CO₂-Kosten

Referenzfall		Erdgasbasis								Bio- masse	Stein- kohle
Angaben in Mio. €		0,005 MW	0,050 MW	0,170 MW	BHKW 2 MW	10-50 MW	80-120 MW	400 MW	800 MW	5 MW	320 MW
Ohne CO ₂ - Kosten	0 €/t CO ₂ ; Zins: 8 %	-0,011	-0,07	-0,08	-0,7	-27	-81	-303	-718	-28	28
	0 €/t CO ₂ ; Zins: 12 %	-0,014	-0,08	-0,12	-1,0	-27	-82	-300	-679	-25	-102
Mit CO ₂ -Vollkosten (Auktionierung)	15 €/t CO ₂ ; Zins: 8 %	-0,011	-0,07	-0,08	-0,7	-36,7	-109	-429	-947	-28	-221
	15 €/t CO ₂ ; Zins: 12 %	-0,014	-0,08	-0,12	-1,0	-35,1	-104	-399	-859	-25	-297
	25 €/t CO ₂ ; Zins: 8 %	-0,011	-0,07	-0,08	-0,7	-43,2	-128	-514	-1099	-28	-387
	25 €/t CO ₂ ; Zins: 12 %	-0,014	-0,08	-0,12	-1,0	-40,2	-119	-465	-979	-25	-428
	35 €/t CO ₂ ; Zins: 8 %	-0,011	-0,07	-0,08	-0,7	-49,8	-147	-598	-1252	-28	-554
	35 €/t CO ₂ ; Zins: 12 %	-0,014	-0,08	-0,12	-1,0	-45,4	-134	-531	-1098	-25	-559
Stromerlöse ohne CO ₂ -PTR (€/MWh)		183	113	93	82	40	40	40	40	40	40
Wärmeerlöse (€/MWh)		73	56	56	42	38	38	38	38	38	38
Einpreisung: PTR 0,0%		Planungshorizont: 15				Rechnungen ohne KWK-Förderung					
Gelb unterlegt = Annahmen						Grün unterlegt = positiver Kapitalwert					

Tabelle 10 Referenz-Szenario ohne KWK-Förderung: Kapitalwert neuer KWK-Anlagen nach Zinssatz und CO₂-Preis, mit 100%-Einpreisung der CO₂-Kosten

Referenzfall		Erdgasbasis								Bio- masse	Stein- kohle
Angaben in Mio. €		0,005 MW	0,050 MW	0,170 MW	BHKW 2 MW	10-50 MW	80-120 MW	400 MW	800 MW	5 MW	320 MW
Ohne CO ₂ - Kosten	0 €/t CO ₂ ; Zins: 8 %	-0,011	-0,07	-0,08	-0,7	-27	-81	-303	-718	-28	28
	0 €/t CO ₂ ; Zins: 12 %	-0,014	-0,08	-0,12	-1,0	-27	-82	-300	-679	-25	-102
Mit CO ₂ -Vollkosten (Auktionierung)	15 €/t CO ₂ ; Zins: 8 %	-0,007	-0,02	0,06	1,0	-11,1	-31	-89	-266	-24	33
	15 €/t CO ₂ ; Zins: 12 %	-0,011	-0,05	-0,01	0,4	-14,9	-43	-130	-322	-21	-97
	25 €/t CO ₂ ; Zins: 8 %	-0,004	0,00	0,16	2,2	-0,7	2	54	36	-21	36
	25 €/t CO ₂ ; Zins: 12 %	-0,009	-0,02	0,07	1,3	-6,7	-17	-18	-84	-19	-94
	35 €/t CO ₂ ; Zins: 8 %	-0,001	0,03	0,26	3,3	9,8	35	197	337	-18	40
	35 €/t CO ₂ ; Zins: 12 %	-0,006	0,00	0,14	2,2	1,6	10	95	154	-17	-91
Stromerlöse ohne CO ₂ -PTR (€/MWh)		183	113	93	82	40	40	40	40	40	40
Wärmeerlöse (€/MWh)		73	56	56	42	38	38	38	38	38	38
Einpreisung: PTR 100,0%		Planungshorizont: 15				Rechnungen ohne KWK-Förderung					
Gelb unterlegt = Annahmen						Grün unterlegt = positiver Kapitalwert					

Tabelle 11 Referenz-Szenario mit KWK/EEG-Förderung: Kapitalwert neuer KWK-Anlagen nach Zinssatz und CO₂-Preis, mit 100%- Einpreisung der CO₂-Kosten (ohne Mini-KWK-Förderung)

Angaben in Mio. Euro		KWK auf Erdgasbasis								Bio- masse*)	Stein- kohle
		Installierte Leistungen in MW _{el}									
		0,005	0,05	0,17	2	30	100	400	800		
0 €/t CO ₂	Zins: 8 %	-0,001	0,041	0,064	0,570	-13,6	-41,2	-173,9	-488,7	-3,6	90,7
	Zins: 12 %	-0,005	0,012	0,006	0,129	-15,5	-47,0	-184,8	-475,1	-6,4	-45,8
15 €/t CO ₂	Zins: 8 %	0,004	0,083	0,208	2,273	2,1	8,7	40,4	-36,3	-3,6	95,7
	Zins: 12 %	-0,002	0,045	0,120	1,472	-3,1	-7,6	-15,6	-117,9	-6,4	-41,3
25 €/t CO ₂	Zins: 8 %	0,007	0,112	0,305	3,408	12,6	42,0	183,2	265,3	-3,6	99,1
	Zins: 12 %	0,000	0,068	0,196	2,367	5,1	18,7	97,2	120,3	-6,4	-38,2
35 €/t CO ₂	Zins: 8 %	0,009	0,140	0,401	4,543	23,1	75,2	326,0	566,9	-3,6	102,4
	Zins: 12 %	0,003	0,090	0,272	3,262	13,4	45,0	210,0	358,4	-6,4	-35,1

*) Nur mit EEG-Förderung.

3.3 Ergebnisse in der günstigen Variante bei 100%-Einspeisung

Unter einer günstigen - sicher eher sehr optimistischen - Konstellation von Planungshorizont, Strom- und Wärmeerlösen ergeben sich, wiederum mit Ausnahme der Biomasse-HKW (ohne EEG-Förderung), durchweg positive Ergebnisse selbst ohne Inanspruchnahme der KWK-Förderung (Tabelle 12).

Das gilt erst recht, wenn zusätzlich noch die gegebene KWK-Förderung einbezogen wird (Tabelle 13). In dieser Variante und unter Einschluss der EEG-Förderung überschreitet auch das Biomasse-HKW bei einem Zins von 8 % die Wirtschaftlichkeitsschwelle.

Im Anhang geben Abbildung 22 bis Abbildung 25 einen graphischen Eindruck von den Ergebnissen für diese günstige Variante.

Tabelle 12 Günstige Variante ohne Förderung: Kapitalwert neuer KWK-Anlagen differenziert nach Zinssatz, CO₂-Preis bei vollständiger Auktionierung und 100%- Einpreisung der CO₂-Kosten

Günstige Variante		Erdgasbasis								Bio- masse	Stein- kohle
		0,005 MW	0,050 MW	0,170 MW	BHKW 2 MW	10-50 MW	80-120 MW	400 MW	800 MW		
Angaben in Mio. €		0,005 MW	0,050 MW	0,170 MW	BHKW 2 MW	10-50 MW	80-120 MW	400 MW	800 MW	5 MW	320 MW
Ohne CO ₂ - Kosten	0 €/t CO ₂ ; Zins: 8 %	0,003	0,03	0,26	2,7	14	34	149	-50	-23	574
	0 €/t CO ₂ ; Zins: 12 %	-0,004	-0,01	0,12	1,5	3	4	41	-168	-20	281
Mit CO ₂ -Vollkosten (Auktionierung)	15 €/t CO ₂ ; Zins: 8 %	0,008	0,08	0,43	4,7	31,3	90	391	471	-18	569
	15 €/t CO ₂ ; Zins: 12 %	0,000	0,03	0,25	3,0	16,3	46	223	224	-16	279
	25 €/t CO ₂ ; Zins: 8 %	0,011	0,12	0,54	6,0	43,0	128	553	819	-15	565
	25 €/t CO ₂ ; Zins: 12 %	0,002	0,06	0,33	4,0	25,1	74	345	485	-14	277
	35 €/t CO ₂ ; Zins: 8 %	0,014	0,15	0,65	7,3	54,7	165	715	1167	-11	562
	35 €/t CO ₂ ; Zins: 12 %	0,004	0,08	0,42	5,0	33,8	102	466	746	-11	275
Stromerlöse ohne CO ₂ -PTR (€/MWh)		193	123	103	92	50	50	50	50	50	50
Wärmeerlöse (€/MWh)		83	66	66	52	48	48	48	48	48	48
Einpreisung: PTR 100,0%		Planungshorizont: 20				Rechnungen ohne KWK-Förderung					
Gelb unterlegt = Annahmen						Grün unterlegt = positiver Kapitalwert					

Tabelle 13 Günstige Variante mit KWK/EEG-Förderung: Kapitalwert neuer KWK-Anlagen differenziert nach Zinssatz, CO₂-Preis bei vollständiger Auktionierung und 100%- Einpreisung der CO₂-Kosten (ohne Mini-KWK-Förderung)

Angaben in Mio. Euro		KWK auf Erdgasbasis								Bio- masse*)	Stein- kohle
		Installierte Leistungen in MW _{el}									
		0,005	0,05	0,17	2	30	100	400	800		
0 €/t CO ₂	Zins: 8 %	0,013	0,141	0,402	3,921	27,1	73,9	277,8	179,2	-3,7	636,8
	Zins: 12 %	0,005	0,085	0,252	2,592	14,9	39,2	155,4	35,9	-5,4	337,0
15 €/t CO ₂	Zins: 8 %	0,018	0,191	0,572	5,919	44,6	130,1	520,5	700,9	-0,5	631,4
	Zins: 12 %	0,009	0,123	0,379	4,088	28,1	81,4	337,9	427,9	-5,4	334,2
25 €/t CO ₂	Zins: 8 %	0,022	0,225	0,685	7,251	56,3	167,6	682,4	1048,7	0,0	627,9
	Zins: 12 %	0,011	0,148	0,464	5,086	36,9	109,6	459,5	689,1	-5,4	332,3
35 €/t CO ₂	Zins: 8 %	0,025	0,258	0,798	8,583	68,0	205,1	844,3	1396,5	0,5	624,3
	Zins: 12 %	0,014	0,173	0,549	6,084	45,6	137,8	581,2	950,4	-5,4	330,5

*) Nur mit EEG-Förderung.

3.4 Ergebnisse in der ungünstigen Szenario bei 100%-Einpreisung

Unter der hier gewählten ungünstigen Annahmenkombination verhindern niedrigere Strom- und Wärmeerlöse sowie ein kürzerer Planungshorizont ohne KWK-Förderung für sämtliche KWK-Anlagen die Wirtschaftlichkeit (Tabelle 14).

Tabelle 14 Ungünstige Variante ohne Förderung: Kapitalwert neuer KWK-Anlagen differenziert nach Zinssatz, CO₂-Preis bei vollständiger Auktionierung und 100%- Einpreisung der CO₂-Kosten

Ungünstige Variante		Erdgasbasis								Bio- masse 5 MW	Stein- kohle 320 MW
		0,005 MW	0,050 MW	0,170 MW	BHKW 2 MW	10-50 MW	80-120 MW	400 MW	800 MW		
Angaben in Mio. €											
Ohne CO ₂ - Kosten	0 €/t CO ₂ ; Zins: 8 %	-0,022	-0,14	-0,32	-3,0	-53	-156	-593	-1129	-29	-400
	0 €/t CO ₂ ; Zins: 12 %	-0,022	-0,14	-0,32	-2,9	-49	-145	-545	-1035	-26	-429
Mit CO ₂ -Vollkosten (Auktionierung)	15 €/t CO ₂ ; Zins: 8 %	-0,019	-0,11	-0,21	-1,7	-40,6	-116	-422	-776	-26	-386
	15 €/t CO ₂ ; Zins: 12 %	-0,020	-0,11	-0,23	-1,8	-38,8	-112	-401	-739	-24	-417
	25 €/t CO ₂ ; Zins: 8 %	-0,017	-0,08	-0,14	-0,9	-32,1	-89	-308	-541	-24	-377
	25 €/t CO ₂ ; Zins: 12 %	-0,018	-0,09	-0,16	-1,1	-31,7	-89	-306	-541	-22	-410
	35 €/t CO ₂ ; Zins: 8 %	-0,014	-0,06	-0,07	0,01	-23,6	-63	-194	-305	-22	-368
	35 €/t CO ₂ ; Zins: 12 %	-0,016	-0,07	-0,10	-0,3	-24,5	-67	-210	-344	-20	-402
Stromerlöse ohne CO ₂ -PTR (€/MWh)		173	103	83	72	30	30	30	30	30	30
Wärmeerlöse (€/MWh)		63	46	46	32	28	28	28	28	28	28
Einpreisung: PTR 100,0%		Planungshorizont: 10				Rechnungen ohne KWK-Förderung					
Gelb unterlegt = Annahmen						Grün unterlegt = positiver Kapitalwert					

Selbst unter Berücksichtigung der KWK-Förderung wird die Wirtschaftlichkeitsschwelle bei den größeren Anlagen nicht erreicht. Dagegen zeigt sich bei den kleinen KWK-Anlagen bei höheren CO₂-Preisen ein positives Ergebnis (Tabelle 15).

Biomasse-Heizkraftwerke schneiden bei einem niedrigeren Zinssatz wegen der EEG-Förderung durchweg positiv ab.

Tabelle 15 *Ungünstige Variante mit KWK/EEG-Förderung: Kapitalwert neuer KWK-Anlagen differenziert nach Zinssatz, CO₂-Preis bei vollständiger Auktionierung und 100%- Einpreisung der CO₂-Kosten (ohne Mini-KWK-Förderung)*

Angaben in Mio. Euro		KWK auf Erdgasbasis								Bio- masse*)	Stein- kohle		
		Installierte Leistungen in MW _{el}											
		0,005	0,05	0,17	2	30	100	400	800			5	320
0 €/t CO ₂	Zins: 8 %	-0,011	-0,031	-0,179	-1,771	-40,1	-116,4	-464,2	-899,7	0,1	-337,2		
	Zins: 12 %	-0,013	-0,046	-0,189	-1,769	-37,7	-109,9	-430,0	-831,1	-4,7	-373,1		
15 €/t CO ₂	Zins: 8 %	-0,008	0,001	-0,069	-0,472	-27,3	-76,3	-293,1	-546,5	0,1	-323,7		
	Zins: 12 %	-0,0107	-0,019	-0,096	-0,679	-27,0	-76,2	-286,5	-534,8	-4,7	-361,5		
25 €/t CO ₂	Zins: 8 %	-0,006	0,023	0,005	0,395	-18,8	-49,5	-179,1	-311,1	0,1	-314,6		
	Zins: 12 %	-0,009	-0,0004	-0,034	0,047	-19,9	-53,8	-190,8	-337,2	-4,7	-353,8		
35 €/t CO ₂	Zins: 8 %	-0,004	0,045	0,079	1,261	-10,3	-22,8	-65,1	-75,6	0,1	-305,6		
	Zins: 12 %	-0,007	0,018	0,027	0,774	-12,7	-31,3	-95,1	-139,7	-4,7	-346,1		

*) Nur mit EEG-Förderung.

3.5 Weitere Interpretationshinweise

Von hoher Ergebnisrelevanz sind neben den Annahmen über die Strom- und Wärmeerlöse sowie über die Brennstoffpreise und deren weitere Eskalation auch die Annahmen über das preisbestimmende Grenzkraftwerk und die damit anzusetzenden, die Höhe der CO₂-Einpreisung reflektierenden und auf die Strompreiserhöhung wirkenden spezifischen CO₂-Emissionen. Die hier unterstellten 1 kg CO₂/kWh bei einem älteren Steinkohlenkraftwerk bedeuten eine Strompreisanhebung von 1 Euro/MWh bei 1 Euro/t CO₂.

Bislang ist die Annahme eines Steinkohlenkraftwerks als das maßgebliche Grenzkraftwerk empirisch hinreichend gesichert. Dies muss für die kommenden Jahre aber durchaus nicht der Fall sein. Sollten beispielsweise moderne Steinkohlenkraftwerke vielleicht mit einem Jahresnutzungsgrad von 45 % zum Grenzkraftwerk werden, dann wäre eher mit 750 g CO₂/kWh zu rechnen; sollte es sich gar um ein Erdgaskraftwerk mit einem Nutzungsgrad von 58 % handeln, dann würde sich ein Wert von lediglich rund 350 g CO₂/kWh ergeben. Unter den ansonsten unveränderten Annahmen des Referenz-

Szenarios seien die Auswirkungen veränderter spezifischer CO₂-Werte deutlich gemacht.

Unterstellt man die als maßgebliches Grenzkraftwerk ein modernes Steinkohlenkraftwerk mit 750 g CO₂/kWh, was gleichbedeutend mit einer Einpreisungsquote von 75 % ist, dann geraten emissionshandelspflichtige KWK-Anlagen nur bei sehr hohen CO₂-Preisen und niedrigem Zins allenfalls in die Nähe der Wirtschaftlichkeit (Tabelle 16).

Tabelle 16 *Modifiziertes Referenz-Szenario ohne KWK/EEG-Förderung bei einem modernen Steinkohlenkraftwerk als Grenzkraftwerk mit spezifischen CO₂-Emissionen von 750 g CO₂/kWh*

Modifizierter Referenzfall (750 g CO ₂ /kWh)		Erdgasbasis								Bio- masse 5 MW	Stein- kohle 320 MW
		0,005 MW	0,050 MW	0,170 MW	BHKW 2 MW	10-50 MW	80-120 MW	400 MW	800 MW		
Angaben in Mio. €											
Ohne CO ₂ - Kosten	0 €/t CO ₂ ; Zins: 8 %	-0,011	-0,07	-0,08	-0,7	-27	-81	-303	-718	-28	28
	0 €/t CO ₂ ; Zins: 12 %	-0,014	-0,08	-0,12	-1,0	-27	-82	-300	-679	-25	-102
Mit CO ₂ -Vollkosten (Auktionierung)	15 €/t CO ₂ ; Zins: 8 %	-0,008	-0,04	0,03	0,6	-17,5	-51	-174	-436	-25	-31
	15 €/t CO ₂ ; Zins: 12 %	-0,012	-0,05	-0,04	0,0	-20,0	-58	-198	-456	-22	-147
	25 €/t CO ₂ ; Zins: 8 %	-0,006	-0,01	0,10	1,5	-11,3	-30	-88	-248	-23	-70
	25 €/t CO ₂ ; Zins: 12 %	-0,010	-0,04	0,02	0,7	-15,0	-42	-130	-307	-20	-177
	35 €/t CO ₂ ; Zins: 8 %	-0,004	0,01	0,17	2,3	-5,1	-10	-2	-60	-21	-109
	35 €/t CO ₂ ; Zins: 12 %	-0,008	-0,02	0,08	1,4	-10,1	-26	-61	-159	-19	-208
Stromerlöse ohne CO ₂ -PTR (€/MWh)		183	113	93	82	40	40	40	40	40	40
Wärmeerlöse (€/MWh)		73	56	56	42	38	38	38	38	38	38
Einpreisung: PTR 75,0%		Planungshorizont: 15				Rechnungen ohne KWK-Förderung					
Gelb unterlegt = Annahmen						Grün unterlegt = positiver Kapitalwert					

Die Situation verbessert sich unter Berücksichtigung der KWK-Förderung für die größeren KWK-Anlagen lediglich im oberen Bereich der CO₂-Preise. Wie schon im Referenz-Szenario (Tabelle 17).

Noch erheblich ungünstiger sieht das Ergebnis aus, wenn sogar ein Erdgaskraftwerk als Grenzkraftwerk mit spezifischen Emissionen von 350 g CO₂/kWh angenommen wird. In diesem Fall erreicht keine der untersuchten KWK-Anlagen die Wirtschaftlichkeitsschwelle (Tabelle 18).

Selbst die Einbeziehung der KWK-Förderung ändert an diesem Bild für die größeren KWK-Anlagen praktisch nichts (Tabelle 19). Immerhin zeigt sich bei den kleinen KWK-Anlagen bei Einbeziehung der geltenden Fördermaßnahmen ein positives Bild.

Tabelle 17 Modifiziertes Referenzszenario mit KWK/EEG-Förderung bei einem modernen Steinkohlenkraftwerk als Grenzkraftwerk mit spezifischen CO₂-Emissionen von 750 g CO₂/kWh (ohne Mini-KWK-Förderung)

Angaben in Mio. Euro		KWK auf Erdgasbasis								Bio-masse*)	Stein-kohle
		Installierte Leistungen in MW _{el}									
		0,005	0,05	0,17	2	30	100	400	800	5	320
0 €/t CO ₂	Zins: 8 %	-0,001	0,041	0,064	0,570	-13,6	-41,2	-173,9	-488,7	-3,6	90,7
	Zins: 12 %	-0,005	0,012	0,006	0,129	-15,5	-47,0	-184,8	-475,1	-6,4	-45,8
15 €/t CO ₂	Zins: 8 %	0,003	0,073	0,172	1,847	-4,2	-10,8	-44,8	-206,6	-4,7	32,2
	Zins: 12 %	-0,003	0,037	0,091	1,136	-8,2	-23,0	-82,7	-252,1	-7,2	-91,4
25 €/t CO ₂	Zins: 8 %	0,005	0,094	0,245	2,698	2,0	9,4	41,3	-18,5	-5,4	-6,9
	Zins: 12 %	-0,001	0,054	0,148	1,807	-3,2	-6,9	-14,7	-103,4	-7,8	-121,7
35 €/t CO ₂	Zins: 8 %	0,007	0,115	0,317	3,550	8,2	29,7	127,4	169,6	-6,1	-45,9
	Zins: 12 %	0,001	0,071	0,205	2,479	1,7	9,1	53,4	45,2	-8,3	-152,1

*) Nur mit EEG-Förderung.

Tabelle 18 Modifiziertes Referenz-Szenario ohne KWK/EEG-Förderung bei einem Erdgaskraftwerke als Grenzkraftwerk mit spezifischen CO₂-Emissionen von 350 g CO₂/kWh

Modifizierter Referenzfall (350 g CO ₂ /kWh)		Erdgasbasis								Bio-masse	Stein-kohle
Angaben in Mio. €		0,005 MW	0,050 MW	0,170 MW	BHKW 2 MW	10-50 MW	80-120 MW	400 MW	800 MW	5 MW	320 MW
Ohne CO ₂ -Kosten	0 €/t CO ₂ ; Zins: 8 %	-0,011	-0,07	-0,08	-0,7	-27	-81	-303	-718	-28	28
	0 €/t CO ₂ ; Zins: 12 %	-0,014	-0,08	-0,12	-1,0	-27	-82	-300	-679	-25	-102
Mit CO ₂ -Vollkosten (Auktionierung)	15 €/t CO ₂ ; Zins: 8 %	-0,010	-0,05	-0,03	-0,1	-27,7	-82	-310	-709	-27	-132
	15 €/t CO ₂ ; Zins: 12 %	-0,013	-0,07	-0,08	-0,5	-28,0	-83	-305	-671	-23	-227
	25 €/t CO ₂ ; Zins: 8 %	-0,009	-0,04	0,00	0,3	-28,4	-82	-315	-702	-26	-239
	25 €/t CO ₂ ; Zins: 12 %	-0,012	-0,06	-0,06	-0,2	-28,5	-83	-309	-665	-23	-311
	35 €/t CO ₂ ; Zins: 8 %	-0,008	-0,03	0,04	0,7	-29,0	-83	-320	-696	-25	-346
	35 €/t CO ₂ ; Zins: 12 %	-0,011	-0,05	-0,03	0,1	-28,9	-84	-312	-660	-22	-395
Stromerlöse ohne CO ₂ -PTR (€/MWh)		183	113	93	82	40	40	40	40	40	40
Wärmeerlöse (€/MWh)		73	56	56	42	38	38	38	38	38	38
Einpreisung: PTR 35,0%		Planungshorizont: 15				Rechnungen ohne KWK-Förderung					
Gelb unterlegt = Annahmen						Grün unterlegt = positiver Kapitalwert					

Tabelle 19 *Modifiziertes Referenzszenario mit KWK/EEG-Förderung bei einem Erdgaskraftwerk als Grenzkraftwerk mit spezifischen CO₂-Emissionen von 350 g CO₂/kWh (ohne Mini-KWK-Förderung)*

Angaben in Mio. Euro		KWK auf Erdgasbasis								Bio- masse*)	Stein- kohle
		Installierte Leistungen in MW _{el}									
		0,005	0,05	0,17	2	30	100	400	800		
0 €/t CO ₂	Zins: 8 %	-0,001	0,041	0,064	0,570	-13,6	-41,2	-173,9	-488,7	-3,6	90,7
	Zins: 12 %	-0,005	0,012	0,006	0,129	-15,5	-47,0	-184,8	-475,1	-6,4	-45,8
15 €/t CO ₂	Zins: 8 %	0,001	0,056	0,114	1,166	-14,5	-42,0	-181,0	-479,0	-6,4	-69,5
	Zins: 12 %	-0,004	0,024	0,045	0,599	-16,2	-47,6	-190,1	-466,9	-8,6	-171,5
25 €/t CO ₂	Zins: 8 %	0,002	0,066	0,148	1,563	-15,1	-42,6	-185,7	-472,5	-8,2	-176,4
	Zins: 12 %	-0,003	0,031	0,072	0,913	-16,7	-48,0	-193,7	-461,4	-10,0	-255,4
35 €/t CO ₂	Zins: 8 %	0,003	0,076	0,182	1,960	-15,7	-43,1	-190,5	-466,1	-10,1	-283,2
	Zins: 12 %	-0,002	0,039	0,099	1,226	-17,1	-48,3	-197,2	-455,9	-11,5	-339,2

*) Nur mit EEG-Förderung.

Interessant ist auch die Frage nach den Wirkungen das Mini-KWK-Förderprogramm auf die wirtschaftliche Bewertung der hier untersuchten 5 kW- und 50 kW-Anlage. Wie sich zeigt, ändert sich das Bild in den in Tabelle 20 ausgewiesenen Fällen nur bei den 5 kW-Anlagen bei begrenzter Einpreisung und in der ungünstigen Variante leicht. Grund dafür sind die schon für den Referenzfall vergleichsweise günstigen Annahmen zu den Wärme- und Stromerlösen (Annahme: „grid parity“) für beide Anlagentypen.

Sensitivitätsrechnungen zeigen, dass bei Einrechnung von Netzkosten in die Stromerlöse, zumindest die 5 kW Anlage ohne Förderung gar nicht, und mit Förderung nach dem KWKG und dem Mini-KWK-Programm noch immer nicht wirtschaftlich ist.

Erkennbar wird auch, dass die Mini-KW>K-Förderung allein tendenziell zu ungünstigeren Resultaten führt als jene lediglich nach dem KWK-Gesetz. Beide Fördermaßnahmen zusammen genommen führen nahezu in jedem Fall zu einem wirtschaftlich positiven Ergebnis.

Tabelle 20 Einfluss des Mini-KWK-Förderprogramms auf die Wirtschaftlichkeit der Mini-KWK-Anlagen mit und ohne gleichzeitige Inanspruchnahme der Förderung nach dem KKG (Zins: 8 %)

Angaben in Mio. Euro	Mikro-KWK 5 kW	Mini-KWK 50 kW	Mikro-KWK 5 kW	Mini-KWK 50 kW	Mikro-KWK 5 kW	Mini-KWK 50 kW
	Ohne Mini-KWK-Förderung		Nur Mini-KWK-Förderung		KWK-G + Mini-KWK-Förderung	
Referenzfall (ohne Einpreisung)						
0 €/t CO ₂	-0,0006	0,0408	-0,0016	-0,0490	0,0092	0,0590
15 €/t CO ₂	-0,0006	0,0408	-0,0016	-0,0490	0,0092	0,0590
25 €/t CO ₂	-0,0006	0,0408	-0,0016	-0,0490	0,0092	0,0590
35 €/t CO ₂	-0,0006	0,0408	-0,0016	-0,0490	0,0092	0,0590
Referenzfall (100 % Einpreisung)						
0 €/t CO ₂	-0,0006	0,0408	-0,0016	-0,0490	0,0092	0,0590
15 €/t CO ₂	0,0037	0,0833	0,0027	-0,0064	0,0135	0,1016
25 €/t CO ₂	0,0065	0,1117	0,0055	0,0220	0,0163	0,1300
35 €/t CO ₂	0,0094	0,1401	0,0084	0,0503	0,0192	0,1583
Referenzfall (75 % Einpreisung)						
0 €/t CO ₂	-0,0006	0,0408	-0,0016	-0,0490	0,0092	0,0590
15 €/t CO ₂	0,0026	0,0727	0,0016	-0,0171	0,0124	0,0910
25 €/t CO ₂	0,0048	0,0940	0,0038	0,0042	0,0146	0,1122
35 €/t CO ₂	0,0069	0,1152	0,0059	0,0255	0,0167	0,1335
Referenzfall (35 % Einpreisung)						
0 €/t CO ₂	-0,0006	0,0408	-0,0016	-0,0490	0,0092	0,0590
15 €/t CO ₂	0,0009	0,0557	-0,0001	-0,0341	0,0107	0,0739
25 €/t CO ₂	0,0019	0,0656	0,0009	-0,0242	0,0117	0,0839
35 €/t CO ₂	0,0029	0,0755	0,0019	-0,0142	0,0127	0,0938
Ungünstige Variante (100 % Einpreisung)						
0 €/t CO ₂	-0,0112	-0,0310	-0,0122	-0,1207	-0,0014	-0,0127
15 €/t CO ₂	-0,0079	0,0015	-0,0089	-0,0883	0,0019	0,0198
25 €/t CO ₂	-0,0058	0,0232	-0,0068	-0,0666	0,0040	0,0414
35 €/t CO ₂	-0,0036	0,0448	-0,0046	-0,0449	0,0062	0,0631

4 Zusammenfassung und Schlussfolgerung

Die Ergebnisse der Modellrechnungen zur Wirtschaftlichkeit für neue KWK-Anlagen zeigen ein sehr heterogenes Bild. Signifikante Auswirkungen auf das Ergebnis haben insbesondere die Annahmen zu den Wärme- und Stromerlösen sowie zu den Brennstoffinputpreisen. Wärmeerlöse frei Kraftwerksausgang unter 30 €/MWh, Stromerlöse von weniger als 40 €/MWh sowie Brennstoffpreise (Erdgas) von über 30 €/MWh lassen einen wirtschaftlichen Betrieb der betrachteten neuen KWK-Anlagen praktisch nicht zu.

Deutlich erkennbar ist auch, dass die Wirtschaftlichkeit am ehesten noch bei Steinkohlen-Anlage angesichts der sehr niedrigen Brennstoffkosten gegeben ist. Das Einsatzpotential für große KWK-Anlagen im 300 bis 400 MW-Bereich – und dies gilt nicht nur für Steinkohlenanlagen sondern auch für die großen Erdgas-GuD-Heizkraftwerke – dürfte allerdings eher begrenzt sein und nur noch für wenige Kommunen in Betracht kommen, die ältere bestehende KWK-Anlagen modernisieren könnten. Ein Neubau derartiger großer KWK-Anlagen mit zusätzlichen neuen Wärmesenken ist in Deutschland dagegen wohl nur noch in begrenztem Umfang zu erwarten. Es ist auch nicht zu übersehen, dass gerade bei diesen Anlagen die hohe Kapitalbindung auch hinsichtlich der parallel notwendigen Investitionen in das Transport- und Verteilungssystem für die in Frage kommenden Kommunen ebenfalls zu einer insgesamt negativen Bewertung führen kann.

Hinzu kommt, dass es angesichts der mittel- und langfristig im Zuge einer Umsetzung des Energieprogramms der Bundesregierung zu erwartender Minderungen des Wärmebedarfs im Gebäudebereich zu einer deutlichen Reduzierung der Wärmesenken kommen dürfte. Damit würden aber auch langfristigen wirtschaftlichen Perspektiven von KWK-Anlagen in der genannten Größenordnung nicht mehr gewährleistet werden können.

Der vor allem aus Gründen der Energieeffizienz und des Klimaschutz notwendige Ausbau von KWK-Anlagen konzentriert sich vor diesem Hintergrund also eher auf die kleineren Anlagen. Die Förderung nach dem gegenwärtigen KWK-Gesetz führt in den meisten Fällen zu einer Überschreitung der Wirtschaftlichkeitsschwelle. Unter diesen Voraussetzung dürfte der angestrebte Ausbau der KWK nicht zwingend an wirtschaftlichen Grenzen scheitern. Allerdings ist nicht zu übersehen, dass es nach wie vor erhebliche Risiken insbesondere auch mit Blick auf die längerfristigen Energiepreisentwicklungen mit ihren Rückkopplungen auf die Strom- und Wärmeerlöse gibt.

Zu berücksichtigen sind auch die sonstigen wirtschaftlichkeitsbeeinträchtigenden Risiken, denen die Investitionen in neue KWK-Anlagen gegenüber stehen. So wird darauf hingewiesen, dass die eingeschränkten Freiheitsgrade zur Stromerzeugung aufgrund der Wärme-Randbedingung Zusatzkosten bzw. entgangene Erlöse für KWK-Anlagen verursachen. Grund hierfür ist die Tatsache, dass die Einspeisung von KWK-Strom aufgrund der durch die Wärmenachfrage gegebenen Randbedingungen nicht derart steuerbar ist, dass beispielsweise immer zu EEX-Hochpreiszeiten maximale Einspeisewerte erzielt werden können bzw. umgekehrt zu EEX-Preistiefs technische Mindestlast gefahren oder sogar abgeschaltet werden kann. Gegenüber reinen Kondensationsanlagen, die die Wärmenachfragerandbedingungen nicht erfüllen müssen und deshalb stromseitig eine bessere Erlösüberschussituation haben, befinden sich wärmegeführte KWK-Anlagen somit in einer deutlich ungünstigeren Situation. Insgesamt spricht diese Konstellation auch dafür, KWK-Anlagen tendenziell eher stromgeführt auszuführen als primär wärmegeführt zu fahren.

Hinzu kommt, dass KWK-Anlagen hinsichtlich der möglichen Auswahl von Revisionszeiten auf Monate mit geringer/keiner Wärmenachfrage eingeschränkt sind, so dass sie auch insoweit nur begrenzt ihre Chancen am Strommarkt ausnutzen können. Schließlich ist nicht zu übersehen, dass sich die langfristige Vermarktung der Stromproduktion auch deshalb risikoreicher gestaltet, da die Höhe der Einspeisung aufgrund der Wärmerandbedingung nicht exakt vorhersagbar und auch nicht konstant sein kann.

Alles in allem dürfte aufgrund der verschiedenartigen Risikofaktoren die Weiterentwicklung der Kraft-Wärme-Kopplung nach wie vor kein „Selbstläufer“ sein. Vielmehr bedarf es eindeutiger politischer Entscheidungen, wenn man den umwelt- und ressourcenschonenden Betrag der Kraft-Wärme-Kopplung ausweiten möchte. Das vorliegende Energiekonzept der Bundesregierung hat auf eine Bekräftigung entsprechender Entscheidungen verzichtet. Die geplante Laufzeitverlängerung der Kernkraftwerke ist ebenfalls geeignet, Investitionsplanungen für neue KWK-Anlagen in Frage zu stellen. Immerhin müssten im Vergleich zum heutigen Ausbauniveau der KWK-Anlagen bis 2020 ein Zubau in einer Größenordnung von 10.000 bis 12.000 MW realisiert werden, wenn das geltende gesetzliche Ziel eines Stromerzeugungsbeitrags von 25 % bis dahin erreicht werden soll.

Unter diesen Umständen bedarf der aus energiewirtschaftlichen und klimaschutzpolitischen Gründen erwünschte KWK-Ausbau (vorrangig auf Erdgasbasis) weiterhin der klaren politischen Unterstützung.

5 ANHANG

Abbildungen und Tabellen mit Ergebnissen der Wirtschaftlichkeitsrechnungen unter den Bedingungen des Referenz-Szenarios sowie der günstigen und ungünstigen Variante bei einer Auktionierung im Rahmen des europäischen Emissionshandels und in Abhängigkeit von unterschiedlichen CO₂-Zertifikatspreisen.

Abbildung 17 Referenz-Szenario: Kapitalwert großer KWK-Anlagen bei einem Zinssatz von 8 % und Auktionierung ohne CO₂-Einpreisung nach CO₂-Preisen

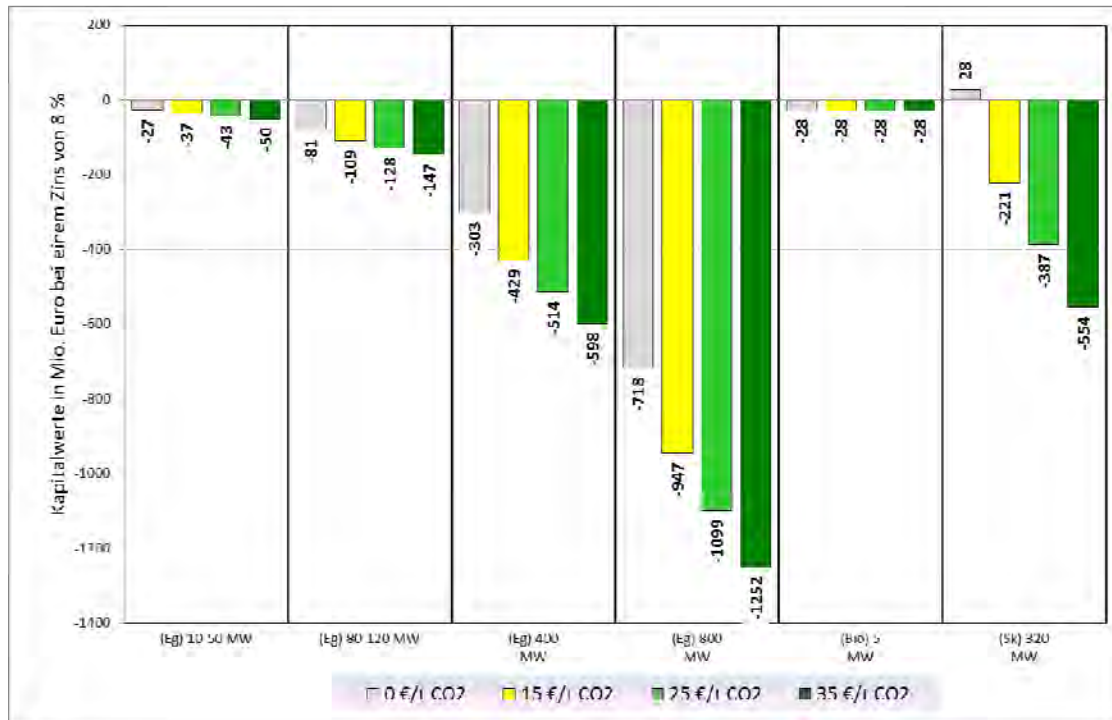


Abbildung 18 Referenz-Szenario: Kapitalwert großer KWK-Anlagen bei einem Zinssatz von 8 % und Auktionierung mit 100%-CO₂-Einpreisung nach CO₂-Preisen

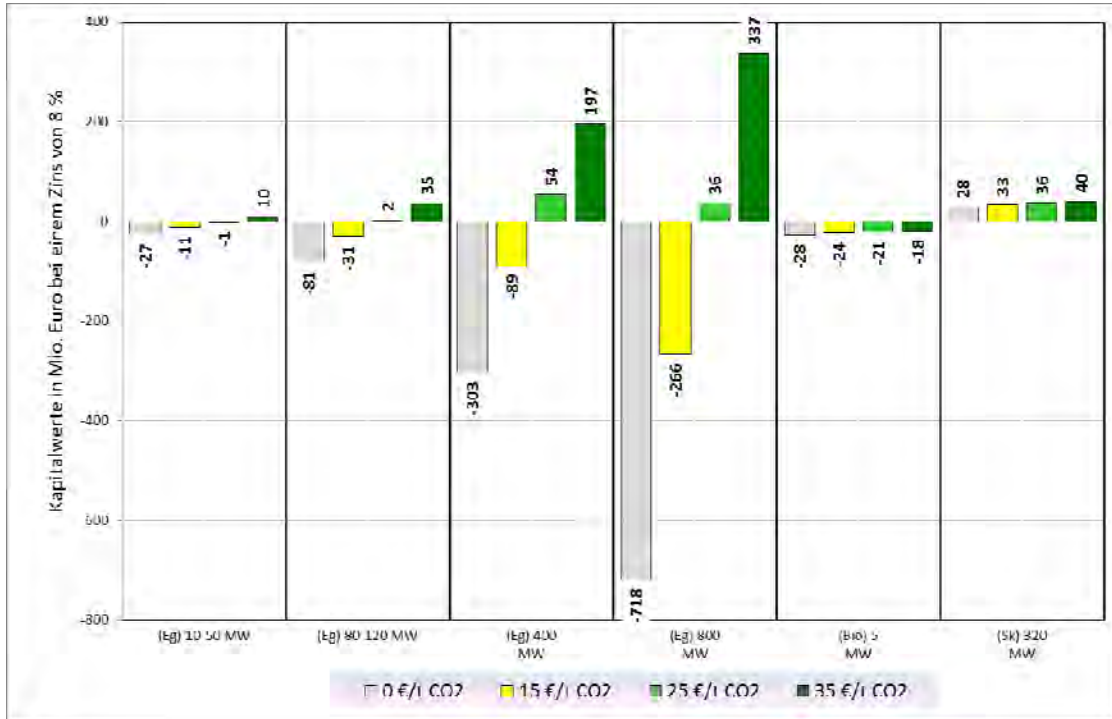


Abbildung 19 Referenz-Szenario: Kapitalwert großer KWK-Anlagen bei einem Zinssatz von 8 % und Auktionierung mit 100%-CO₂-Einpreisung und Förderung nach dem KWKG/EEG nach CO₂-Preisen

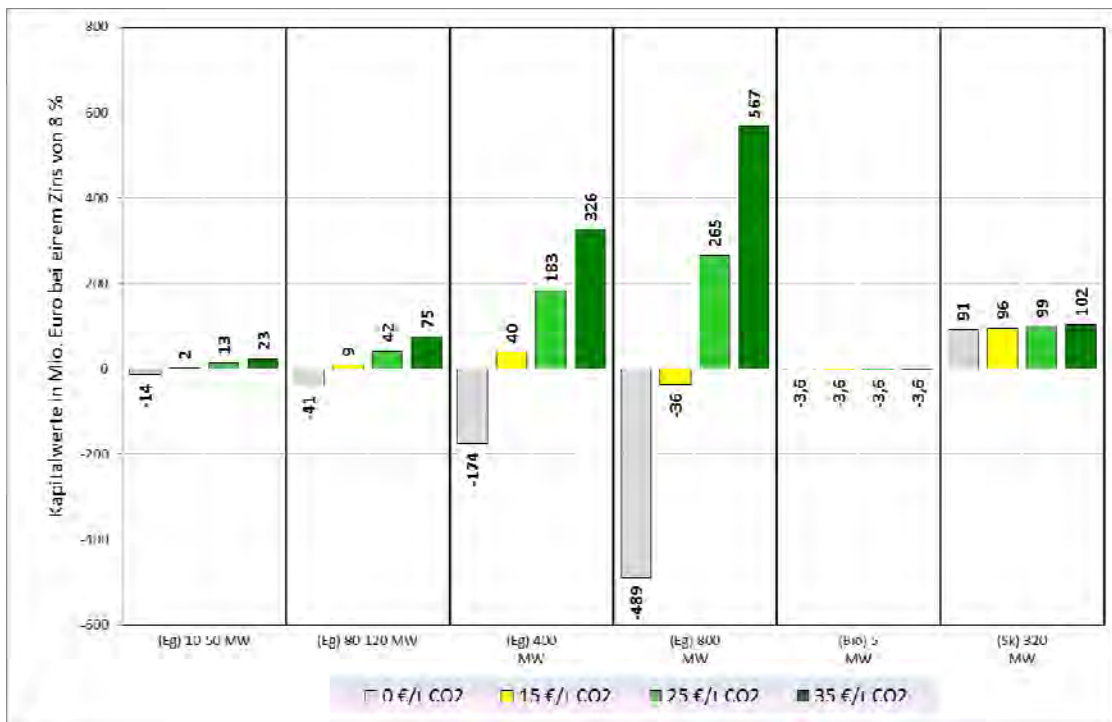


Abbildung 20 Referenz-Szenario: Kapitalwert kleiner KWK-Anlagen bei einem Zinssatz von 8 % und Auktionierung mit 100%-CO₂-Einpreisung nach CO₂-Preisen

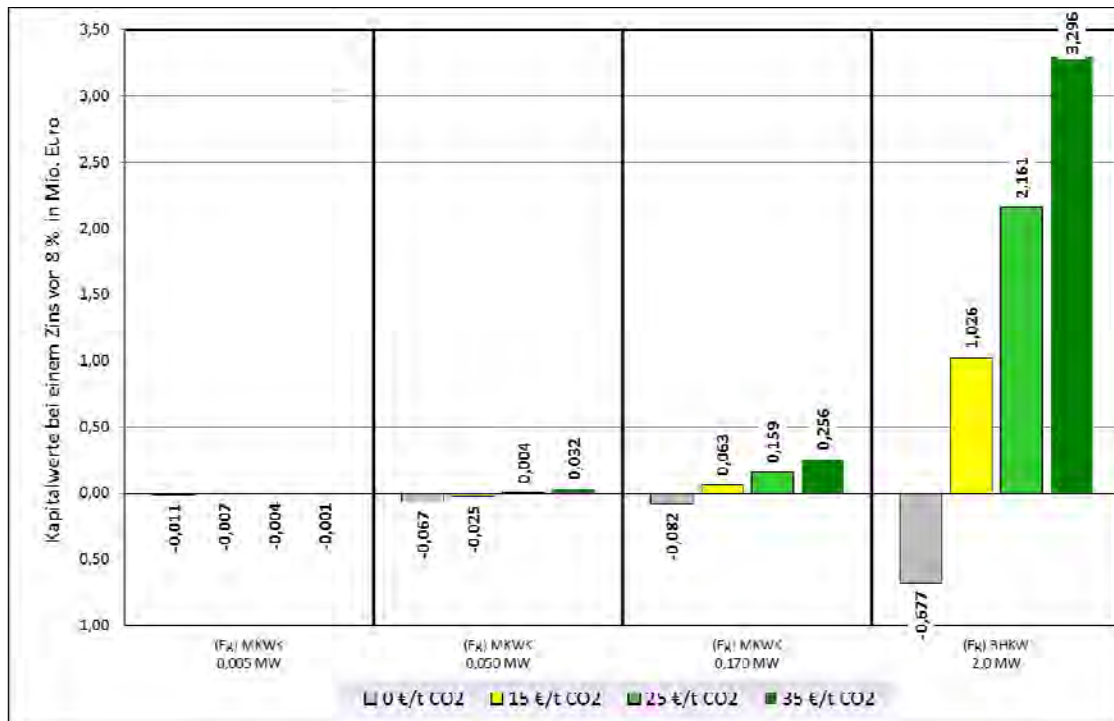


Abbildung 21 Referenz-Szenario: Kapitalwert kleiner KWK-Anlagen bei einem Zinssatz von 8 % und Auktionierung mit 100%-CO₂-Einpreisung und Förderung nach KWKG und Mini-KWK-Programm nach CO₂-Preisen

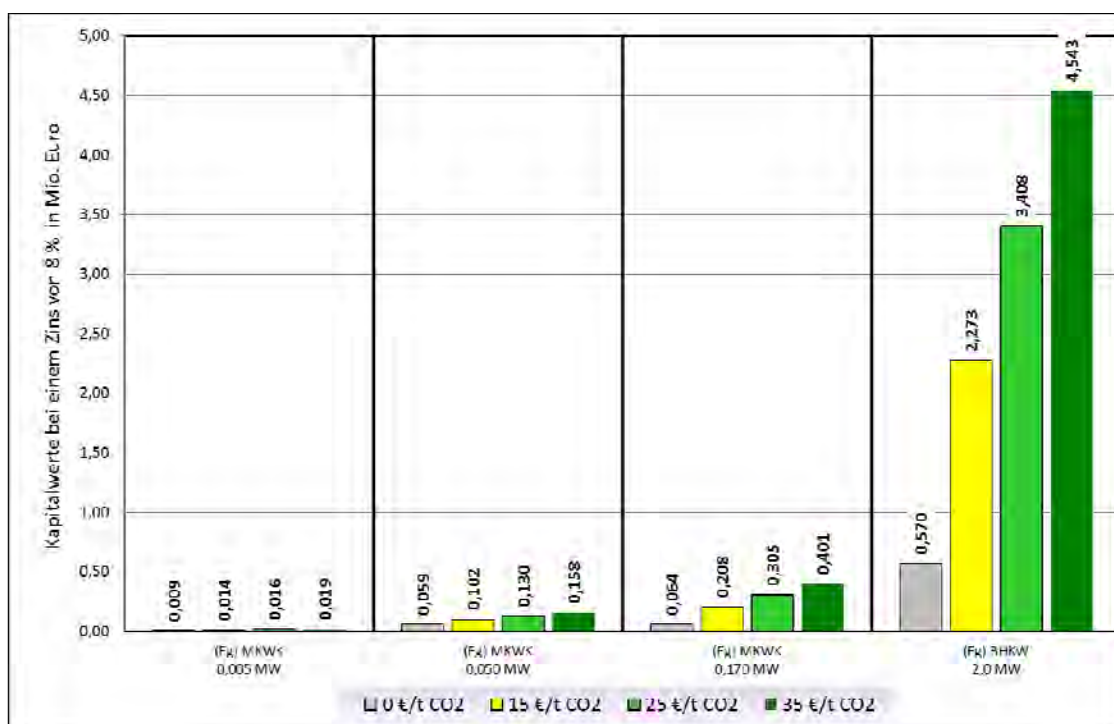


Abbildung 22 Günstige Variante: Kapitalwert großer KWK-Anlagen bei einem Zinssatz von 8 % bei vollständiger Auktionierung mit 100%-CO₂-Einpreisierung nach CO₂-Preisen

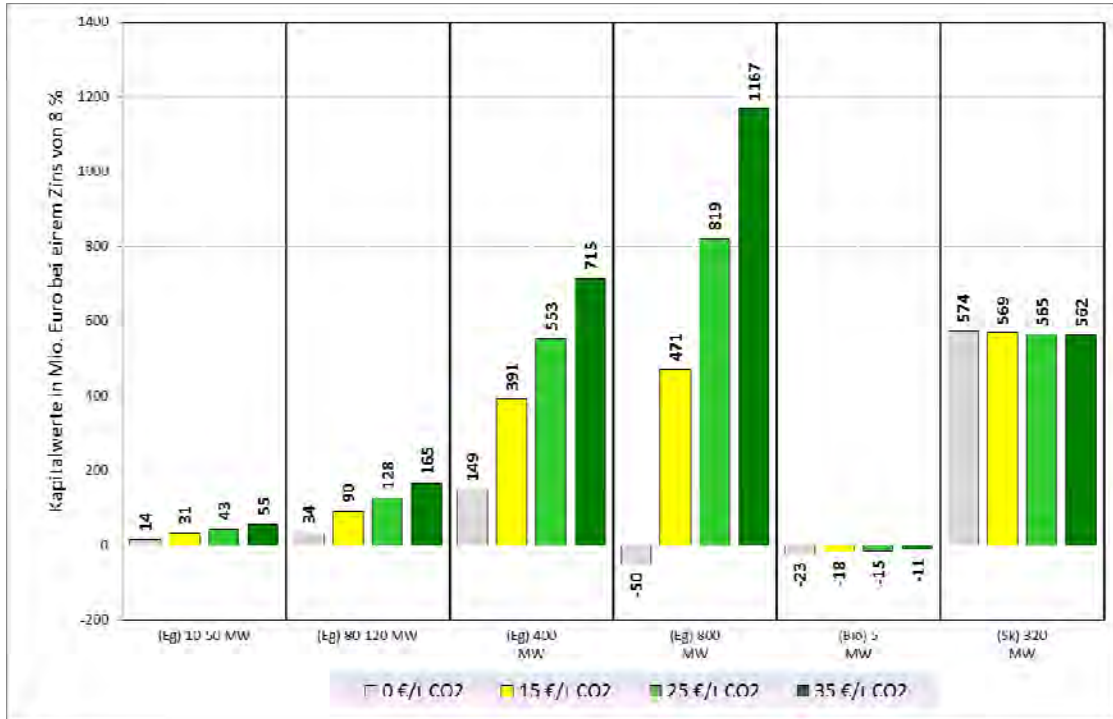


Abbildung 23 Günstige Variante: Kapitalwert großer KWK-Anlagen bei einem Zinssatz von 8 % bei Auktionierung mit 100%-CO₂-Einpreisierung und Förderung nach KWKG/EEG nach CO₂-Preisen

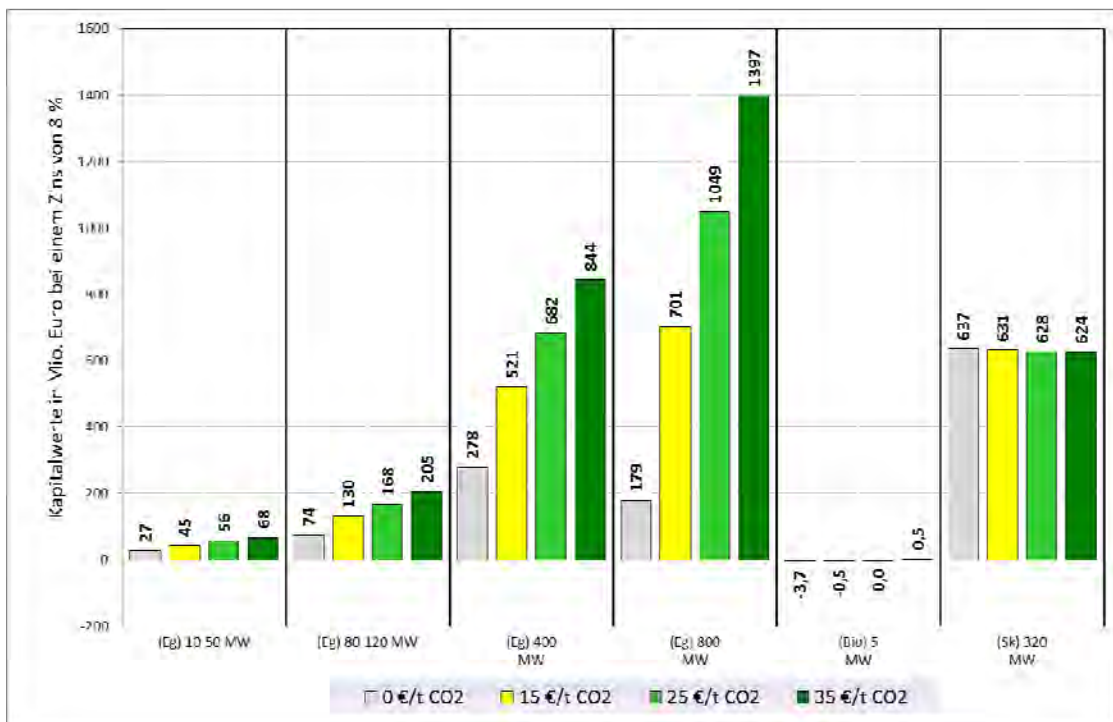


Abbildung 24 *Günstige Variante: Kapitalwert kleiner KWK-Anlagen bei einem Zinssatz von 8 % bei Auktionierung mit 100%-CO₂-Einpreisung nach CO₂-Preisen*

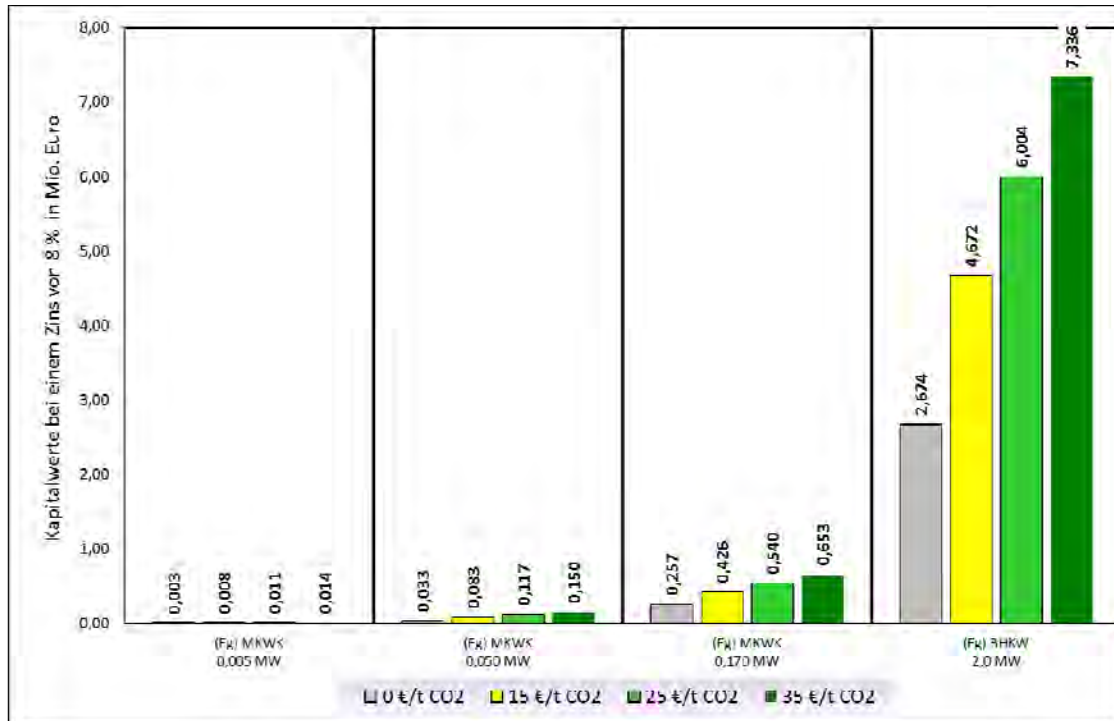


Abbildung 25 *Günstige Variante: Kapitalwert kleiner KWK-Anlagen bei einem Zinssatz von 8 % bei Auktionierung mit 100%-CO₂-Einpreisung sowie Förderung nach KWKG und Mini-KWK-Programm nach CO₂-Preisen*

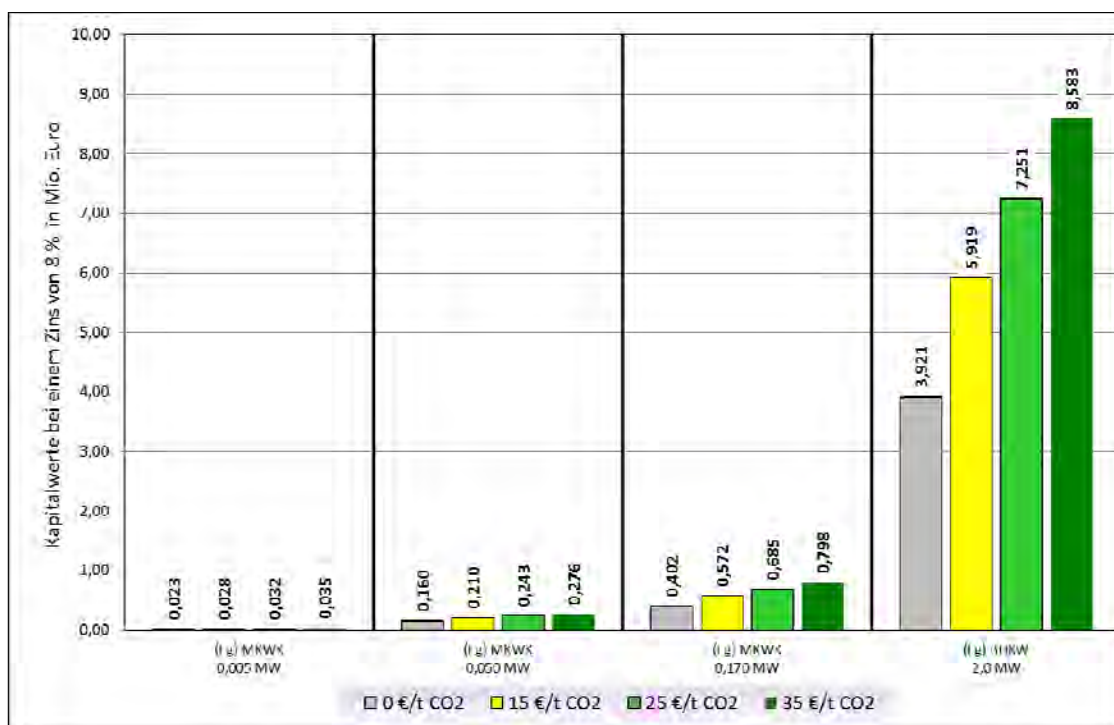


Abbildung 26 Ungünstige Variante: Kapitalwert großer KWK-Anlagen bei einem Zinssatz von 8 % bei Auktionierung mit 100%-CO₂-Einpreisung nach CO₂-Preisen

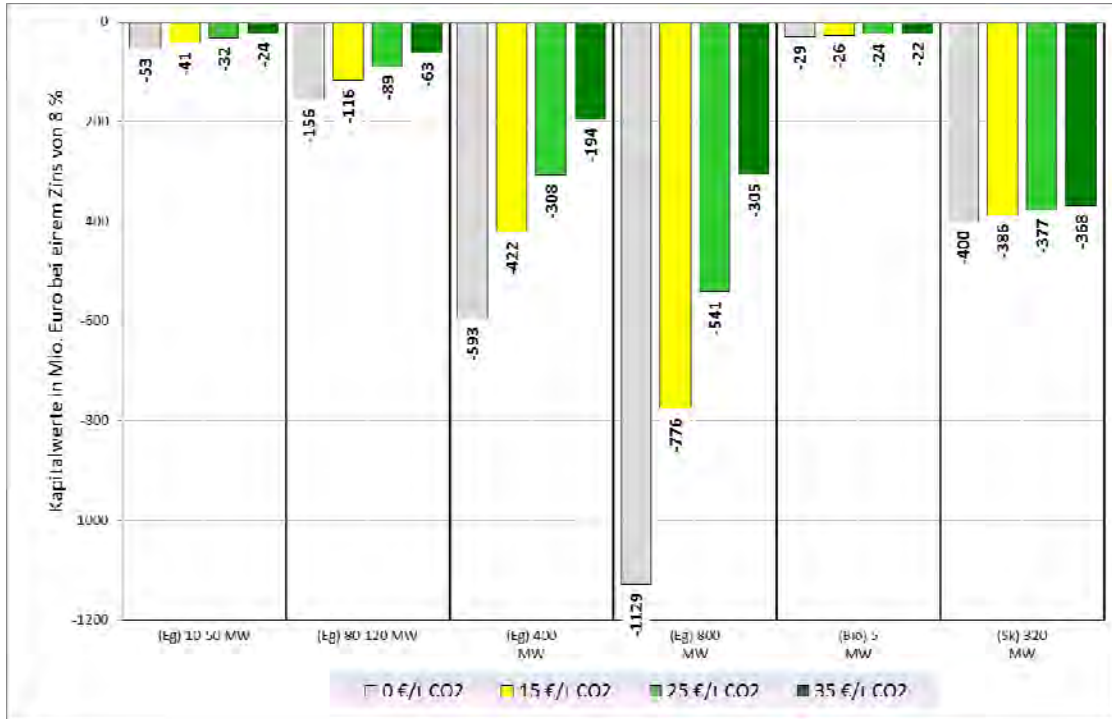


Abbildung 27 Ungünstige Variante: Kapitalwert großer KWK-Anlagen bei einem Zinssatz von 8 % bei Auktionierung mit 100%-CO₂-Einpreisung und Förderung nach KWKG/EEG nach CO₂-Preisen

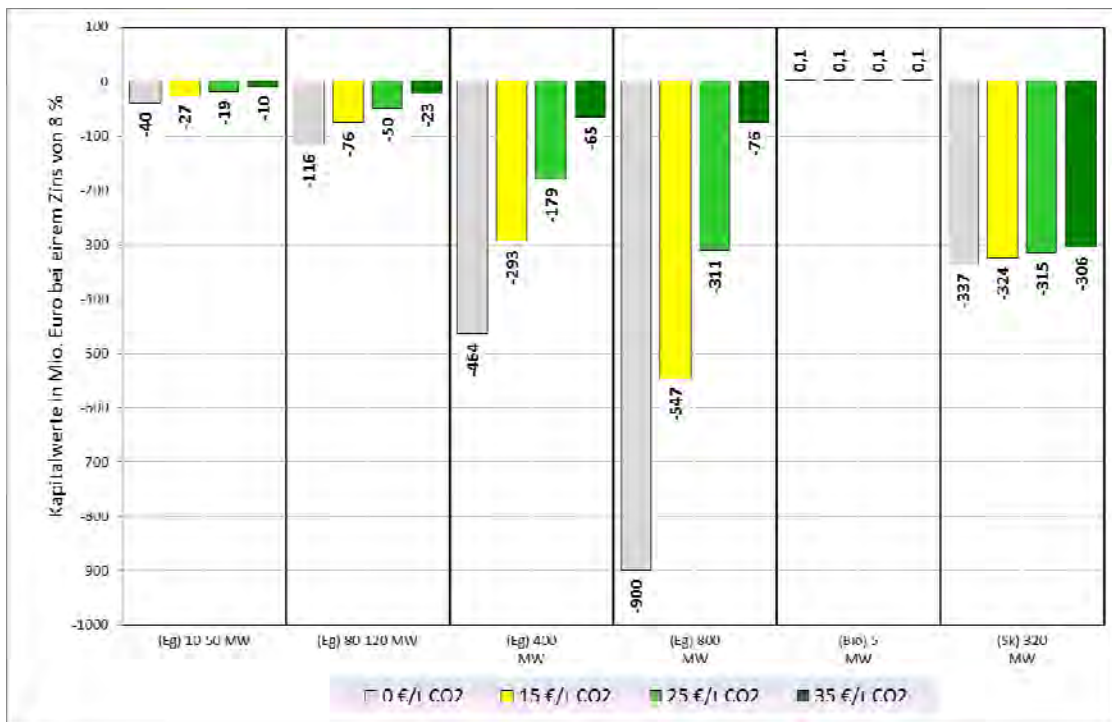


Abbildung 28 Ungünstige Variante: Kapitalwert kleiner KWK-Anlagen bei einem Zinssatz von 8 % bei Auktionierung mit 100%-CO₂-Einpreisung sowie Förderung nach KWKG und Mini-KWK-Programm nach CO₂-Preisen

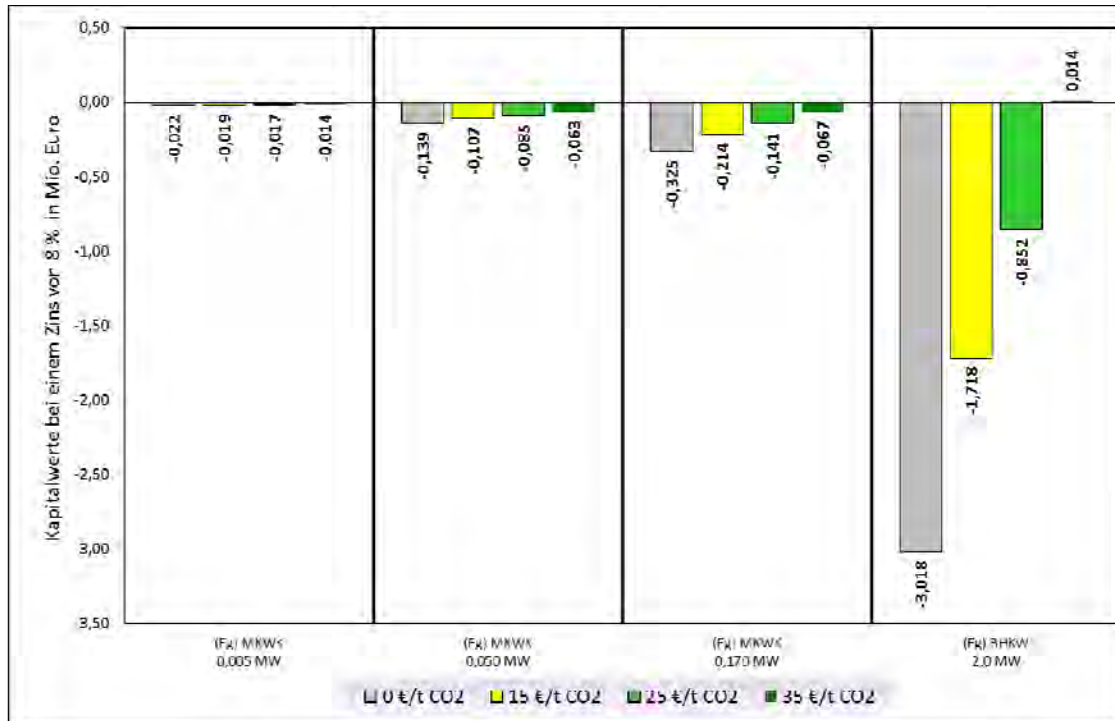


Abbildung 29 Ungünstige Variante: Kapitalwert kleiner KWK-Anlagen bei einem Zinssatz von 8 % bei Auktionierung mit 100%-CO₂-Einpreisung sowie Förderung nach KWKG und Mini-KWK-Programm nach CO₂-Preisen

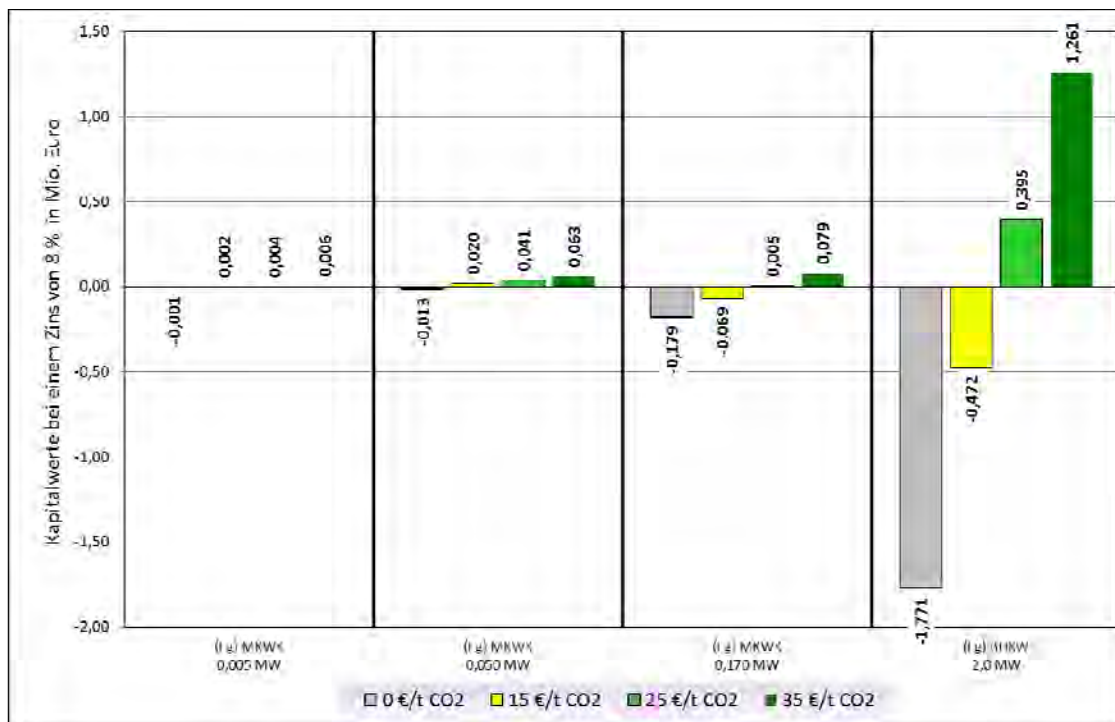


Tabelle 21 Kapitalwerte von KWK-Anlagen mit Förderung nach dem KWKG2009 und mit Mini-KWK- und EEG-Förderung (Zins: 8%)

Angaben in Mio. Euro	KWK auf Erdgasbasis								Bio- masse	Stein- kohle	Bio- masse
	Installierte Leistungen in MW _{el}										MW
	0,005	0,05	0,17	2	30	100	400	800	5	320	5
KWKG 2009	0,011	0,108	0,145	1,25	13,28	40	129	230		63	EEG- Förd.
Mini-KWK/EEG	0,011	0,108	xxxx	xxxx	xxxx	xxxx	xxxx	xxxx		xxxx	
	Referenzfall (PTR= 0 %)										
0 €/t CO ₂	0,010	0,149	0,064	0,57	-14	-41	-174	-489	-3,6	91	24,60
15 €/t CO ₂	0,010	0,149	0,064	0,57	-23	-69	-300	-717	-7,9	-159	20,34
25 €/t CO ₂	0,010	0,149	0,064	0,57	-30	-88	-384	-870	-10,7	-325	17,50
35 €/t CO ₂	0,010	0,149	0,064	0,57	-37	-107	-469	-1022	-13,6	-491	14,66
	Referenzfall (PTR= 50 %)										
0 €/t CO ₂	0,010	0,149	0,064	0,57	-14	-41	-174	-489	-3,6	91	24,60
15 €/t CO ₂	0,012	0,170	0,136	1,42	-11	-30	-130	-377	-5,8	-31	20,34
25 €/t CO ₂	0,014	0,184	0,184	1,99	-9	-23	-101	-302	-7,2	-113	17,50
35 €/t CO ₂	0,015	0,198	0,233	2,56	-7	-16	-71	-228	-8,6	-194	14,66
	Referenzfall (PTR= 100 %)										
0 €/t CO ₂	0,010	0,149	0,064	0,57	-14	-41	-174	-489	-3,6	91	24,60
15 €/t CO ₂	0,014	0,191	0,208	2,27	2	9	40	-36	-3,6	96	20,34
25 €/t CO ₂	0,017	0,220	0,305	3,41	13	42	183	265	-3,6	99	17,50
35 €/t CO ₂	0,020	0,248	0,401	4,54	23	75	326	567	-3,6	102	14,66
	Günstige Variante (PTR= 0 %)										
0 €/t CO ₂	0,024	0,249	0,402	3,92	27	74	278	179	-3,7	637	19,30
15 €/t CO ₂	0,024	0,249	0,402	3,92	15	39	121	-98	-5,5	333	17,50
25 €/t CO ₂	0,024	0,249	0,402	3,92	6	15	16	-283	-8,3	131	14,66
35 €/t CO ₂	0,024	0,249	0,402	3,92	-2	-9	-88	-468	-11,2	-72	11,83
	Günstige Variante (PTR= 50 %)										
0 €/t CO ₂	0,024	0,249	0,402	3,92	27	74	278	179	-4	637	19,30
15 €/t CO ₂	0,027	0,274	0,487	4,92	30	84	321	301	-3	482	17,50
25 €/t CO ₂	0,028	0,291	0,544	5,59	31	91	349	383	-4	379	14,66
35 €/t CO ₂	0,030	0,308	0,600	6,25	33	98	378	464	-5	276	11,83
	Günstige Variante (PTR= 100 %)										
0 €/t CO ₂	0,024	0,249	0,402	3,92	27	74	278	179	-4	637	19,30
15 €/t CO ₂	0,029	0,299	0,572	5,92	45	130	521	701	-0,5	631	17,50
25 €/t CO ₂	0,032	0,333	0,685	7,25	56	168	682	1049	0,0	628	14,66
35 €/t CO ₂	0,036	0,366	0,798	8,58	68	205	844	1397	0,5	624	11,83
	Ungünstige Variante (PTR= 0 %)										
0 €/t CO ₂	-0,022	-0,139	-0,179	-1,77	-40	-116	-464	-900	0,1	-337	29,45
15 €/t CO ₂	0,000	0,077	-0,179	-1,77	-47	-136	-553	-1066	-3,2	-518	26,20
25 €/t CO ₂	0,000	0,077	-0,179	-1,77	-51	-149	-612	-1178	-5,3	-638	24,03
35 €/t CO ₂	0,000	0,077	-0,179	-1,77	-56	-162	-672	-1289	-7,5	-758	21,87
	Ungünstige Variante (PTR= 50 %)										
0 €/t CO ₂	0,000	0,077	-0,179	-1,77	-40,07	-116	-464	-900	0,1	-337	29,45
15 €/t CO ₂	0,001	0,093	-0,124	-1,12	-37,06	-106	-423	-806	-1,6	-421	26,20
25 €/t CO ₂	0,002	0,104	-0,087	-0,69	-35,06	-99	-396	-744	-2,6	-476	24,03
35 €/t CO ₂	0,003	0,115	-0,050	-0,25	-33,06	-92	-368	-682	-3,7	-532	21,87
	Ungünstige Variante (PTR= 100 %)										
0 €/t CO ₂	0,000	0,077	-0,179	-1,77	-40,07	-116	-464	-900	0,07	-337	29,45
15 €/t CO ₂	0,003	0,110	-0,069	-0,47	-27,32	-76	-293	-547	0,07	-324	26,20
25 €/t CO ₂	0,005	0,131	0,005	0,39	-18,82	-50	-179	-311	0,07	-315	24,03
35 €/t CO ₂	0,007	0,153	0,079	1,26	-10,32	-23	-65	-76	0,07	-306	21,87

Tabelle 22 Kapitalwerte von KWK-Anlagen mit Förderung nach dem KWKG2009 und mit Mini-KWK- und EEG-Förderung (Zins:12%)

Angaben in Mio. Euro	KWK auf Erdgasbasis								Bio- masse	Stein- kohle	Bio- masse
	Installierte Leistungen in MW _{el}										MW
	0,005	0,05	0,17	2	30	100	400	800	5	320	5
KWKG 2009	0,009	0,091	0,129	1,11	11,80	35	115	204		56	EEG- Förd.
Mini-KWK-Förd.	0,011	0,108	xxxx	xxxx	xxxx	xxxx	xxxx	xxxx	xxxx	xxxx	
	Referenzfall (PTR= 0 %)										
0 €/t CO ₂	0,0057	0,120	0,006	0,13	-16	-47	-185	-475	-6,4	-46	18,12
15 €/t CO ₂	0,0057	0,120	0,006	0,13	-23	-69	-284	-655	-9,7	-242	14,76
25 €/t CO ₂	0,0057	0,120	0,006	0,13	-28	-84	-350	-775	-12,0	-372	12,53
35 €/t CO ₂	0,0057	0,120	0,006	0,13	-34	-99	-416	-894	-14,2	-503	10,29
	Referenzfall (PTR= 50 %)										
0 €/t CO ₂	0,006	0,120	0,006	0,13	-16	-47	-185	-475	-6,4	-46	18,12
15 €/t CO ₂	0,007	0,137	0,063	0,80	-13	-38	-150	-386	-8,1	-141	14,76
25 €/t CO ₂	0,008	0,148	0,101	1,25	-12	-33	-127	-327	-9,2	-205	12,53
35 €/t CO ₂	0,010	0,159	0,139	1,70	-10	-27	-103	-268	-10,3	-269	10,29
	Referenzfall (PTR= 100 %)										
0 €/t CO ₂	0,006	0,120	0,006	0,13	-16	-47	-185	-475	-6,4	-46	18,12
15 €/t CO ₂	0,009	0,153	0,120	1,47	-3	-8	-16	-118	-6,4	-41	14,76
25 €/t CO ₂	0,011	0,176	0,196	2,37	5	19	97	120	-6,4	-38	12,53
35 €/t CO ₂	0,014	0,198	0,272	3,26	13	45	210	358	-6,4	-35	10,29
	Günstige Variante (PTR= 0 %)										
0 €/t CO ₂	0,016	0,193	0,252	2,59	15	39	155	36	-5,4	337	14,60
15 €/t CO ₂	0,016	0,193	0,252	2,59	6	13	39	-171	-9,1	111	10,85
25 €/t CO ₂	0,016	0,193	0,252	2,59	-1	-5	-39	-309	-11,6	-40	8,36
35 €/t CO ₂	0,016	0,193	0,252	2,59	-7	-22	-117	-447	-14,1	-191	5,86
	Günstige Variante (PTR= 50 %)										
0 €/t CO ₂	0,016	0,193	0,252	2,59	14,88	39	155	36	-5,40	337	14,60
15 €/t CO ₂	0,018	0,212	0,315	3,34	16,84	47	188	129	-7,27	222	10,85
25 €/t CO ₂	0,019	0,225	0,358	3,84	18,14	52	210	190	-8,51	146	8,36
35 €/t CO ₂	0,020	0,237	0,400	4,34	19,45	58	232	252	-9,76	70	5,86
	Günstige Variante (PTR= 100 %)										
0 €/t CO ₂	0,016	0,193	0,252	2,59	14,88	39	155	36	-5,4	337	14,60
15 €/t CO ₂	0,019	0,231	0,379	4,09	28,06	81	338	428	-5,4	334	10,85
25 €/t CO ₂	0,022	0,256	0,464	5,09	36,85	110	460	689	-5,4	332	8,36
35 €/t CO ₂	0,024	0,281	0,549	6,08	45,64	138	581	950	-5,4	330	5,86
	Ungünstige Variante (PTR= 0 %)										
0 €/t CO ₂	-0,003	0,062	-0,189	-1,77	-37,69	-110	-430	-831	-4,7	-373	21,62
15 €/t CO ₂	-0,003	0,062	-0,189	-1,77	-43,34	-126	-504	-971	-7,4	-524	18,90
25 €/t CO ₂	-0,003	0,062	-0,189	-1,77	-47,10	-137	-554	-1064	-9,2	-625	17,08
35 €/t CO ₂	-0,003	0,062	-0,189	-1,77	-50,87	-148	-604	-1157	-11,0	-726	15,26
	Ungünstige Variante (PTR= 50 %)										
0 €/t CO ₂	-0,003	0,062	-0,189	-1,77	-37,69	-110	-430	-831	-4,7	-373	21,62
15 €/t CO ₂	-0,001	0,076	-0,143	-1,22	-35,17	-101	-395	-753	-6,0	-443	18,90
25 €/t CO ₂	0,000	0,085	-0,112	-0,86	-33,48	-95	-372	-700	-6,9	-489	17,08
35 €/t CO ₂	0,001	0,094	-0,081	-0,50	-31,80	-90	-349	-648	-7,9	-536	15,26
	Ungünstige Variante (PTR= 100 %)										
0 €/t CO ₂	-0,003	0,062	-0,189	-1,77	-37,69	-110	-430	-831	-4,7	-373	21,62
15 €/t CO ₂	0,000	0,089	-0,096	-0,68	-26,99	-76	-286	-535	-4,7	-362	18,90
25 €/t CO ₂	0,002	0,108	-0,034	0,05	-19,86	-54	-191	-337	-4,7	-354	17,08
35 €/t CO ₂	0,004	0,126	0,027	0,77	-12,73	-31	-95	-140	-4,7	-346	15,26

Tabelle 23 Kapitalwerte von KWK-Anlagen mit Förderung nach dem KWKG2009, ohne Mini-KWK- und EEG-Förderung (Zins:8%)

Angaben in Mio. Euro	KWK auf Erdgasbasis								Bio- masse	Stein- kohle	Bio- masse
	Installierte Leistungen in MW _{el}										MW
	0,005	0,05	0,17	2	30	100	400	800	5	320	5
KWKG 2009	0,011	0,108	0,145	1,25	13,28	40	129	230	2,5	63	EEG- Förd.
Mini-KWK/EEG			xxxx	xxxx	xxxx	xxxx	xxxx	xxxx		xxxx	
	Referenzfall (PTR= 0 %)										
0 €/t CO ₂	-0,001	0,041	0,064	0,57	-14	-41	-174	-489	-26	91	0,00
15 €/t CO ₂	-0,001	0,041	0,064	0,57	-23	-69	-300	-717	-26	-159	0,00
25 €/t CO ₂	-0,001	0,041	0,064	0,57	-30	-88	-384	-870	-26	-325	0,00
35 €/t CO ₂	-0,001	0,041	0,064	0,57	-37	-107	-469	-1022	-26	-491	0,00
	Referenzfall (PTR= 50 %)										
0 €/t CO ₂	-0,001	0,041	0,064	0,57	-14	-41	-174	-489	-26	91	0,00
15 €/t CO ₂	0,002	0,062	0,136	1,42	-11	-30	-130	-377	-24	-31	0,00
25 €/t CO ₂	0,003	0,076	0,184	1,99	-9	-23	-101	-302	-22	-113	0,00
35 €/t CO ₂	0,004	0,090	0,233	2,56	-7	-16	-71	-228	-21	-194	0,00
	Referenzfall (PTR= 100 %)										
0 €/t CO ₂	-0,001	0,041	0,064	0,57	-14	-41	-174	-489	-26	91	0,00
15 €/t CO ₂	0,004	0,083	0,208	2,27	2	9	40	-36	-21	96	0,00
25 €/t CO ₂	0,007	0,112	0,305	3,41	13	42	183	265	-19	99	0,00
35 €/t CO ₂	0,009	0,140	0,401	4,54	23	75	326	567	-16	102	0,00
	Günstige Variante (PTR= 0 %)										
0 €/t CO ₂	0,013	0,141	0,402	3,92	27	74	278	179	-20	637	0,00
15 €/t CO ₂	0,013	0,141	0,402	3,92	15	39	121	-98	-20	333	0,00
25 €/t CO ₂	0,013	0,141	0,402	3,92	6	15	16	-283	-20	131	0,00
35 €/t CO ₂	0,013	0,141	0,402	3,92	-2	-9	-88	-468	-20	-72	0,00
	Günstige Variante (PTR= 50 %)										
0 €/t CO ₂	0,013	0,141	0,402	3,92	27	74	278	179	-20	637	0,00
15 €/t CO ₂	0,016	0,166	0,487	4,92	30	84	321	301	-18	482	0,00
25 €/t CO ₂	0,018	0,183	0,544	5,59	31	91	349	383	-16	379	0,00
35 €/t CO ₂	0,019	0,200	0,600	6,25	33	98	378	464	-15	276	0,00
	Günstige Variante (PTR= 100 %)										
0 €/t CO ₂	0,013	0,141	0,402	3,92	27	74	278	179	-20	637	0,00
15 €/t CO ₂	0,018	0,191	0,572	5,92	45	130	521	701	-15	631	0,00
25 €/t CO ₂	0,022	0,225	0,685	7,25	56	168	682	1049	-12	628	0,00
35 €/t CO ₂	0,025	0,258	0,798	8,58	68	205	844	1397	-9	624	0,00
	Ungünstige Variante (PTR= 0 %)										
0 €/t CO ₂	-0,011	-0,031	-0,179	-1,77	-40	-116	-464	-900	-27	-337	0,00
15 €/t CO ₂	-0,011	-0,031	-0,179	-1,77	-47	-136	-553	-1066	-27	-518	0,00
25 €/t CO ₂	-0,011	-0,031	-0,179	-1,77	-51	-149	-612	-1178	-27	-638	0,00
35 €/t CO ₂	-0,011	-0,031	-0,179	-1,77	-56	-162	-672	-1289	-27	-758	0,00
	Ungünstige Variante (PTR= 50 %)										
0 €/t CO ₂	-0,011	-0,031	-0,179	-1,77	-40,07	-116	-464	-900	-26,8	-337	0,00
15 €/t CO ₂	-0,010	-0,015	-0,124	-1,12	-37,06	-106	-423	-806	-25,2	-421	0,00
25 €/t CO ₂	-0,008	-0,004	-0,087	-0,69	-35,06	-99	-396	-744	-24,1	-476	0,00
35 €/t CO ₂	-0,007	0,007	-0,050	-0,25	-33,06	-92	-368	-682	-23,1	-532	0,00
	Ungünstige Variante (PTR= 100 %)										
0 €/t CO ₂	-0,011	-0,031	-0,179	-1,77	-40,07	-116	-464	-900	-26,8	-337	0,00
15 €/t CO ₂	-0,008	0,001	-0,069	-0,47	-27,32	-76	-293	-547	-23,6	-324	0,00
25 €/t CO ₂	-0,006	0,023	0,005	0,39	-18,82	-50	-179	-311	-21,4	-315	0,00
35 €/t CO ₂	-0,004	0,045	0,079	1,26	-10,32	-23	-65	-76	-19,3	-306	0,00

Tabelle 24 Kapitalwerte von KWK-Anlagen mit Förderung nach dem KWKG2009, ohne Mini-KWK- und EEG-Förderung (Zins:12%)

Angaben in Mio. Euro	KWK auf Erdgasbasis								Bio- masse	Stein- kohle	Bio- masse
	Installierte Leistungen in MW _{el}										MW
	0,005	0,05	0,17	2	30	100	400	800	5	320	5
KWKG 2009	0,009	0,091	0,129	1,11	11,80	35	115	204	2,3	56	EEG- Förd.
Mini-KWK-Förd.	0,000	0,000	xxxx	xxxx	xxxx	xxxx	xxxx	xxxx	xxxx	xxxx	
Referenzfall (PTR= 0 %)											
0 €/t CO ₂	-0,0051	0,012	0,006	0,13	-16	-47	-185	-475	-22	-46	0,00
15 €/t CO ₂	-0,0051	0,012	0,006	0,13	-23	-69	-284	-655	-22	-242	0,00
25 €/t CO ₂	-0,0051	0,012	0,006	0,13	-28	-84	-350	-775	-22	-372	0,00
35 €/t CO ₂	-0,0051	0,012	0,006	0,13	-34	-99	-416	-894	-22	-503	0,00
Referenzfall (PTR= 50 %)											
0 €/t CO ₂	-0,005	0,012	0,006	0,13	-16	-47	-185	-475	-22	-46	0,00
15 €/t CO ₂	-0,003	0,029	0,063	0,80	-13	-38	-150	-386	-21	-141	0,00
25 €/t CO ₂	-0,002	0,040	0,101	1,25	-12	-33	-127	-327	-19	-205	0,00
35 €/t CO ₂	-0,001	0,051	0,139	1,70	-10	-27	-103	-268	-18	-269	0,00
Referenzfall (PTR= 100 %)											
0 €/t CO ₂	-0,005	0,012	0,006	0,13	-16	-47	-185	-475	-22	-46	0,00
15 €/t CO ₂	-0,002	0,045	0,120	1,47	-3	-8	-16	-118	-19	-41	0,00
25 €/t CO ₂	0,000	0,068	0,196	2,37	5	19	97	120	-17	-38	0,00
35 €/t CO ₂	0,003	0,090	0,272	3,26	13	45	210	358	-14	-35	0,00
Günstige Variante (PTR= 0 %)											
0 €/t CO ₂	0,005	0,085	0,252	2,59	15	39	155	36	-18	337	0,00
15 €/t CO ₂	0,005	0,085	0,252	2,59	6	13	39	-171	-18	111	0,00
25 €/t CO ₂	0,005	0,085	0,252	2,59	-1	-5	-39	-309	-18	-40	0,00
35 €/t CO ₂	0,005	0,085	0,252	2,59	-7	-22	-117	-447	-18	-191	0,00
Günstige Variante (PTR= 50 %)											
0 €/t CO ₂	0,005	0,085	0,252	2,59	14,88	39	155	36	-17,7	337	0,00
15 €/t CO ₂	0,007	0,104	0,315	3,34	16,84	47	188	129	-15,9	222	0,00
25 €/t CO ₂	0,008	0,117	0,358	3,84	18,14	52	210	190	-14,6	146	0,00
35 €/t CO ₂	0,009	0,129	0,400	4,34	19,45	58	232	252	-13,4	70	0,00
Günstige Variante (PTR= 100 %)											
0 €/t CO ₂	0,005	0,085	0,252	2,59	14,88	39	155	36	-17,7	337	0,00
15 €/t CO ₂	0,009	0,123	0,379	4,09	28,06	81	338	428	-14,0	334	0,00
25 €/t CO ₂	0,011	0,148	0,464	5,09	36,85	110	460	689	-11,5	332	0,00
35 €/t CO ₂	0,014	0,173	0,549	6,08	45,64	138	581	950	-9,0	330	0,00
Ungünstige Variante (PTR= 0 %)											
0 €/t CO ₂	-0,013	-0,046	-0,189	-1,77	-37,69	-110	-430	-831	-24,0	-373	0,00
15 €/t CO ₂	-0,013	-0,046	-0,189	-1,77	-43,34	-126	-504	-971	-24,0	-524	0,00
25 €/t CO ₂	-0,013	-0,046	-0,189	-1,77	-47,10	-137	-554	-1064	-24,0	-625	0,00
35 €/t CO ₂	-0,013	-0,046	-0,189	-1,77	-50,87	-148	-604	-1157	-24,0	-726	0,00
Ungünstige Variante (PTR= 50 %)											
0 €/t CO ₂	-0,013	-0,046	-0,189	-1,77	-37,69	-110	-430	-831	-24,0	-373	0,00
15 €/t CO ₂	-0,012	-0,032	-0,143	-1,22	-35,17	-101	-395	-753	-22,7	-443	0,00
25 €/t CO ₂	-0,011	-0,023	-0,112	-0,86	-33,48	-95	-372	-700	-21,8	-489	0,00
35 €/t CO ₂	-0,010	-0,014	-0,081	-0,50	-31,80	-90	-349	-648	-20,9	-536	0,00
Ungünstige Variante (PTR= 100 %)											
0 €/t CO ₂	-0,013	-0,046	-0,189	-1,77	-37,69	-110	-430	-831	-24,0	-373	0,00
15 €/t CO ₂	-0,011	-0,019	-0,096	-0,68	-26,99	-76	-286	-535	-21,3	-362	0,00
25 €/t CO ₂	-0,009	0,000	-0,034	0,05	-19,86	-54	-191	-337	-19,5	-354	0,00
35 €/t CO ₂	-0,007	0,018	0,027	0,77	-12,73	-31	-95	-140	-17,7	-346	0,00