



Weitere Informationen finden Sie auf unserer Website:

<http://bet-aachen.de/beratung/netzberatung/>
<http://bet-aachen.de/beratung/marktberatung/>
<http://bet-aachen.de/beratung/managementberatung/>



**BÜRO FÜR ENERGIEWIRTSCHAFT
UND TECHNISCHE PLANUNG GMBH**

AACHEN | HAMM | LEIPZIG

Theaterstraße 58-60
D-52062 Aachen
Telefon +49.(0)241.47 062-0
Telefax +49.(0)241.47 062-60
E-Mail info@bet-aachen.de
Internet www.bet-aachen.de

ew - Elektrizitätswirtschaft

KWK und CO₂-Emissionshandel

Aachen, den 17.04.2003

Bearbeitung:

Knut Schrader

1 Einleitung

Der Beitrag der Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) zum schonenden Umgang mit endlichen Energiereserven ist unbestritten. Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen werden daher in vielen Ländern gefördert oder genießen Ausnahmeregelungen bzw. Befreiungen von Energiesteuern und -abgaben. Die Europäische Kommission hat mit dem Entwurf für eine EU-Richtlinie KWK diesen Aspekt aufgegriffen und Grundlagen für eine Harmonisierung der Förderung der KWK in der Gemeinschaft, zur Umsetzung in die nationalen Rechtsrahmen, vorgeschlagen.

Die Umweltminister der Europäischen Union haben sich weiterhin geeinigt, einen EU-weiten CO₂-Emissionshandel einzuführen, um einen Beitrag zu den im Kyoto-Prozess eingegangenen Verpflichtungen der CO₂-Minderung zu leisten.

Der folgende Beitrag stellt ein Verfahren zur Berechnung der CO₂-Einsparung durch KWK-Anlagen und zur Berücksichtigung von KWK-Anlagen im Rahmen des CO₂-Emissionshandels vor.

2 CO₂-Emissionshandel

Mit dem überarbeiteten Vorschlag einer Direktive des Europäischen Parlaments und Rates für ein Emissionshandelsmodell (emission allowance trading scheme) vom 11.12.2002 sind wesentliche Eckpunkte des Emissionshandels konkretisiert worden. Im kurzen Abriss des vorgeschlagenen Emissionshandelssystems sind folgende Punkte zu nennen:

2.1 Emissionsbeschränkte Anlagen

Der Emissionserlaubnishaandel bezieht sich auf Anlagen des produzierenden Gewerbes, oberhalb gewisser Leistungsgrenzen:

Mehrere gleichartige Anlagen eines Betreibers (operator) auf einem immissionschutzrechtlichen Standort werden zusammengefasst. Mehrere Betreiber einer Kategorie können ihre Anlagen bündeln (pooling), wenn sie einen Bilanzverantwortlichen benennen.

2.2 Nationale Allokationspläne

Nach dem vorgeschlagenen Emissionshandelsmodell müssen nationale Allokationspläne folgenden Kriterien entsprechen:

- Konsistenz mit Kyoto-Protokoll,
- Konsistenz mit technischer Entwicklung
- Übereinstimmung mit Decision 93/389/EEC,

- Diskriminierungsfreiheit
- Berücksichtigung early action (Basisjahr)
- Zugangsbedingungen für Neuanlagen
- Berücksichtigung von Effizienz-Technologien und "sauberen" Technologien
- Anlagenliste mit beabsichtigter Zuteilung
- Informationen über Berücksichtigung außergemeinschaftlichen Wettbewerbs

Besonders wichtige Kriterien sind die Berücksichtigung von early actions und Effizienz-Technologien bzw. „sauberen“ Technologien.

2.3 Monitoring und Reporting

Die Überwachung der Emissionen erfolgt durch Berechnungen oder Messungen. Berechnungen erfolgen nach der Formel:

Tätigkeitsdaten * Emissionsfaktor * Oxidationsfaktor

Tätigkeitsdaten sind Brennstoffverbrauch und Produktionsmengen, der Emissionsfaktor ergibt sich aus der Elementaranalyse des Brennstoffs, der Oxidationsfaktor beschreibt den Anteil des zu CO₂ oxidierten Kohlenstoffs. Ein Bezug zu der Menge der nutzbaren Produkte wird nicht genommen.

Soweit der Vorschlag der EU-Richtlinie zum CO₂-Emissionshandel nicht um spezielle Regelungen zur Berücksichtigung der unstrittigen Umweltbeiträge der KWK ergänzt wird, bestehen folgende Probleme:

- Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen erreichen wegen der Stromerzeugung etwa nur einen hälftigen Brennstoffnutzungsgrad der Nutzwärmeerzeugung. Außentemperaturbedingte Schwankungen des Wärmebedarfs schlagen bei KWK-Anlagen doppelt so stark zu Buche wie bei reinen Heizwerken. Der fehlende Bezug zu der Nutzenergie Wärme im monitoring belastet damit die Mehrauslastung von KWK-Anlagen wesentlich stärker als die von Heizwerken.
- Werden Wärmeerzeugungsanlagen über 20 MW Feuerungsleistung durch KWK-Neuanlagen substituiert, erhöht sich die Feuerungswärmeleistung erheblich, so dass CO₂-Zertifikate zur Deckung der Brennstoffmehrmenge durch KWK gekauft werden müssen und somit ein Nachteil trotz überregionaler CO₂-Entlastung zu verkraften ist (upgrade of cogeneration). Analog werden bei der Erzeugungsanlage, deren Strom verdrängt wurde, Zertifikate zum Verkauf frei.

In den Kriterien für nationale Allokationspläne (Annex III) ist vorgegeben, dass die Allokationspläne Informationen über die Berücksichtigung von umweltschonenden Technologien (clean technology) und Energie-Effizienz-Technologien enthalten sollen. Dieser Passus bie-

tet den Rahmen für eine KWK-Regelung in den nationalen Allokationsplänen, wie sie im Folgenden vorgeschlagen wird.

3 Bewertung der Vorteilhaftigkeit von KWK

Zur Anknüpfung einer Förderung von KWK-Anlagen werden drei Mechanismen diskutiert: Einsparung (fossiler) Primärenergie, Einsparung von CO₂-Emissionen und Gleichzeitigkeit der Erzeugung von Strom und Wärme.

3.1 Einsparung (fossiler) Primärenergie

Die Einsparung von (fossiler) Primärenergie durch Kraft-Wärme-Kopplung im Vergleich zur ungekoppelten Strom- und Wärmeerzeugung ist die Ursache aller Vorteilhaftigkeit der KWK. Zur Quantifizierung der Vorteilhaftigkeit reicht die Brennstoffnutzung der KWK alleine nicht aus. Da die beiden Produkte der KWK, Strom und Nutzwärme, unterschiedliche Wertigkeiten (Exergieanteile) aufweisen und ihre Herstellung mit unterschiedlichen unvermeidbaren Verlusten behaftet ist, ist das Verhältnis der Strom- zur Wärmeerzeugung als zusätzliche Maßgröße erforderlich, um die Einsparung gegenüber den ungekoppelten Verfahren zu bestimmen. Als Kritik einer unpräzisen Beschreibung der KWK sei hier auf die Erdgassteuer in Deutschland verwiesen, von der KWK-Anlagen unabhängig von einem Strom-Wärme-Verhältnis befreit werden, wenn 70% Brennstoffnutzung erreicht werden.

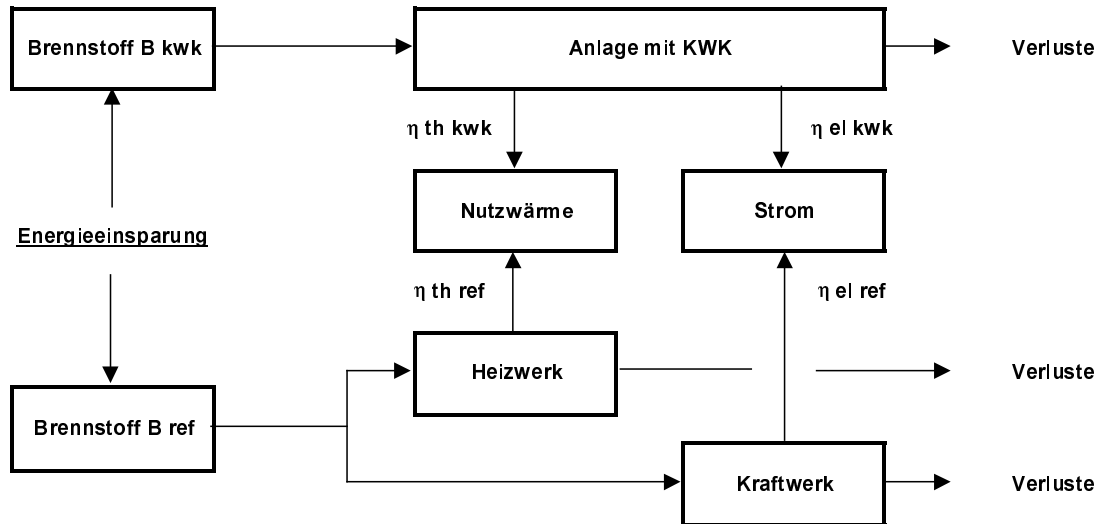
3.2 Einsparung von CO₂-Emissionen

Die Menge und der jeweilige Kohlenstoffgehalt der durch KWK eingesparten Primärenergie bestimmen den Umfang der eingesparten CO₂-Emissionen. Primärenergieeinsparung und Umstellung auf kohlenstoffarme Brennstoffe führen zur Verminderung der CO₂-Emissionen. Abbildung 1 zeigt deutlich, dass der Effekt der Energieträgerumstellung von Kohle und Erdöl auf Erdgas dabei stärker wirkt, als die Verminderung des Energieeinsatzes selbst. Die oberen vier Graphen geben dabei die CO₂-Minderungen bei Umstellung der Energieträger leichtes und schweres Heizöl sowie Stein- und Braunkohle auf Erdgas über zusätzlicher Primärenergieeinsparung wieder. Die untere Kurvenschar stellt die Effekte der Primärenergieeinsparung ohne Energieträgerumstellung dar. Die Umstellung einer mit Braunkohle betriebenen Anlage auf Erdgas führt ohne Energieeinsparung zu einer CO₂-Entlastung von 0,175 kg/kWh, wie sie selbst mit einer sehr hohen Energieeinsparung von 30% (hier 0,115 kg/kWh) nicht erreicht werden kann.

3.3 Gleichzeitigkeit der Erzeugung von Strom und Wärme

Die Gleichzeitigkeit der Strom- und Wärmeerzeugung, wie sie im deutschen KWModG und in der AGFW-Richtlinie FW 308, auf die im KWK-Gesetz dynamisch verwiesen wird, als För-

derkriterium angezogen ist, ermöglicht eine Abgrenzung von KWK in Mischprozessen wie Entnahme-Kondensations-Anlagen und Anlagen mit Rückkühlern und Bypässen. Die rechnerische Isolierung von KWK-Strom der "KWK-Scheibe" definiert aber letztlich KWK als Wert an sich.¹ Mit dem auf diese Weise ermittelten KWK-Strom fehlt der Bezug auf die sonstige



$$\text{Energieeinsparung} = \frac{\text{Nutzwärme}}{\eta_{th \text{ ref}}} + \frac{\text{Strom}}{\eta_{el \text{ ref}}} - B_{\text{kwk}}$$

$$\text{Energieeinsparung in \%} = 1 - \frac{1}{\eta_{th \text{ kwk}} / \eta_{th \text{ ref}} + \eta_{el \text{ kwk}} / \eta_{el \text{ ref}}}$$

Abb. 1: Energie- und CO₂-Einsparung durch KWK

Strom- und Wärmeerzeugung im Vergleichsrahmen. Dies mag für das Ziel der Vermeidung von stranded investments bei Bestandsanlagen bestimmter Betreibergruppen ausreichen, für einen effizienzorientierten Ordnungsrahmen zur CO₂-Einsparung ist jedoch ein Vergleich mit den Emissionen der nationalen Kraft- und Heizwerksparks unerlässlich. Dies wird in Ländern mit überwiegend regenerativer Stromerzeugung deutlich. Bezieht man dort mögliche CO₂-Entlastungen auf KWK-Strom an sich, im Sinne gleichzeitig mit Nutzwärme erzeugten

¹ Hilfsweise wird in der AGFW FW 308 ein Effizienzkriterium eingeführt, in dem gleichzeitige Strom- und Wärmeerzeugung nur in dem Umfang als KWK anerkannt wird, der sich bei einer Brennstoffnutzung von 80% bzw. 60% für Mülleinsatz ergeben hätte. Dies lässt außer Acht, dass KWK-Anlagen mit hohen Stromkennziffern auch unterhalb einer Brennstoffnutzung von 80% Energieeinsparungen bewirken.

Stroms wie im deutschen KWK-Gesetz, würde der fossilen KWK ein Vorteil zugeordnet, obwohl faktisch die CO₂-Emissionen in diesem Land durch KWK steigen.

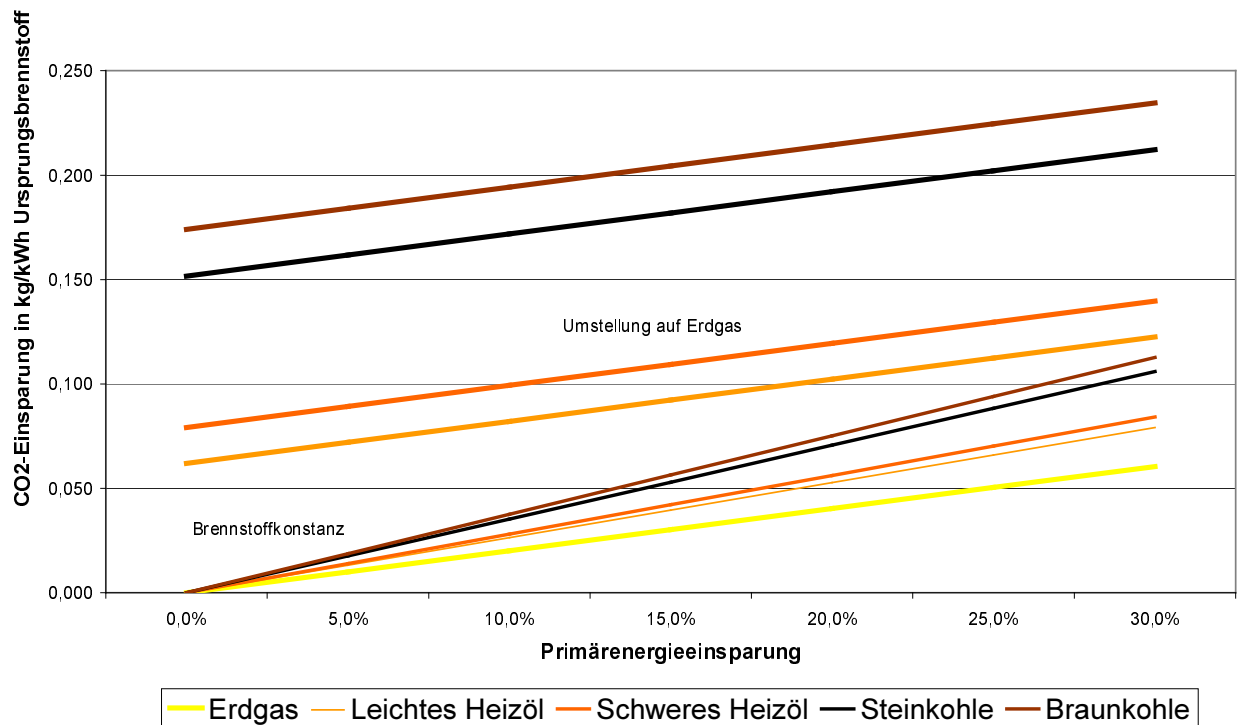


Abb 2: Primärenergieumstellung versus Energieeinsparung (Bezug Ursprungsbrennstoff)

In den Verbänden und im Europäischen Parlament, das im Rahmen des Mitentscheidungsverfahrens für die Modifizierung und Annahme der KWK-Richtlinie zuständig ist, schwelt zurzeit eine Diskussion, ob die Energieeinsparung im Sinne des EU-Vorschlages oder die KWK-Scheibe im Sinne der AGFW als Effizienzkriterium einer gemeinschaftsweit harmonisierten Förderung bzw. Bewertung der KWK im CO₂-Emissionshandel angezogen werden soll.

Im Sinne der Zielrichtung des CO₂-Emissionshandels ist zu empfehlen, den Beitrag von KWK nur an die mögliche CO₂-Emissionsminderung im Vergleich zu Referenzsystemen anzuknüpfen. Der alleinige Bezug auf die Energieeinsparung negiert die Vorteilhaftigkeit von Brennstoffumstellungen zur CO₂-Minderung, der Bezug auf KWK-Strom ist gänzlich ungeeignet.

4 Wahl der Referenzsysteme

Die Quantifizierung der Vorteilhaftigkeit von KWK-Anlagen mit fossilem Energieeinsatz in Bezug auf die Primärenergieeinsparung bedarf je eines Referenzsystems der ungekoppelten Strom- und Nutzwärmeerzeugung passend zu der Systemgrenze der KWK-Anlage. So ver-

ständig und berechtigt der Einwand auch ist, die Wahl des Referenzsystems sei schwierig und von Willkür behaftet; sinnvolle Alternativen mit zielorientierter Anreizwirkung zur Energieeinsparung gibt es dazu nicht.

Zur Bewertung der KWK können verschiedene Grundsätze verfolgt werden. Es kann zum Vergleich diejenige ungekoppelte Strom- und Wärmeerzeugung herangezogen werden,

- die faktisch durch die einzelne KWK-Anlage verdrängt wird,
- die im Kraftwerks- und Heizwerkspark eines Landes im Mix hätte erfolgen können,
- die mit dem gleichen Brennstoff hätte erfolgen können.

Referenzsystem: Faktische Verdrängung

Der Einsatz vorhandener Kraftwerke ergibt sich (vereinfacht) aus den Grenzkosten des Kraftwerksparks (merit order). Eine betriebene KWK-Anlage hat danach, unabhängig von dem in der KWK-Anlage eingesetzten Brennstoff jeweils die erste nicht mehr betriebene Stromerzeugung in der merit order verdrängt. Je Lastfall in der Stromversorgung sind dies unterschiedliche Kraftwerke, die in Simulationsrechnungen zumindest annähernd ermittelt werden können. Nachts wird eine KWK-Anlage vorwiegend Grundlastkraftwerke, tags eher Mittellastkraftwerke verdrängen. Rechnungen haben ergeben, dass erdgasbetriebene Heizkraftwerke oft Kohle-Mittellastkraftwerke verdrängen. Ist die tatsächlich verdrängte Stromerzeugung noch in komplexen Modellen zu ermitteln, so gibt es in der Wärmeversorgung selten unmittelbar verfügbare Ersatzkapazitäten. Die Dezentralität und fehlende Vernetzung der Wärmeversorgung verhindert in der überwiegenden Anzahl der Fälle die Bestimmung tatsächlich verdrängter Wärmeerzeugungskapazitäten, so dass hier nur eine Fiktion herangezogen werden kann.

Referenzsystem: Kraft- und Heizwerkspark

Die Vorgabe von Referenzwerten der ungekoppelten Strom- und Wärmeerzeugung aus dem Anlagenpark eines Landes führt durch die Mittelwertbildung zu Vorteilen bei Brennstoffen, die hohe Nutzungsgrade ermöglichen (gasförmige Brennstoffe) und bei Brennstoffen mit geringen Kohlenstoffanteilen sowie zu Nachteilen bei technisch schwierig zu verwendenden Brennstoffen (z. B. Braunkohle) und Brennstoffen mit hohen Kohlenstoffanteilen. Die Brennstoffneutralität wäre bei einem solchen Referenzsystem nicht gegeben. Referenzwerte aus dem Kraft- und Heizwerkspark kennzeichnen die Energieerzeugungsstruktur des Landes und sind einfach zu ermitteln.

Referenzsystem: Brennstoffkontinuität

Die Wahl von Referenzwerten bei Brennstoffkontinuität bewirkt Neutralität gegenüber dem eingesetzten Brennstoff, kann aber zum Vergleich mit fiktiven Kraftwerken führen, die es in dem Land nicht gibt. Die Effizienz von Kraftwerken ist aus prozesstechnischen Gründen in hohem Maß vom Brennstoff abhängig. Kohlekraftwerke erreichen Wirkungsgrade bis 43%, Gaskraftwerke (GuD-Kond-Anlagen) erreichen Wirkungsgrade über 55%. Mit Wahl der Brennstoffkontinuität ist gewährleistet, dass hocheffiziente KWK-Anlagen mit Kohle etwa die gleichen Primärenergieeinsparungen erreichen können, wie hocheffiziente gasbetriebene

KWK-Anlagen, da der Stromverlust durch Wärmeauskopplung bei beiden Anlagen prinzipiell gleich ist.

Fazit

Geht man davon aus, dass das Referenzsystem so zu wählen ist, dass fossile KWK in einem Land mit überwiegender regenerativer Stromerzeugung zu keinen (rechnerischen) CO₂-Gutschriften führen darf, scheidet das System mit Brennstoffkontinuität aus. Der Kraft- und Heizwerkspark des Landes mit seinen mittleren CO₂-Emissionen ist aus Gründen der Praktikabilität der tatsächlich verdrängten Strom- und Wärmeerzeugung als Vergleichssystem vorzuziehen. So sind die spezifischen CO₂-Emissionen des jeweiligen Strom- und Wärme-marktes eines Landes (siehe Tabelle 1 für Deutschland) zugrunde zu legen. Die genannten CO₂-Emissionsfaktoren sind brennstoffbezogene Werte ohne Berücksichtigung vorgelagerter Prozessketten.

Tabelle 1: CO₂-Emissionen des Kraft- und Heizwerksparks (BRD) 2000

Quelle: VDI / AGFW

Brennstoff	Emissionsfaktor kg CO ₂ /kWh	Wärmeerzeugung %	Stromerzeugung %
Steinkohle	0,354	22%	38%
Braunkohle	0,376	1%	36%
Erdgas	0,202	47%	13%
Mineralöl	0,272	29%	1%
Müll / Regenerative	0,000	2%	11%
Summe		100%	100%
Brennstoffemission	kg CO ₂ /kWh	0,254	0,302

Als Übertragungsverluste der Spannungsebenen wurden folgende mittlere Werte angenommen:

- Höchstspannung einschließlich Umspannung 0,5 %
- Hochspannung einschließlich Umspannung 0,8 %
- Mittelspannung einschließlich Umspannung 1,8 %

Als Referenzwert für den Kraftwerkspark Deutschland wird vorbehaltlich genauer Ermittlungen als Zukunftswert ein mittlerer Nutzungsgrad von **40%**, für die Wärmebereitstellung wird als Zukunftswert ein Nutzungsgrad von **90%** gesetzt.

Unter Berücksichtigung der vorgenannten Setzungen ergäbe sich für Deutschland ein Referenzkatalog der ungekoppelten Strom- und Wärmeerzeugung gemäß Tabelle 2.

Tabelle 2: Referenzwerte der ungekoppelten Strom- und Wärmeerzeugung (BRD)

Quelle: Eigene Ermittlungen

Einspeisenetz KWK	Verluste vorgel. Stromnetze	Strom $\eta_{el\ ref}$	Wärme $\eta_{th\ ref}$
Höchstspannung		40,0%	90,0%
Hochspannung	0,5%	39,8%	90,0%
Mittelspannung	1,3%	39,3%	90,0%
Niederspannung	3,1%	38,1%	90,0%

5 Berechnung der CO₂-Einsparung

Die Berechnung der CO₂-Minderung von KWK-Anlagen nach dem vorgeschlagenen Modell erfordert drei Energiemengen (Brennstoff, Strom und Wärme) sowie die beiden Referenznutzungsgrade der ungekoppelten Erzeugung und die CO₂-Emissionsfaktoren für Strom und Wärme.

Die Primärenergie- und CO₂-Einsparung nach dem vorbeschriebenen Modell sind in den Abbildungen 3 und 4 in Abhängigkeit der elektrischen Nutzungsgrade über der Brennstoffnutzung dargestellt.

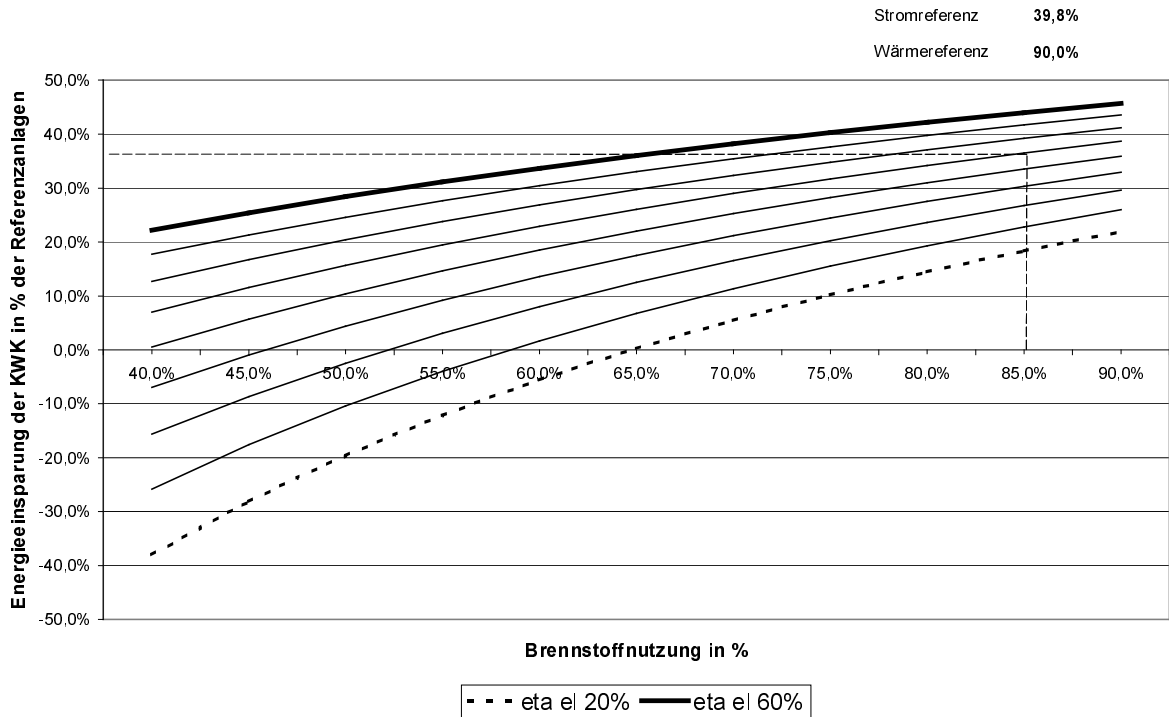


Abb. 3: Primärenergieeinsparung von KWK-Anlagen

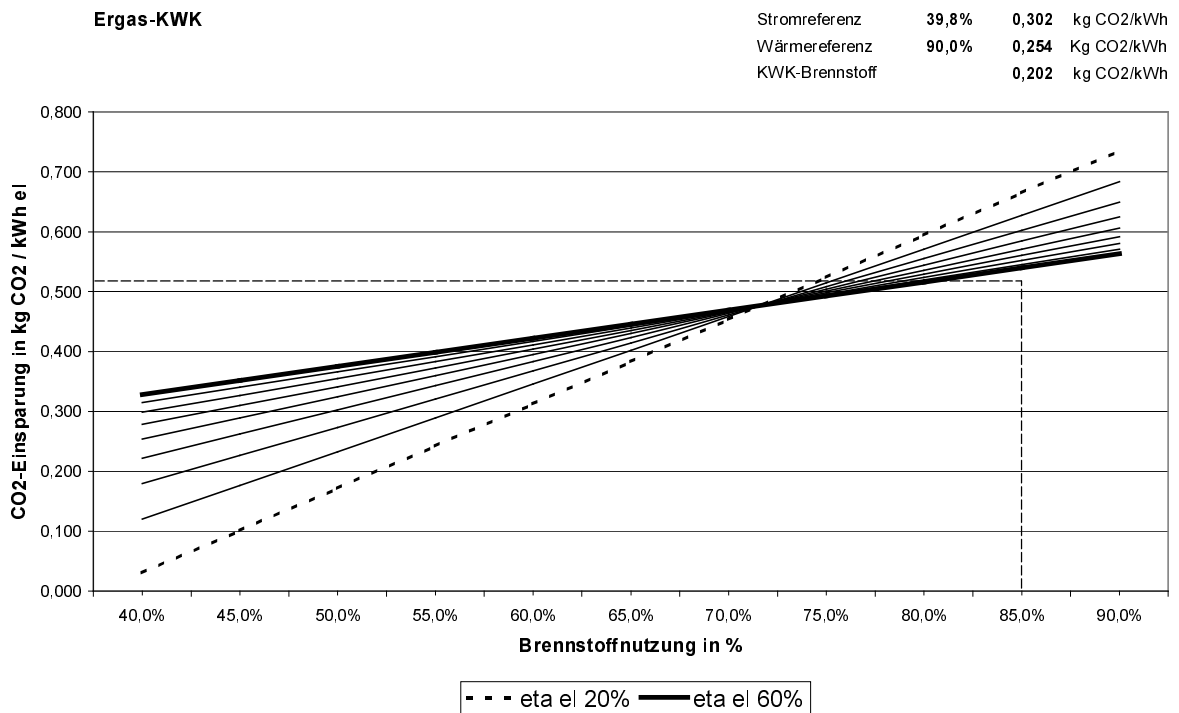


Abb. 4: Spezifische CO₂-Einsparung von KWK-Anlagen

6 Zusammenfassung

Die vorgenannten Verfahrensvorschläge der Berücksichtigung von KWK-Anlagen im Rahmen des erwarteten CO₂-Emissionshandels zielen darauf ab, den Beitrag der KWK zu einer nachhaltigen Energieversorgung angemessen einzubeziehen. Um Fehlallokationen zu vermeiden, wurden die technischen Prozessabläufe der CO₂-Bildung möglichst weitgehend abgebildet. Als wünschenswerte Regelungen sei zusammengefasst:

- Die Anrechnung der CO₂-Einsparung der Kraft-Wärme-Kopplung sollte an der CO₂-Einsparung des KWK-Prozesses im Vergleich zur ungekoppelten Strom- und Wärmeerzeugung im jeweils aktuellen nationalen Kraft- und Heizwerkspark gemessen werden.
- Die Primärenergieeinsparung ist mit derjenigen CO₂-Entlastung zu bewerten, wie sie sich aus dem Brennstoffmix der Strom- und Wärmeerzeugung eines Landes und dem in der KWK-Anlage eingesetzten Brennstoff ergibt.
- Die Referenzwerte der ungekoppelten Stromerzeugung sind bei dezentraler Einspeisung der KWK-Anlage um die Übertragungsverluste der eingesparten Netzebenen zu vermindern.
- Emissionsbeschränkten KWK-Anlagen werden CO₂-Emissionserlaubnisse zugeteilt, die die Referenzanlagen der ungekoppelten Strom- und Wärmeerzeugung erhalten würden.
- Nicht emissionsbeschränkte KWK-Anlagen generieren CO₂-Zertifikate in Höhe der gleichermaßen errechneten eingesparten CO₂-Emissionen der KWK-Anlage

Es ist fraglich, ob sich eine Berücksichtigung der Emissionsminderungen der KWK noch in die EU-Richtlinie zum CO₂-Emissionshandel integrieren lässt. Wünschenswert wäre eine Überarbeitung der EU-KWK-Richtlinie in diesem Sinne als Basis der Europäischen Union zur weitgehenden Übernahme in die nationalen Allokationspläne.