

# Das Mindestkaufpflichtmodell mit handelbaren KWK-Zertifikaten als Instrument ökologieorientierter Energiepolitik

- Vorteile der KWK
- Gütekriterium KWK-Wirkungsgrad
- Zertifikatshandel im liberalisierten Markt
- Potentiale

von  
Dr.-Ing. Arnold Tolle

## INHALT

1	ZUR AKTUELLEN SITUATION DER KRAFT-WÄRME-KOPPLUNG .....	4
2	VORTEILHAFTIGKEIT DER KWK-STROMERZEUGUNG .....	5
2.1	Der KWK-Wirkungsgrad: Mehrverbrauch für die Stromerzeugung .....	5
2.1.1	Spezifische CO <sub>2</sub> -Emissionen der KWK-Stromerzeugung .....	5
2.1.2	Vergleich mit anderen Kraftwerken.....	6
2.1.2.1	Brennwerttechnik.....	6
2.1.2.2	Brennstoffzellen.....	6
2.2	Stromkennzahl als Schlüssel für die Höhe des Reduktionspotentials .....	7
2.3	Beispiel: Energieströme einer Gasturbinen/Dampfturbinen-KWK-Anlage .....	8
2.3.1	CO <sub>2</sub> -Emissionen der Beispielanlage .....	9
2.4	Industrielle KWK: Prioritäten im Wettbewerb zu weiteren Maßnahmen der Industriellen Emissionsminderung .....	10
2.4.1.1	Beispiel: Vergleich Wärmerückgewinnung oder Kraft-Wärme-Kopplung... ..	10
2.4.1.2	Notwendige Konsequenzen .....	12
3	EINFÜHRUNG EINES HANDELSMODELS FÜR KWK-ZERTIFIKATE.....	13
3.1	Unabhängige Handelsprodukte: Strom und Zertifikate.....	13
3.1.1	Emissionshandel.....	13
3.2	Zertifizierung über den KWK-Wirkungsgrad als Qualitätskriterium .....	14
3.2.1	Neuanlagen.....	14
3.2.2	Bestehende Anlagen.....	14
3.2.3	Vergleich zu anderen Bewertungskriterien .....	14
3.2.4	Anreiz: Attraktive Anlagen mit hohem CO <sub>2</sub> -Minderungspotential.....	15
3.2.4.1	Angemessene Bewertung durch den KWK-Wirkungsgrad .....	15
3.2.4.2	Hohe Stromkennzahl, hohe CO <sub>2</sub> -Reduktionen.....	15
3.2.5	Neue Technologien: Brennstoffzellen .....	15
3.2.6	Ausschluß: KWK-Zertifikate nur für hochwertigen KWK-Strom.....	17
3.2.7	Sonstige Maßnahmen.....	18
3.2.7.1	Steuerbefreiung Brennstoff KWK nur entsprechend KWK-Stromerzeugung .....	18
3.3	KWK mit Kohle als Brennstoff .....	19
3.4	Kohleverstromung mit minimalen Gesamtemissionen .....	19
3.5	Empfehlungen für die Gestaltung des Zertifikathandelsmodells .....	20
3.6	Höhe des genutzten Potentials.....	21
3.7	Preisdifferenzierung .....	21
3.8	Vergleich zu anderen Instrumenten.....	21

<b>4</b>	<b>ANHANG.....</b>	<b>22</b>
4.1	Der KWK-Wirkungsgrad.....	22
4.1.1	Definition des KWK-Wirkungsgrades.....	22
4.1.2	Definition KWK-Strom.....	22
4.1.3	Berechnung des KWK-Wirkungsgrades aus gegebenen Größen.....	22
4.1.4	Alternative Berechnung aus dimensionslosen Kenngrößen .....	23
4.1.4.1	Ableitung nach der Stromkennzahl .....	23
4.1.5	Spezifische und absolute CO <sub>2</sub> -Emissionen .....	24
4.1.6	Bestimmung der brennstoffbedingten Stromgestehungskosten.....	24
4.1.7	Unterschiedliche Brennstoffe für den Ersatzkessel.....	25
4.1.8	Vorteile .....	26
4.2	Berechnung von KWK-Potentialen an einzelnen Anlagen.....	26
4.2.1	Bestimmung der Emissionen und Einsparungen von CO <sub>2</sub> .....	27
4.2.2	Verluste im Fernwärmesystem .....	28
4.3	Abschätzung des nationalen KWK-Potentials aus der Stromkennzahl .....	28
4.3.1	Vorbemerkung .....	28
4.3.1.1	Vorgehensweise .....	28
4.3.1.2	Basisdaten .....	29
4.3.2	Industrielles Potential .....	29
4.3.2.1	Basis.....	29
4.3.2.2	Annahmen.....	30
4.3.2.2.1	Aktuelle Stromkennzahl .....	30
4.3.2.2.2	Stromkennzahl Zubauszenario.....	30
4.3.2.3	Berechnung .....	31
4.3.2.3.1	Ausbau .....	31
4.3.2.3.2	Zubau.....	32
4.3.2.4	Industrielles Gesamtpotential.....	32
4.3.2.4.1	Empfehlung für Datenermittlung.....	32
4.3.3	Kommunales KWK-Potential .....	33
4.3.3.1	Basis.....	33
4.3.3.2	Annahmen.....	33
4.3.3.3	Berechnung .....	33
4.3.3.3.1	Ausbau .....	34
4.3.3.3.2	Zubau.....	34
4.3.3.4	Kommunales Gesamtpotential.....	34
4.3.4	Industrielles und kommunales KWK-Gesamtpotential .....	35
4.4	Zusammenfassung der Potentialabschätzung.....	35

## 1 Zur aktuellen Situation der Kraft-Wärme-Kopplung

Die Bundesregierung hat erneut ihr Ziel bekräftigt, die CO<sub>2</sub>-Emissionen bis zum Jahre 2005 auf 75% der Werte von 1990 zu reduzieren. Sie stellt weiterhin fest, daß aufgrund der globalen Klimaproblematik in dem darüber hinausreichenden Zeitraum weitere, drastische Reduktionsmaßnahmen notwendig sind. Im Maßnahmenkatalog zum Erreichen des 25%-Reduktionszieles von 2005 wird der Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung mittels Quote beschlossen.<sup>1</sup>

Die Kraft-Wärme-Kopplung weist in der Tat deutlich höhere Wirkungsgrade in der Stromerzeugung auf als alle anderen heute verfügbaren Kraftwerke mit fossilen Brennstoffen. Dies führt besonders in mit Erdgas betriebenen Anlagen zu niedrigsten spezifischen Emissionen von Treibhausgasen. Im direkten Vergleich mit anderen Kraftwerken kommt KWK-Strom mit nur einem Viertel bis Fünftel der spezifischen Emissionen von aktuellen, konventionellen Kraftwerken aus.

Die KWK ist eine verfügbare und bewährte Technologie. Auf dem Weg in das solare Zeitalter mit all seinen verschiedenen Optionen stellt sie eine ideale Übergangstechnologie dar, um in den nächsten Jahrzehnten die im Bereich der Stromerzeugung notwendigen, großen Emissionsminderungen zu realisieren. Mittelfristig (20 Jahre) könnte etwa die Hälfte des gesamten Stromes aus KWK stammen. Allein in der Stromerzeugung würden dadurch die absoluten CO<sub>2</sub>-Emissionen mehr als halbiert.

Das Investitionsvolumen läge niedriger als die aktuellen UMTS-Lizenz-Gebühren. Aufgrund der tatsächlichen Investitionstätigkeit würde jedoch eine deutliche Nachfrage auf dem Arbeitsmarkt ausgelöst.

Tatsächlich hat die Liberalisierung des deutschen Strommarktes bereits voll eingesetzt und in vielen Fällen zu einem deutlichen Einschnitt für die Kraft-Wärme-Kopplung geführt. Es werden, im Gegensatz zu Frankreich, nicht nur keine Anlagen mehr gebaut, sondern es erfolgt sogar ein deutlicher Rückbau. Manche Schätzungen gehen von 100 bis 200 MW pro Monat aus.

Soll das große Potential zur Senkung der Emissionen genutzt werden, so muß in vielen Anlagen deutlich mehr Strom als der vor Ort gebrauchte erzeugt und in das Netz eingespeist werden.

Das Quotenmodell, oder genauer Mindestkaufpflichtmodell mit handelbaren KWK-Zertifikaten, stellt ein marktwirtschaftlich orientiertes Handelsmodell dar und entspricht ähnlichen, bereits in anderen Bereichen etablierten Verfahren. Der Handel der KWK-Zertifikate erfolgt unabhängig und zeitlich entkoppelt vom Produkt Strom.

Intensiv diskutiert wird zur Zeit noch über das angemessene Verfahren zur Bewertung der Güte der Kraft-Wärme-Kopplung. Vorgeschlagen und begründet wird hier der KWK-Wirkungsgrad.

Darüber hinaus sollte die Möglichkeit vorgesehen werden, die KWK-Zertifikate bei Bedarf nach Leistung und Jahresnutzungsstunden differenzieren zu können, um Windfallprofits zu vermeiden.

---

<sup>1</sup>2-Reduktion“)

## 2 Vorteilhaftigkeit der KWK-Stromerzeugung

Die Vorteilhaftigkeit der KWK-Stromerzeugung kann sehr eindrucksvoll über den KWK-Wirkungsgrad aufgezeigt werden.

### 2.1 Der KWK-Wirkungsgrad: Mehrverbrauch für die Stromerzeugung

Der KWK-Wirkungsgrad ist sehr einfach zu verstehen:

Ein Wärmeverbraucher, der bisher nur über einen Kessel ohne KWK versorgt wird, soll statt dessen durch eine KWK-Anlage versorgt werden. Dafür ist zusätzlicher Brennstoff notwendig. Der in der KWK-Anlage erzeugte Strom wird nun in Beziehung gesetzt zu diesem zusätzlichen Brennstoff.

Man erhält den KWK-Wirkungsgrad  $\eta_{\text{KWK}}$ . Er ist wie jeder andere Kraftwerkswirkungsgrad definiert als das Verhältnis von zusätzlich erzeugtem KWK-Strom und dem dazu notwendigen zusätzlichen Brennstoffbedarf:

$$\eta_{\text{KWK}} = \frac{\dot{P}_{\text{el KWK}}}{\dot{B}_{\text{KWK-Strom}}} \quad (2.1)$$

Der KWK-Wirkungsgrad (s.a. Kap. 4.1) läßt sich daher direkt mit den Wirkungsgraden und spezifischen  $\text{CO}_2$ -Emissionen anderer Kraftwerke vergleichen. (s. Bild 2.1).

#### 2.1.1 Spezifische $\text{CO}_2$ -Emissionen der KWK-Stromerzeugung

Über den KWK-Wirkungsgrad können die spezifischen  $\text{CO}_2$ -Emissionen der Stromerzeugung in KWK ermittelt werden:

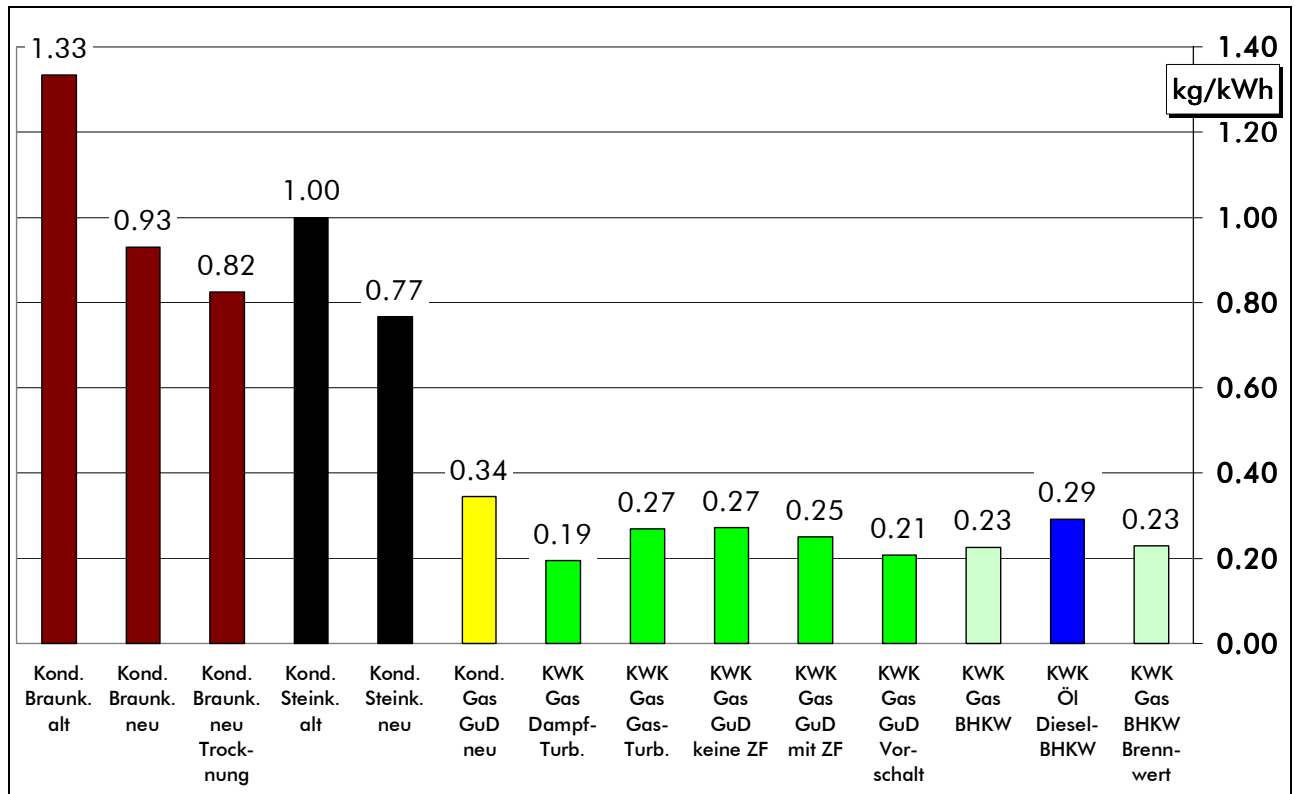
$$y_{\text{CO}_2 \text{ KWK}} = \frac{y_{\text{CO}_2 \text{ Brennstoff KWK}}}{\eta_{\text{KWK}}} \quad \left[ \frac{\text{kg}}{\text{kWh}} \right] \quad (2.2)$$

Auch diese Berechnung erfolgt genauso wie bei konventionellen Kraftwerken.

## 2.1.2 Vergleich mit anderen Kraftwerken

Die niedrigen spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen der Stromerzeugung durch KWK-Systeme lassen sich mit keinem sonstigen, fossil gefeuerten Kraftwerk erreichen.

Dies wird nachfolgend in Bild 2.1 bei einem Vergleich konventioneller Kraftwerke mit den aktuell für den Klimaschutz wichtigsten KWK-Technologien gezeigt.



**Bild 2.1 CO<sub>2</sub>-Emissionen bei der Stromerzeugung in verschiedenen Kraftwerken**  
Für den Ersatzkessel wird der gleiche Brennstoff wie für die KWK-Anlage eingesetzt.  
Der Wirkungsgrad für den Ersatzkessel beträgt 91.0%  
(104.0% beim Brennwertkessel).

Man sieht, daß die spezifischen Emissionen der KWK nur etwa ein Fünftel bis ein Viertel der Werte heute betriebener, fossiler Mittel- und Grundlastkraftwerke betragen. Auch gegenüber gasgefeuerten GuD-Kraftwerken betragen die Einsparungen noch über 20 %.

### 2.1.2.1 Brennwertechnik

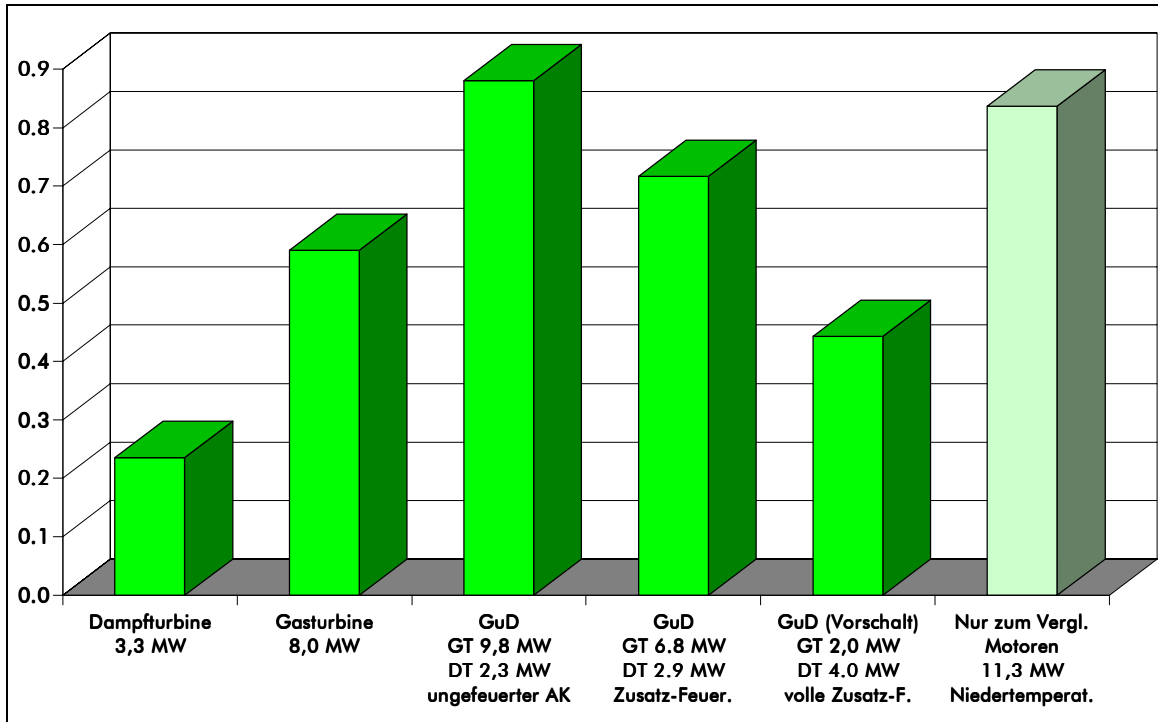
Dies gilt explizit auch bei der Kombination verschiedener Systeme wie gasgefeuerte GuD-Kraftwerke und Brennwertkessel für die Wärmeversorgung (Säule ganz rechts in Bild 2.1). Damit ist die Aussage einer vor Jahren vorgestellten Studie (Pestel u.a. 1994), die wesentlich auf dem unglücklichen Vergleich unterschiedlicher Systeme basiert und auch heute noch gelegentlich zu Irritationen führt, nochmals sehr anschaulich widerlegt.

### 2.1.2.2 Brennstoffzellen

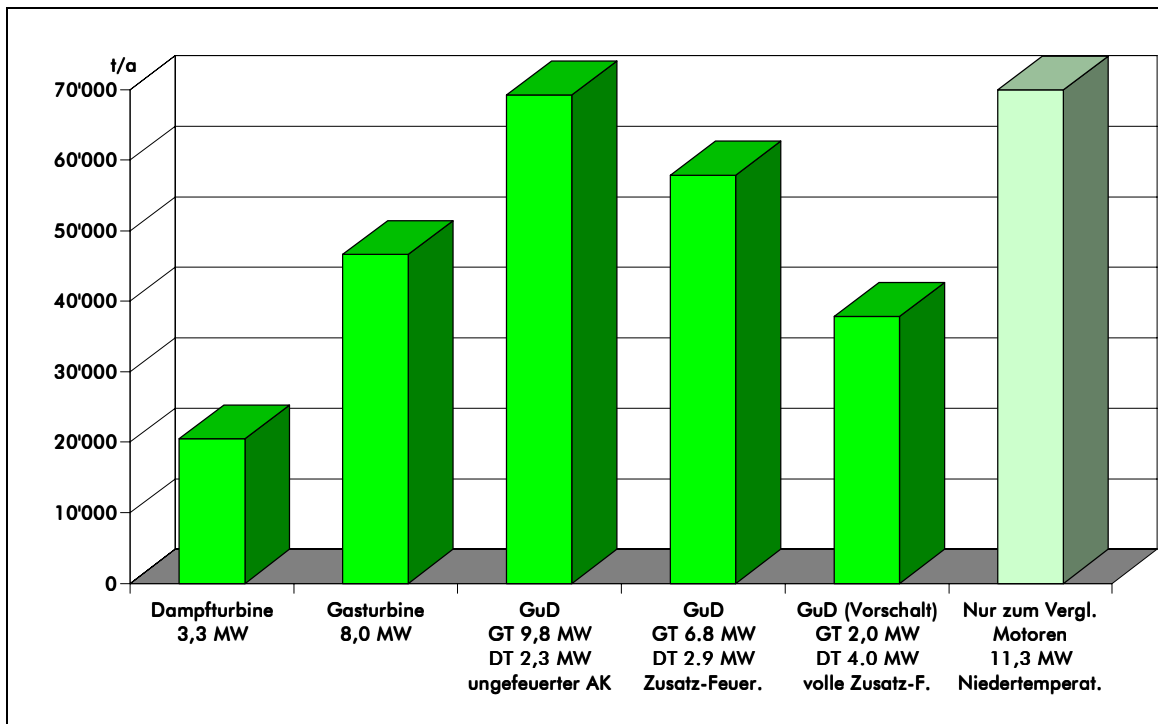
Neue, sehr vielversprechende Technologien wie die verschiedenen Arten von Brennstoffzellen sind noch nicht dargestellt, lassen aber ebenfalls niedrige spezifische Emissionen erwarten.

## 2.2 Stromkennzahl als Schlüssel für die Höhe des Reduktionspotentials

Entscheidend für die absolute Höhe des CO<sub>2</sub>-Reduktionspotentials ist jedoch nicht nur die spezifische CO<sub>2</sub>-Emission der Stromerzeugung, sondern vielmehr die Stromkennzahl (s. Bild 2.2).



**Bild 2.2 Stromkennzahl verschiedener KWK-Prozesse**



**Bild 2.3 CO<sub>2</sub>-Reduktion der oben dargestellten KWK-Prozesse: der Prozeß mit den geringsten Verlusten an Arbeitsfähigkeit - der GuD-Prozeß ohne Zusatzfeuerung - zeigt das höchste Reduktionspotential. Er hat die größte Stromkennzahl und damit die höchste elektrische Leistung. Auslastung: hier 8000 h/a**

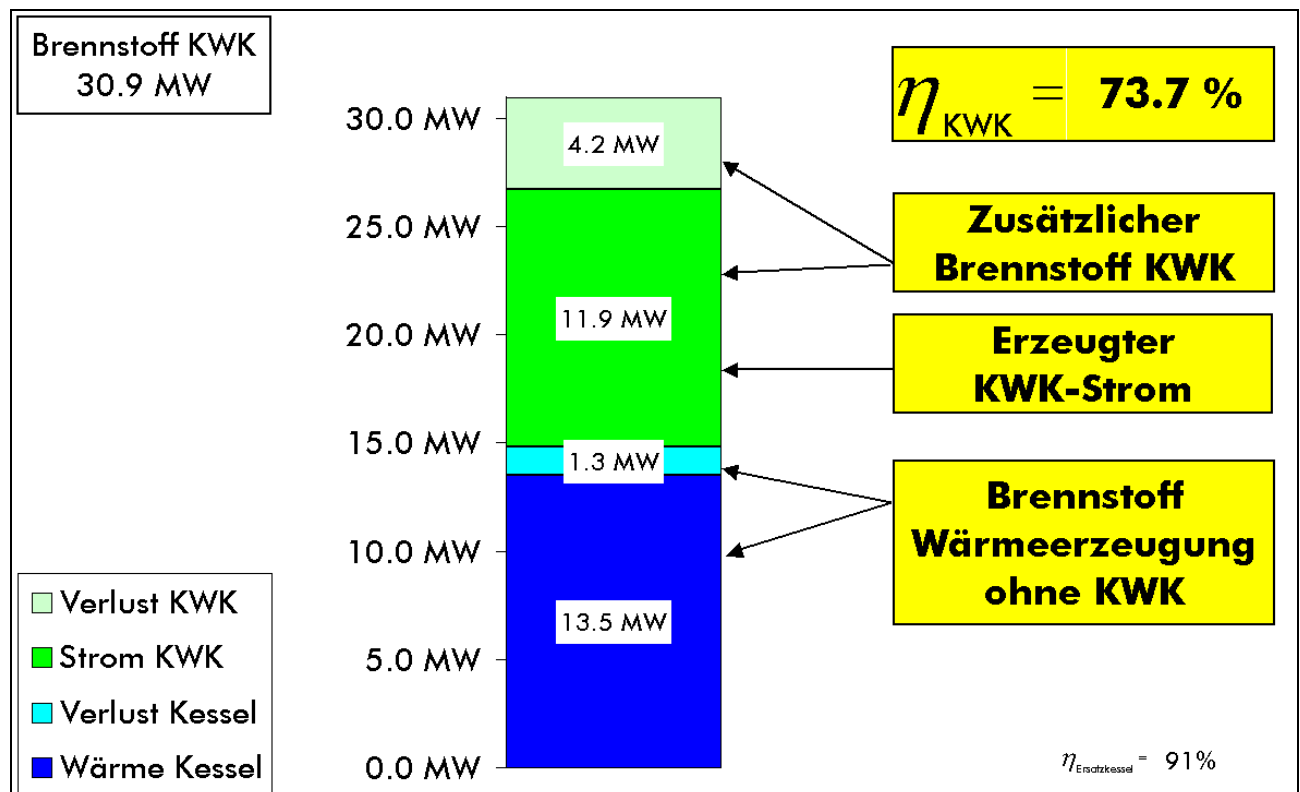
Es ist leicht zu erkennen, dass die jährlichen Einsparungen an CO<sub>2</sub>-Emissionen direkt mit der Größe der Stromkennzahl in Zusammenhang stehen. Dies ist darauf zurückzuführen, daß in allen Fällen der Wirkungsgrad der KWK sehr hoch ist bzw. die entsprechenden spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen entsprechend niedrig sind.

Die Stromkennzahl ist das direkte Maß dafür, wie groß bei einem gegebenen Wärmebedarf eine konkrete Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlage ausgeführt wird. Die Stromkennzahl bestimmt maßgeblich die Höhe der eingesparten CO<sub>2</sub>-Emissionen. (s. Bild 2.3)

### 2.3 Beispiel: Energieströme einer Gasturbinen/Dampfturbinen-KWK-Anlage

Für die Bewertung der KWK ist nur interessant, wieviel Brennstoff zusätzlich für die Stromerzeugung benötigt wird.

Bild 2.4 verdeutlicht den Zusammenhang für eine KWK-Anlage mit 9.8 MW-Gasturbine, ungefeuerten Abhitzeessel und Dampfturbine:



**Bild 2.4** KWK-Stromerzeugung in einem Gas- und Dampfturbinen-Kraftwerk: hoher KWK-Wirkungsgrad



Dabei sind

$$\dot{Q}_{\text{Nutz}} = 13.5 \text{ MW} \quad \text{die abgegebene Nutzwärme}$$

$$P_{\text{el}} = 11.9 \text{ MW} \quad \text{die elektrische Leistung}$$

$$\dot{B}_{\text{KWK}} = 30.9 \text{ MW} \quad \text{der Brennstoffbedarf der KWK-Anlage,} \\ \text{bei Gas als angegeben als (unterer) Heizwert } H_u$$

Über den in Kap. 4.1 vorgestellten Formelsatz können die weiteren in der Säule gezeigten Größen berechnet werden:

- Mit dem Nutzungsgrad des ohne KWK betriebenen Kessels können dessen Verluste [1.3 MW] bestimmt werden.
- Die zusätzlichen Verluste der KWK [4.2 MW] ergeben sich als Differenz zur Brennstoffleistung.

Die ganze Säule läßt sich in zwei Bereiche aufteilen:

- Die unteren beiden Felder zeigen den Brennstoffbedarf eines Ersatzkessels (EK) für den Fall, daß die Nutzwärme ohne Kraft-Wärme-Kopplung erzeugt würde. Hier finden sich auch die thermischen Verluste, die bei einer Wärmeerzeugung ohne KWK entstünden.
- Die Summe der beiden oberen Felder ist der zusätzliche Brennstoffbedarf der KWK-Anlage.

Das Verhältnis aus erzeugtem Strom und dem Brennstoffmehrbedarf der KWK-Anlage berechnet sich hier zu 0.7368. Dies bedeutet, daß 74 % des Brennstoffs, der in der KWK-Anlage **zusätzlich** eingesetzt wird, in Strom umgewandelt wird. Das Verhältnis ist daher unmittelbar vergleichbar mit dem Wirkungsgrad eines anderen Kraftwerkes. Es wird daher auch als KWK-Wirkungsgrad  $\eta_{\text{KWK}}$  bezeichnet.

Der KWK-Wirkungsgrad beträgt hier:

$$\eta_{\text{KWK}} = 73.7 \%$$

### 2.3.1 CO<sub>2</sub>-Emissionen der Beispielanlage

Damit lassen sich dann die spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen der KWK-Stromerzeugung über Gleichung (2.2) berechnen zu:

$$Y_{\text{CO}_2 \text{ KWK}} = 0.271 \text{ kg/kWh}$$

Durch Multiplikation dieses Wertes mit der elektrischen Leistung und den Jahresbenutzungsstunden erhält man die jährlichen Emissionen für die Stromerzeugung in KWK und kann sie direkt mit anderen Kraftwerken vergleichen. (s.a. Beispiel im Anhang Kap.4.1)

## **2.4 Industrielle KWK: Prioritäten im Wettbewerb zu weiteren Maßnahmen der Industriellen Emissionsminderung**

Es gibt vielfältige Anstrengungen und Möglichkeiten, Emissionsminderungen in industriellen Produktionsprozessen zu erreichen.

So wurde die VIK-Beratungsinitiative initiiert, um die aus der Selbstverpflichtung der Deutschen Industrie resultierenden Reduktionsziele zu erreichen. Nach einer mehrgliedrigen Auftaktveranstaltung wurden einige Workshops durchgeführt, um spezifische Einsparpotentiale zu definieren und einen Diskussionsprozeß in der Industrie zu initiieren. Dabei konnte u.a. folgendes festgestellt werden:

In manchen Branchen ist in der Tat sehr spezifische Technologie gefragt. Dies gilt insbesondere für Hochtemperaturprozesse, wie sie zum Beispiel in der Glasindustrie oder in Gießerei- oder Hüttenbetrieben anzutreffen sind. Hier gilt es, Exergieverluste z. B. durch Hochtemperaturwärmeaustausch, modifizierte Verfahrens- und Produktionstechnik oder auch nachgeschaltete Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen zu realisieren.

In sehr vielen Fällen aber hat man die Wahl zwischen verschiedenen Maßnahmen, insbesondere bei energieintensiven, verfahrenstechnischen Prozessen auf niedrigerem Temperaturniveau. Typische Beispiele sind Trockner oder Verdampfer. So können z. B. bei Trocknern Wärmerückgewinnungsanlagen oder/und alternativ auch zusätzlich Kraftwärmekopplungsanlagen installiert werden.

Die Unterschiede dieser verschiedenen Maßnahmen im Hinblick auf die Reduktion von Treibhausgasen sind sehr groß und den Entscheidungsträgern oft nicht bewußt. Dies soll an dem folgenden Beispiel gezeigt werden:

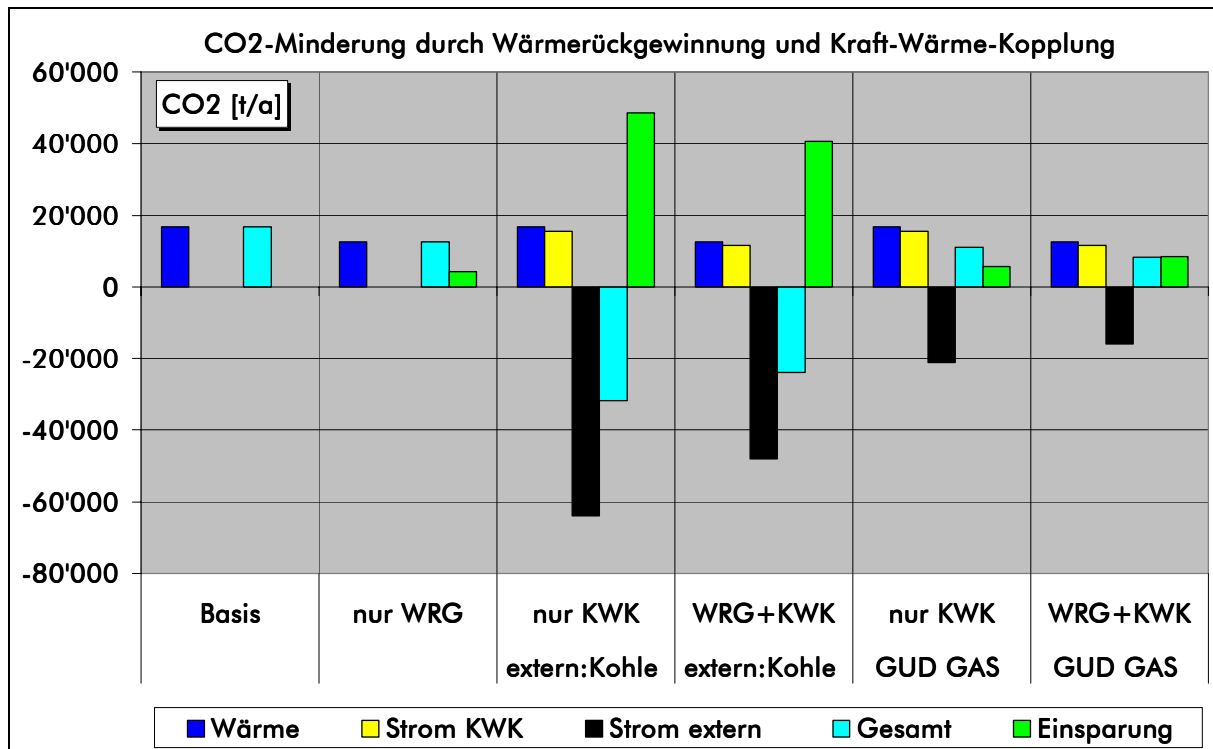
### **2.4.1.1 Beispiel: Vergleich Wärmerückgewinnung oder Kraft-Wärme-Kopplung**

Für eine industrielle Trockneranlage wird in einem Systemvergleich gegenübergestellt:

- eine Wärmerückgewinnungsanlage (WRG)
- eine Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlage (KWK)
- eine Kombination aus WRG und KWK

Die Emissionsminderungen dieser Maßnahmen werden in zwei unterschiedlichen Kraftwerksszenarien untersucht.

Das Ergebnis zeigen Bild 2.6 und als Zusammenfassung Bild 2.6:



**Bild 2.5 Senkung der jährlichen CO<sub>2</sub>-Emissionen einer großen Trockneranlage mit 10 MW Wärmebedarf und 8000 Betriebsstunden per anno:**  
 Im deutschen Kraftwerkspark sind die Einsparungen durch KWK ohne WRG etwa 12 mal höher als durch Wärmerückgewinnung um 25 %, in einem zukünftigen Kraftwerkspark mit gasgefeuerten GuD-Anlagen mit WRG und KWK etwa doppelt so hoch.  
 Eine Darstellung focussiert auf die Einsparungen findet sich in Bild 2.6

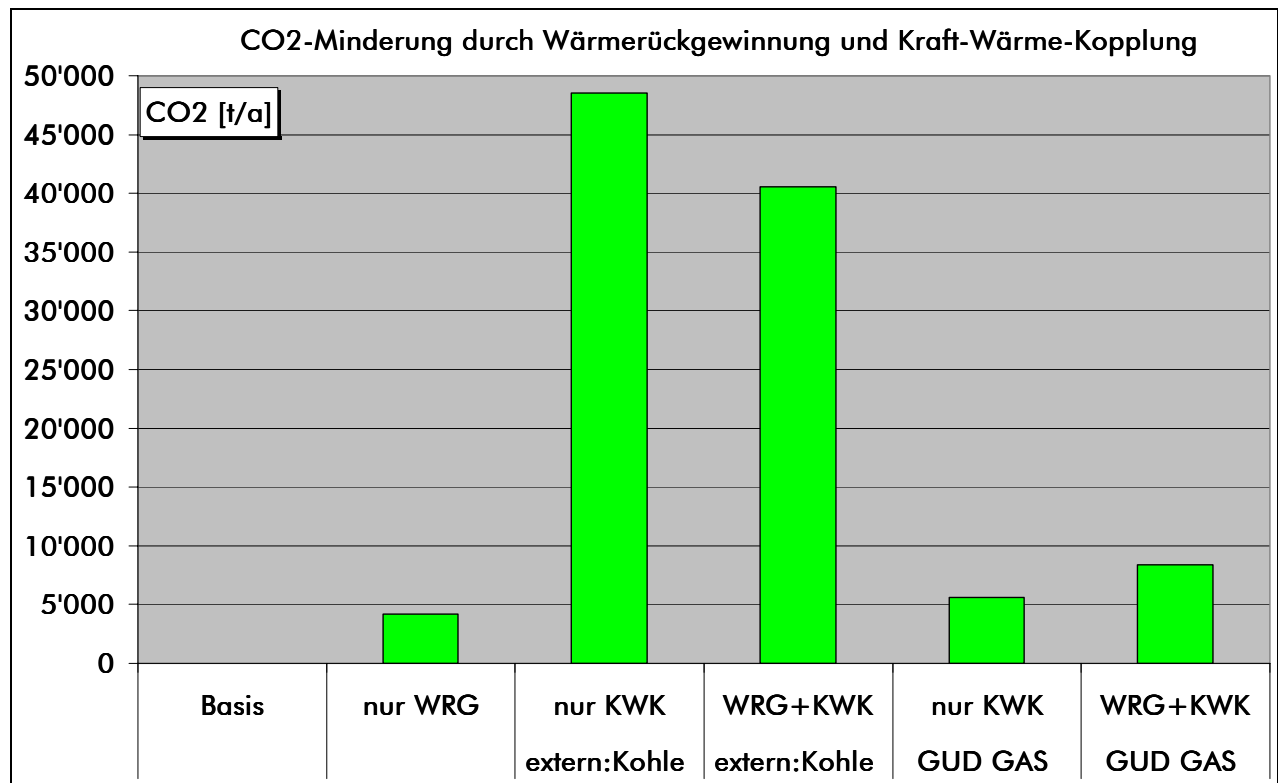
Die Ergebnisse im Einzelnen:

1. Durch Wärmerückgewinnung lassen sich die CO<sub>2</sub>-Emissionen des 10 MW Trockners von etwa 16'000 t/a auf 12'000 t/a um 4000 t/a reduzieren.
2. Wird statt der Wärmerückgewinnungsanlage eine KWK Anlage auf GuD Basis installiert, so könnte damit etwa 8 MW elektrische Leistung erzeugt werden. Dies würde vor Ort zu einer zusätzlichen Emission von etwa 16'000 t/a CO<sub>2</sub> führen, und damit die lokalen Emissionen etwa verdoppeln.
3. In einem externen, mit Steinkohle gefeuertem Mittellastkraftwerk können aber dadurch 64'000 t/a CO<sub>2</sub> eingespart werden, bei Ersatz eines älteren Braunkohlekraftwerkes entsprechend mehr. Durch Inbetriebnahme dieser KWK-Anlage werden daher etwa 32'000 t/a CO<sub>2</sub> eingespart. Gegenüber dem Basisfall lassen sich daher 48'000 t/a CO<sub>2</sub> einsparen. Durch Einsatz der **Kraft-Wärme-Kopplung** wird also die **12-fache Menge an CO<sub>2</sub> eingespart**, was nur durch Wärmerückgewinnung erreicht werden kann!
4. Aufgrund des sehr großen Unterschiedes in den spezifischen CO<sub>2</sub> Emissionen wird hier sogar der Einsatz der Wärmerückgewinnungsanlage aufgrund des Rückgangs der Stromerzeugung in der KWK Anlage die gesamte Reduktionsmenge auf den 10-fachen Wert der Wärmerückgewinnung verringern: Das heißt, bei Versorgung des Trockners aus einer KWK-Anlage wirkt im aktuellen Kraftwerkspark der Einsatz einer Wärmerückgewinnungsanlage in bezug auf die Minderung von CO<sub>2</sub>-Emissionen kontraproduktiv.

5. Selbst in einem auf Gas-GuD-Anlagen basierenden Kraftwerkspark würde schon die KWK-Lösung ohne Wärmerückgewinnung aufgrund des hohen elektrischen Wirkungsgrades zu höheren Einsparungen führen als die reine Wärmerückgewinnung. Hier wird dann auch die Kombination aus Wärmerückgewinnung und Kraftwärmekopplung sinnvoll: die Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emission verdoppelt sich durch die Kombination von Wärmerückgewinnung und KWK.

Der Bau einer KWK-Anlage ist also auch im Hinblick auf die längerfristige Planung richtig.

Neben dem Einsatz von Erdgas als kohlenstoffarmem Brennstoff ist dieses Ergebnis darauf zurückzuführen, daß durch den Einsatz der Kraft-Wärme-Kopplung mit hoher Stromkennzahl die großen Verluste an Arbeitsfähigkeit - die sonst im Heizkessel aufgetreten wären - weitgehend vermieden werden.



**Bild 2.6 Darstellung des Ergebnisses aus Bild 2.5**

**Senkung der jährlichen CO<sub>2</sub>-Emissionen einer großen Trockneranlage mit 10 MW Wärmebedarf und 8000 Betriebsstunden per anno:**

**Im deutschen Kraftwerkspark sind die Einsparungen durch KWK ohne WRG etwa 12 mal höher als durch Wärmerückgewinnung um 25 %, in einem zukünftigen Kraftwerkspark mit gasgefeuerten GuD-Anlagen mit WRG und KWK etwa doppelt so hoch.**

#### 2.4.1.2 Notwendige Konsequenzen

Dieses Beispiel zeigt sehr nachdrücklich, wie wichtig die richtige Auswahl der Maßnahmen zur Minderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen ist. Eine einseitige Prüfung nur der Energiebilanzen führt im Hinblick auf eine Maximierung der CO<sub>2</sub>-Reduktionen definitiv zu falschen Ergebnissen. Erst eine Analyse, die auch die Verluste an Arbeitsfähigkeit umfaßt und damit den Einsatz der Kraft-Wärme-Kopplung oder Kraft Wärme Kälte Kopplung beinhaltet, erbringt ein im Hinblick auf die Ressourcenschonung und den Einsatz der dafür notwendigen finanziellen Mittel befriedigendes Ergebnis.

### **3 Einführung eines Handelsmodells für KWK-Zertifikate**

Im Rahmen ihres Klimaschutzprogramms hat die Bundesregierung die Einführung handelbarer KWK-Zertifikate beschlossen. Damit verbunden ist die Verpflichtung zum Kauf von KWK-Zertifikaten entsprechend dem aktuellen Mindestanteil am Gesamtstromaufkommen.

Dies stellt ein marktwirtschaftlich orientiertes Handelsmodell dar und entspricht ähnlichen, bereits in anderen Bereichen etablierten Verfahren: Der Staat setzt im öffentlichen Interesse Auflagen fest. Für die Erfüllung der Auflagen besteht ein Markt.

Beispiele: Vor der Zulassung eines Kraftfahrzeuges muß eine Haftpflichtversicherung abgeschlossen werden, Kraftfahrzeuge müssen mit einem Katalysator ausgerüstet sein.

#### **3.1 Unabhängige Handelsprodukte: Strom und Zertifikate**

Der Handel der KWK-Zertifikate erfolgt unabhängig und zeitlich entkoppelt vom Produkt Strom. Geeignete Handelsinstrumente aus dem Börsenbereich wurden bereits vorgestellt und sollten kurzfristig nach entsprechender Anpassung zur Verfügung stehen.

##### **3.1.1 Emissionshandel**

Das Verfahren ist durchaus vergleichbar mit anderen Arten des Emissionshandels. Der Emissionshandel spielt bei den UN-Klimaverhandlungen eine bedeutende Rolle und wird auch von verschiedenen Wirtschaftsverbänden als effektives Instrument bewertet.

### 3.2 Zertifizierung über den KWK-Wirkungsgrad als Qualitätskriterium

Als Qualitätskriterium für die Zertifizierung von KWK-Strom wird der KWK-Wirkungsgrad vorgeschlagen. Er stellt das Verhältnis von erzeugtem KWK-Strom und dem dafür benötigten, zusätzlichen Brennstoff dar. Damit ist er mit jedem anderen Kraftwerkswirkungsgrad direkt vergleichbar. Auch die spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen lassen sich so einfach und sauber darstellen. (s.a. Kap. 2.1 und 4.1)

Die Zertifizierung von KWK-Strom über den KWK-Wirkungsgrad ist grundsätzlich möglich über die Nutzung

- des KWK-Wirkungsgrades oder
- der damit berechneten spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen.

Eine Abwägung der aktuellen, sehr komplexen und durch viele Interessen geprägten Entscheidungslage legt die Empfehlung nahe, den KWK-Wirkungsgrad selbst als Bewertungskriterien zu wählen. Es ist außerdem zu erwarten, daß so in einer vertretbaren Zeitspanne ein Konsens gefunden werden kann.

#### 3.2.1 Neuanlagen

Ein Mindestwert von  $\eta_{\text{KWK}} \geq 60\%$  für neue Anlagen stellt sicher, daß die spezifischen Emissionen niedriger sind als die der besten, neuen GuD-Kraftwerke.

#### 3.2.2 Bestehende Anlagen

Für bestehende Anlagen sollen für einen begrenzten Zeitraum niedrigere Mindestwerte gelten: z.B. zunächst  $\eta_{\text{KWK}} \geq 40\%$  für fünf Jahre,  $\eta_{\text{KWK}} \geq 50\%$  für zehn Jahre.

Diese Übergangsregelung ist unter dem übergeordneten Ziel der Minderung von CO<sub>2</sub>-Emissionen sinnvoll: Diese älteren KWK-Anlagen erzeugen Strom, der deutlich niedrigere spezifische Emissionen als die älteren mit Braunkohle und Steinkohle gefeuerten Kraftwerke aus dem aktuellen Kraftwerkspark aufweisen.

#### 3.2.3 Vergleich zu anderen Bewertungskriterien

Gegenüber dem Gesamtnutzungsgrad oder dem Zero-Stromansatz weist der KWK-Wirkungsgrad mehrere Vorzüge auf:

- immer niedrigere Emissionen als bei neuen Groß-GuD-Kraftwerken
- hohe Transparenz auch gegenüber anderen Kraftwerken
- einfach zu erklären: Strom im Verhältnis zum Brennstoff(mehr)bedarf
- flexiblere und größere Anlagen
- dadurch niedrigere Gesamtkosten für die Volkswirtschaft
- realistische Betrachtung: auch KWK-Strom hat endliche, wenn auch niedrige spezifische Emissionen
- Berechnung des Brennstoffanteils in den Stromgestehungskosten (s. Anhang 4.1.6)
- Vereinfachung des notwendigen Strukturwandels in der Stromerzeugung

Die Handhabung ist einfach. Der KWK-Wirkungsgrad wird aus denselben Größen wie der Gesamtnutzungsgrad berechnet.

### 3.2.4 Anreiz: Attraktive Anlagen mit hohem CO<sub>2</sub>-Minderungspotential

Die Bewertung des KWK-Stromes über den KWK-Wirkungsgrad übt einen großen Anreiz für den Bau von sehr attraktiven Anlagen im mittleren und höheren Leistungsbereich aus:

GuD-Anlagen mit Dampfturbinen im Entnahme-Kondensations-Betrieb erreichen im Mischbetrieb hohe Stromkennzahlen. Damit erzielen sie auch bei Gesamtnutzungsgraden, die etwas unter 70% liegen, KWK Wirkungsgrade von über 60 Prozent. Die spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen aus diesen Anlagen sind daher günstiger als aus neuen, großen GuD-Kraftwerken im reinen Kondensationsbetrieb.

Ein solches Kraftwerk erreicht z. B. bei einer Wärmeauskopplung von 23.0 MW eine Nettostromausbeute von 56.4 MW. Die Stromkennzahl beträgt also 2.46. Bei einem Gesamtnutzungsgrad von 68.6% ergibt sich ein KWK-Wirkungsgrad von 62.4%. Dies ist deutlich günstiger als der Kraftwerkswirkungsgrad eines neuen GuD-Kraftwerkes mit z. B. 57,5 %.

(Tabelle 3.1: Fall A1)

Selbst bei einem Nutzwärmebedarf von nur noch 18.4 MW (z.B. minimaler Wärmebedarf im Sommer) erreicht dieses Kraftwerk noch einen KWK-Wirkungsgrad von 60.0%. Obwohl der Gesamtnutzungsgrad dabei nur noch 65.4% beträgt, sind die spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen immer noch günstiger als bei einem neuen GuD-Kraftwerk.

(Tabelle 3.1: Fall A0)

#### 3.2.4.1 Angemessene Bewertung durch den KWK-Wirkungsgrad

Da der gesamte Strom der in Tabelle 3.1 vorgestellten Beispiele das Kriterium des KWK-Wirkungsgrades erfüllt, wird er auch in voller Höhe KWK-Zertifikate erhalten.

Würde dagegen nach der bisherigen Definition des Gesamtnutzungsgrades bewertet, so würden Fall A0 und Fall A1 nur 33.0% bzw. 41.9% der KWK-Zertifikate erhalten. Damit würde dieses KWK-Kraftwerk, dessen spezifische CO<sub>2</sub>-Emissionen niedriger sind als die eines neuen, großen GuD-Kraftwerkes, trotz des enorm großen CO<sub>2</sub>-Minderungspotentials völlig unzureichend bewertet.

#### 3.2.4.2 Hohe Stromkennzahl, hohe CO<sub>2</sub>-Reduktionen

Aufgrund der sehr hohen Stromkennzahl beträgt zudem die absolute Minderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen ein Vielfaches gegenüber kleineren KWK-Anlagen mit z. B. Zusatzfeuerung.

Auch dies ist sehr gut in Tabelle 3.1 (gelb unterlegte Felder) zu sehen. Während die absoluten CO<sub>2</sub>-Emissionen nahezu konstant sind, nehmen die spezifischen, auf die Nutzwärme bezogenen CO<sub>2</sub>-Emissionen mit steigender Stromkennzahl stark zu.

Dieser Effekt wurde auch schon in 2.2 beim Vergleich verschiedener KWK Systeme herausgearbeitet und durch die dort vorgestellten Grafiken veranschaulicht. Aufgrund der enormen Steigerung der Stromkennzahlen ist die Wirkung hier jedoch noch viel größer.

### 3.2.5 Neue Technologien: Brennstoffzellen

Auch für Brennstoffzellen mit ihren potentiell höheren Stromkennzahlen würde der KWK-Wirkungsgrad deutlich bessere Rahmenbedingungen schaffen als der Gesamtnutzungsgrad.

**Tabelle 3.1 Zertifizierung nach dem KWK-Wirkungsgrad**  
**Großer Anreiz für hocheffiziente Stromerzeugung**  
**Sehr hohe CO<sub>2</sub>-Minderung bezogen auf das Wärmepotential möglich**

	GuD-Block in Entnahme-Kondensations-Schaltung		
	Fall A0	Fall A1	Fall A2
	Minimale Nutzwärme		Maximale Nutzwärme ohne Zusatz- feuerung
Dampfleistung (Nutzwärme)	24.0 t/h	30.0 t/h	65.0 t/h
Gasturbinenleistung	42.3 MW	42.3 MW	42.3 MW
Brennstoffbedarf	115.7 MW	115.7 MW	115.7 MW
Nutzwärme	18.4 MW	23.0 MW	49.7 MW
elektrische Leistung netto = Zertifikatsleistung gemäß Modell KWK-Wirkungsgrad	57.4 MW	56.4 MW	51.2 MW
Zertifikatsleistung gemäß §4 Abs. 2 akt. Entwurf Gesamtnutzungsgrad	18.9 MW	23.6 MW	51.2 MW
Einnahmen KWK-Zertifikate Modell KWK-Wirkungsgrad	5'737 TDM/a	5'645 TDM/a	5'122 TDM/a
Einnahmen KWK-Zertifikate Modell Gesamtnutzungsgrad	1'891 TDM/a	2'364 TDM/a	5'122 TDM/a
Minderung CO <sub>2</sub> -Emissionen absolut	153'044 t/a	153'391 t/a	156'044 t/a
Minderung CO <sub>2</sub> -Emissionen bezogen auf Nutzwärme	2.170 t/MWh	1.742 t/MWh	0.794 t/MWh
Stromkennzahl	3.12	2.46	Ref. = 1.03
KWK-Wirkungsgrad	60.0%	62.4%	83.9%
Gesamt-Nutzungsgrad	65.4%	68.6%	87.2%
<b>Berechnungsdaten</b>			
Wirkungsgrad Ersatzkessel	91.0%		
KWK-Zertifikatspreis	2.5 Pfg/kWh		
Betriebsstunden	4000 h/a		
elektrischer Wirkungsgrad	49.6%	48.8%	44.3%



### 3.2.6 Ausschluß: KWK-Zertifikate nur für hochwertigen KWK-Strom

Gleichzeitig stellt der KWK-Wirkungsgrad sicher, daß nur der KWK-Strom zertifiziert wird, der niedrigere spezifische Emissionen als neue groß GuD-Kraftwerken aufweist.

So stehen zu Zeit Micro Gasturbinen Micro-Gasturbinen vor der Markteinführung. Mit einem entsprechend ausgelegten Abgas-Wärmeaustauscher-System können aus sie hohe KWK-Wirkungsgrade erreichen und damit einen wünschenswerten Beitrag zur CO<sub>2</sub>-Minderung leisten.

Werden die Systeme jedoch auf niedrige Investitionskosten hin optimiert, kann leicht nur ein geringer Anteil des Abgases zur Wärmerückgewinnung genutzt werden. Dies gilt im besonderen für die niedrigen Abgastemperaturen von Rekuperator-Gasturbinen.

So werden in der Fachpresse Rekuperator-Gasturbinen-Anlagen gelobt, die bei einem elektrischen Wirkungsgrad von 25% einen Gesamtnutzungsgrad von 70% erreichen. Dies ergibt einen KWK Wirkungsgrad von weniger als 50%.

Aber auch bei einfachen Gasturbinen Schaltungen kann die Zertifizierung über den KWK-Wirkungsgrad gegenüber dem Gesamtnutzungsgrad eine Anreizwirkung für ökologisch weniger optimierte Anlagen sicher verhindern. Tabelle 3.2 zeigt zwei Beispiele.

Strom aus solchen und ähnlichen neuen KWK-Anlagen weist höhere spezifische Emissionen als aus neuen, großen GuD-Kraftwerken auf. Er sollte daher nicht zertifiziert werden, da dies eine falsche Allokation der für den Zertifikateserwerb notwendigen Mittel darstellt.

**Tabelle 3.2** Diese Beispiele haben höhere spezifische Emissionen als neue Groß-GuD. Sie werden als Neuanlagen nicht über den KWK-Wirkungsgrad zertifiziert, obwohl sie das Kriterium des Gesamtnutzungsgrades erfüllen:

Dampfleistung (Nutzwärme)	19.6 t/h	2.8 t/h
Gasturbinenleistung	13.2 MW	1.1 MW
Brennstoffbedarf	39.9 MW	4.7 MW
Nutzwärme	15.0 MW	2.2 MW
elektrische Leistung netto	13.0 MW	1.1 MW
Zertifikatsleistung gemäß §4 Abs. 2 akt. Entwurf		
Gesamtnutzungsgrad	13.0 MW	1.1 MW
Einnahmen KWK-Zertifikate Modell KWK-Wirkungsgrad	0 TDM/a	0 TDM/a
Einnahmen KWK-Zertifikate Modell Gesamtnutzungsgrad	1'302 TDM/a	112 TDM/a
Minderung CO <sub>2</sub> -Emissionen	33'289 t/a	2'627 t/a
Stromkennzahl	0.87	0.51
KWK-Wirkungsgrad	55.5%	48.3%
Gesamt-Nutzungsgrad	70.1%	70.0%
Berechnungsdaten		
Wirkungsgrad Ersatzkessel	91.0%	
KWK-Zertifikatspreis	2.5 Pfg/kWh	
Betriebsstunden	4000 h/a	
elektrischer Wirkungsgrad	32.6%	23.8%

### 3.2.7 Sonstige Maßnahmen

#### 3.2.7.1 Steuerbefreiung Brennstoff KWK nur entsprechend KWK-Stromerzeugung

Eine Privilegierung der Kraft-Wärme-Kopplung aufgrund der ökologischen Vorteilhaftigkeit sollte immer nur auf die tatsächlich erzeugte KWK-Strommenge, das heißt konkret auf die jeweilige Kilowattstunde, bezogen werden.

So läßt sich der für die KWK-Stromerzeugung notwendige Brennstoffbedarf sehr einfach über Gleichung (4.1) aus dem erzeugten KWK-Strom und dem KWK-Wirkungsgrad berechnen:

$$\dot{B}_{\text{KWK-Strom}} = \frac{\dot{P}_{\text{elKWK}}}{\eta_{\text{KWK}}} \quad (3.1)$$

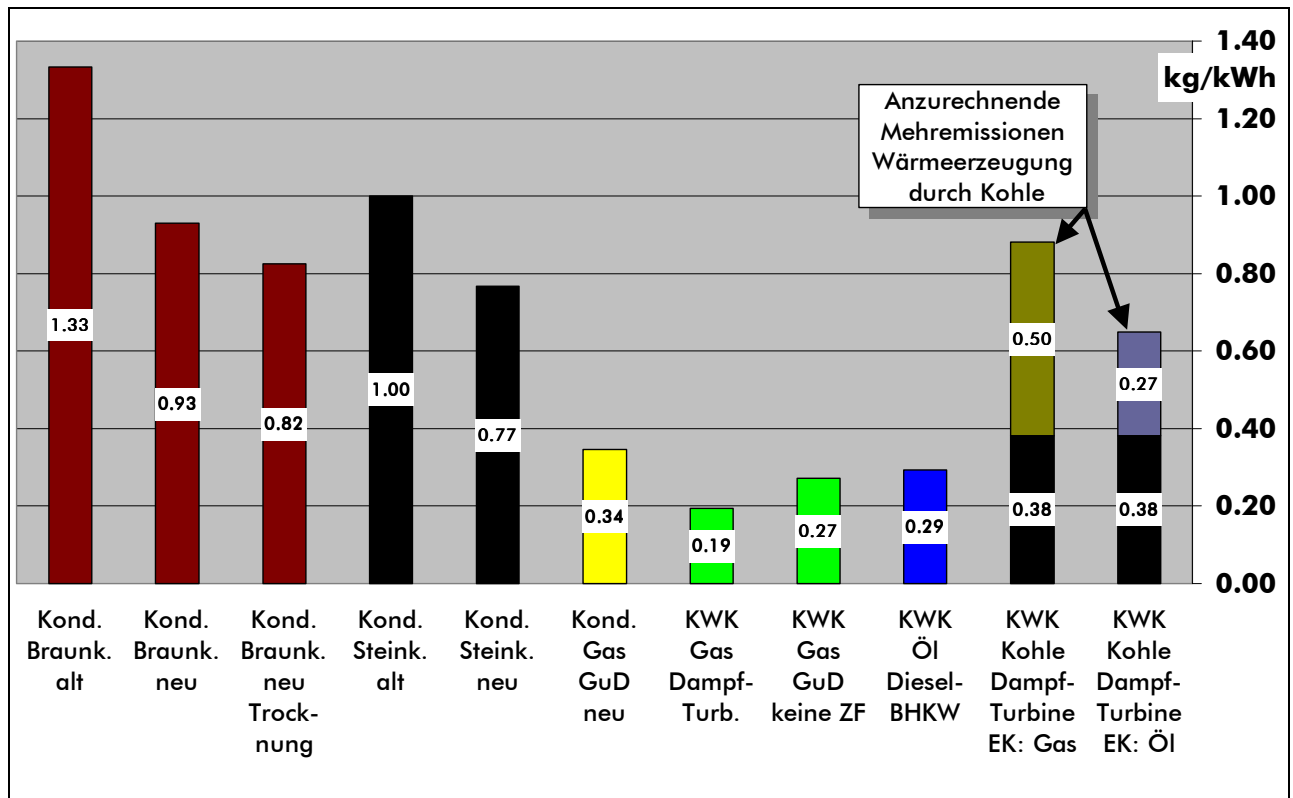
Dies ist die genau der Brennstoff, der für die Erzeugung des Stroms in der Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlage benötigt wird. Nur dieser Brennstoff sollte im Rahmen der Ökosteuer-gesetzgebung von der Mineralölsteuer befreit werden.

So findet eine deutlich bessere Allokation der eingesetzten Finanzmittel statt: die Dampfturbinenanlagen, die in der Regel immer die aktuell geforderte 70%-Hürde des Gesamtnutzungsgrades erfüllen, jedoch unter Umständen nur eine sehr geringe Stromkennzahl aufweisen, erhalten so nicht mehr die völlige Befreiung von der Brennstoffsteuer.

Statt dessen besteht z. B. über eine Quote, die ja direkt die erzeugte Kilowattstunde bewertet, der Anreiz, die Anlagen mit möglichst hoher Stromkennzahl und damit einer deutlich höheren Stromausbeute, auszulegen.

### 3.3 KWK mit Kohle als Brennstoff

Will man die ökologische Vorteilhaftigkeit der auf dem Brennstoff Kohle basierenden-Kraft-Wärme-Kopplung analysieren, so ergeben sich bei der Berechnung des KWK-Wirkungsgrades zunächst keine Unterschiede. Bei der Berechnung der spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen ist dagegen zu berücksichtigen, daß neben der Stromerzeugung auch die Wärmebereitstellung mit den höheren spezifischen Emissionen des Brennstoffs Kohle erfolgt. Gegenüber der ungekoppelten Wärmebereitstellung auf Gas- oder Ölbasis resultiert also eine deutliche Mehremission im Wärmebereich. Dies muß bei der Ermittlung der spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen berücksichtigt werden. (s. Bild 3.1)



**Bild 3.1 Spezifische CO<sub>2</sub>-Emissionen der Kraft-Wärme-Kopplung auf Kohle-Basis im Vergleich zu konventionellen Kraftwerken und Kraft-Wärme-Kopplung auf Gas- und Öl-Basis**

Der entsprechende Formelsatz und eine Parameteranalyse findet sich in Kap.4.1.6 und Bild 4.1.

### 3.4 Kohleverstromung mit minimalen Gesamtemissionen

An Standorten, an denen kein Erdgas zur Verfügung steht und daher Erdöl für die Wärmebereitstellung eingesetzt wird, führt der Einsatz von Steinkohle in effektiven KWK-Anlagen zu niedrigeren Emissionen als bei der Stromerzeugung in den modernsten und effektivsten Kohle-Kraftwerken ohne Kraft-Wärme-Kopplung.

Steht dagegen Erdgas zur Verfügung, so wird die Kohle in effektiven, neuen Kondensations-Kraftwerken günstiger verstromt. Wichtig ist auch der Wirkungsgrad und Anteil des vorhandenen Kondensationsteiles der KWK: In ungünstigen Fällen kann sonst die gesamte durchschnittliche spezifische CO<sub>2</sub>-Emission der Entnahme-Kondensations-KWK-Anlage höher liegen als bei einem älteren Steinkohle-Kond-Kraftwerk.

Für den vorhandenen Kraftwerkspark gilt: effektive kohlebasierte KWK-Anlagen haben niedrigere spezifische Emissionen als ältere Kohlekraftwerke auf Kondensationsbasis.

### 3.5 Empfehlungen für die Gestaltung des Zertifikathandelsmodells

Für die Konkretisierung erscheinen folgende Ansätze optimal:

- Feststellung des Anfangsbestandes durch ein Anmeldeverfahren innerhalb des ohnehin zu implementierenden Handelssystems
- dabei Festlegung der zu erwartenden, maximalen Zertifikatsmenge pro Anlage
- eindeutige Identifizierung jedes Zertifikates incl. Anlagennummer, Erzeugungsdatum und Menge
- Preisverhandlungen bilateral oder über Börsensystem, Abgabe der Zertifikate nur über einen zentralen Server
- Jährliche Steigerungsrate der Quote um einen festen Betrag (z.B. 2 %)
- Monatliche Budgetierung für Verbraucher und Erzeuger
- Verpflichtung zum Zertifikatskauf innerhalb von einem Jahr nach Verbrauchsmonat (ohne Aufschlag)
- Im folgenden und den darauffolgenden Jahren jeweils 10 % Aufschlag auf die erforderliche Zertifikatsmenge
- Nach 1 Jahr geeignete Absicherung z.B. durch Bankbürgschaft obligatorisch (Basis Preis Pönale)
- Spätester Termin zur Kaufverpflichtung 5 Jahre nach Bezugsmonat
- Sonst Zahlung einer Pönale von 0,03 €/kWh KWK-Zertifikat (wirkt auch als Preisbegrenzung nach oben)

Unter diesen Randbedingungen ist nicht mit allzu großen Sprüngen in den Zertifikatspreisen zu rechnen. Saisonale Unterschiede in Angebot und Nachfrage können ausgeglichen werden. Die Handelbarkeit der Zertifikate erlaubt z.B. die Bildung von Futures. So lassen sich Preisabsicherungen für Verkäufer und Käufer durchführen. Der ausreichend lange Zeitraum zur Erfüllung der Zertifikatsverpflichtung gewährt genügend Planungshorizont für neue Anlagen.

Der Versuch einer Regelung der Zertifikatspreise durch Veränderung des jeweiligen Mindest-KWK-Anteils, um unerwünschte Preissprünge der Zertifikate zu vermeiden, widerspricht dem Grundgedanken des freien Marktes und sollte unterlassen werden.

### 3.6 Höhe des genutzten Potentials

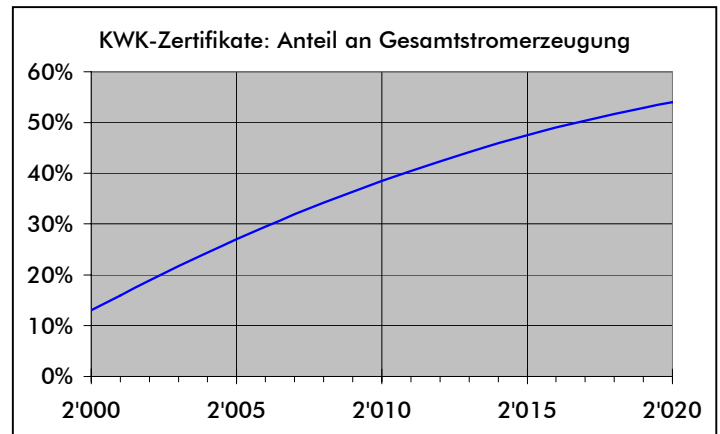
Das KWK-Potential in Deutschland ist sehr groß: auch ohne signifikanten Netzausbau könnte in 20 Jahren die Hälfte des gesamten Stromes in Kraft-Wärme-Kopplung erzeugt werden. So ließen sich allein im Bereich der Stromerzeugung die CO<sub>2</sub>-Emissionen um die Hälfte reduzieren. (s.a. Kap. 4.3)

Das zusätzliche KWK-Potential läßt sich am Anfang deutlich günstiger erschließen als später bei einem bereits höheren Ausbaugrad. Vor dem Hintergrund der mittelfristig notwendigen, erheblichen Reduktionsmaßnahmen sollte die KWK-Steigerungsrate daher am Anfang deutlich höher gewählt und dann in der weiteren Entwicklung degressiv abgesenkt werden.

Bei einer anfänglichen Steigerungsrate einer KWK-Quote von 3,0 % und einer jährlichen Degression von 0,1 % wäre nach etwa 10 Jahren der heutige Stand der Niederlande erreicht und in 20 Jahren würde etwa die Hälfte des Stroms in KWK erzeugt.

Das Beispiel Niederlande zeigt, daß ein solches Ziel durchaus realistisch ist und mit angemessenen Rahmenbedingungen auch erreicht werden kann: Auch die Niederländer haben in etwa einem Jahrzehnt knapp 30% Kapazität ihrer gesamten Stromerzeugung auf KWK umgestellt.

Demgegenüber nehmen sich die 12 bis 14 % Steigerung, die sich bei der geplanten Verdoppelung in zehn Jahren ergeben, bescheiden aus.



Demgegenüber nehmen sich die 12 bis 14 % Steigerung, die sich bei der geplanten Verdoppelung in zehn Jahren ergeben, bescheiden aus.

### 3.7 Preisdifferenzierung

Einheitliche, von den Jahresbenutzungsstunden und der Größe abhängige Korrekturfaktoren erlauben bei gleichem Umsatz an Zertifikaten die Erschließung eines deutlich größeren KWK-Potentials. Eine Differenzierung sollte daher grundsätzlich vorgesehen werden, selbst wenn sie nicht sofort realisiert wird.

### 3.8 Vergleich zu anderen Instrumenten

Unter den verschiedenen Instrumenten zum Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung stellt der Typ des Mindest-KWK-Anteils mit handelbaren KWK-Zertifikaten ein marktwirtschaftlich ausgerichtetes Modell dar. Es verspricht den höchsten Konsens im politisch/wirtschaftlichen Entscheidungsprozeß.

In der Effizienz ist es nur durch eine einheitliche CO<sub>2</sub>-Quellenabgabe auf alle Brennstoffe zu überbieten. Dafür wäre ein Konsens auf internationaler Ebene wünschenswert.

## 4 Anhang

### 4.1 Der KWK-Wirkungsgrad

Der KWK-Wirkungsgrad ist hervorragend geeignet, die Vorteilhaftigkeit der Kraft-Wärme-Kopplung aufzuzeigen. Zusammen mit der Stromkennzahl lassen sich mit ihm die großen CO<sub>2</sub>-Reduktionspotentiale ableiten. Andererseits kann er ebenso als Qualitätskriterium für die Bewertung der Kraft-Wärme-Kopplung dienen.

#### 4.1.1 Definition des KWK-Wirkungsgrades

Der KWK-Wirkungsgrad  $\eta_{\text{KWK}}$  ist wie jeder andere Kraftwerkswirkungsgrad definiert als das Verhältnis von zusätzlich erzeugtem KWK-Strom und dem dazu notwendigen, zusätzlichen Brennstoffbedarf:

$$\eta_{\text{KWK}} = \frac{\dot{P}_{\text{el KWK}}}{\dot{B}_{\text{KWK-Strom}}} \quad (4.1)$$

#### 4.1.2 Definition KWK-Strom

Strom aus KWK ist Strom, der in Anlagen der KWK mit einem KWK-Wirkungsgrad von mindestens 60 %

$$\eta_{\text{KWK}} \geq 60\%$$

erzeugt wird. Der Nutzungsgrad des Ersatzkessels  $\eta_{\text{EK}}$  wird festgelegt zu:

$$\eta_{\text{EK}} = 91 \%. \quad (\text{künftige BlmSch})$$

Für Altanlagen besteht eine Übergangsregelung. (s. Kap. 3.2.2)

#### 4.1.3 Berechnung des KWK-Wirkungsgrades aus gegebenen Größen

Der KWK-Wirkungsgrad berechnet sich zu:

$$\eta_{\text{KWK}} = \frac{\dot{P}_{\text{el KWK}}}{\dot{B}_{\text{KWK}} - \frac{\dot{Q}_{\text{Nutz}}}{\eta_{\text{EK}}}} \quad (4.2)$$

Dabei sind

$\dot{Q}_{\text{Nutz}}$	die abgegebene Nutzwärme in [kW]
$P_{\text{el}}$	die elektrische Leistung in [kW]
$\dot{B}_{\text{KWK}}$	der Brennstoffbedarf der KWK-Anlage in [kW], bei Gas als angegeben als (unterer) Heizwert $H_u$
$\eta_{\text{EK}}$	der Nutzungsgrad des Ersatzkessels

Dies sind dieselben Größen, die auch für die Berechnung des in vielen Fällen unspezifischen Gesamtnutzungsgrades genutzt werden.

#### 4.1.4 Alternative Berechnung aus dimensionslosen Kenngrößen

Der KWK-Wirkungsgrad  $\eta_{\text{KWK}}$  läßt sich einfach aus vorhandenen Größen ableiten:

Der thermische Wirkungsgrad des Ersatzkessels (EK) bestimmt sich aus Brennstoffbedarf und abgegebenem Nutzwärmestrom zu:

$$\eta_{\text{EK}} = \frac{\dot{Q}_{\text{Nutz}}}{\dot{B}_{\text{EK}}} \quad (4.3)$$

Der Gesamtnutzungsgrad der KWK-Anlage berechnet sich aus abgegebener Nutzwärme und elektrischer Leistung sowie Brennstoffbedarf der KWK-Anlage:

$$\eta_{\text{ges}} = \frac{\dot{Q}_{\text{Nutz}} + P_{\text{el}}}{\dot{B}_{\text{KWK}}} \quad (4.4)$$

Der elektrische Wirkungsgrad der KWK-Anlage ist das Verhältnis von elektrischer Leistung und Brennstoffleistung.

$$\eta_{\text{el}} = \frac{P_{\text{el}}}{\dot{B}_{\text{KWK}}} \quad (4.5)$$

Aus (4.3), (4.4) und (4.5) läßt sich der KWK-Wirkungsgrad ableiten zu:

$$\eta_{\text{KWK}} = \frac{\eta_{\text{el}}}{1 - \frac{\eta_{\text{ges}} - \eta_{\text{el}}}{\eta_{\text{EK}}}} \quad (4.6)$$

##### 4.1.4.1 Ableitung nach der Stromkennzahl

Die Stromkennzahl ist das Verhältnis aus elektrischer Leistung und Nutzwärme:

$$S = \frac{P_{\text{el}}}{\dot{Q}_{\text{Nutz}}} \quad (4.7)$$

Ist die Stromkennzahl bekannt, so kann der oben in (4.6) verwendete elektrische Wirkungsgrad  $\eta_{\text{el}}$  auch aus der Stromkennzahl  $S$  und dem Gesamtnutzungsgrad  $\eta_{\text{ges}}$  der KWK-Anlage

über (4.3), (4.4), (4.5) und (4.7) abgeleitet werden:

$$\eta_{\text{el}} = \frac{\eta_{\text{ges}}}{1 + \frac{1}{S}} \quad (4.8)$$

Damit kann der KWK-Wirkungsgrad dann wieder durch direktes Einsetzen von (4.8) in (4.6) bestimmt werden.

#### 4.1.5 Spezifische und absolute CO<sub>2</sub>-Emissionen

Mit dem KWK-Wirkungsgrad kann nun - wie bei jedem anderen Kraftwerk auch - die spezifische CO<sub>2</sub>-Emission der KWK-Stromerzeugung  $y_{\text{CO}_2 \text{ KWK}}$  abhängig vom spezifischen CO<sub>2</sub> des Brennstoffes  $y_{\text{CO}_2 \text{ Brennstoff}}$  berechnet werden:

$$y_{\text{CO}_2 \text{ KWK}} = \frac{y_{\text{CO}_2 \text{ Brennstoff}}}{\eta_{\text{KWK}}} \left[ \frac{\text{kg}}{\text{kWh}} \right] \quad (4.9)$$

Mit der elektrischen Leistung  $P_{\text{el KWK}}$  und den jährlichen Benutzungsstunden  $T$  bestimmen sich die jährlichen CO<sub>2</sub>-Emissionen der Stromerzeugung in KWK bestimmen zu:

$$\dot{m}_{\text{CO}_2 \text{ KWK}} = \dot{P}_{\text{el KWK}} * y_{\text{CO}_2 \text{ KWK}} * T \left[ \frac{\text{t}}{\text{a}} \right] \quad (4.10)$$

Diese kann direkt mit der Emission verglichen werden, die sich bei alternativer Stromerzeugung in einem anderen Kraftwerk ergibt.

$$\dot{m}_{\text{CO}_2 \text{ Kraftwerk}} = \dot{P}_{\text{el KWK}} * y_{\text{CO}_2 \text{ Kraftwerk}} * T \left[ \frac{\text{t}}{\text{a}} \right] \quad (4.11)$$

#### 4.1.6 Bestimmung der brennstoffbedingten Stromgestehungskosten

Auch die brennstoffbedingten Stromgestehungskosten lassen sich über den KWK-Wirkungsgrad leicht bestimmen.

$$\text{Preis}_{\text{Brennstoffanteil KWK}} = \frac{\text{Preis}_{\text{Brennstoff}}}{\eta_{\text{KWK}}} \left[ \frac{\text{DM}}{\text{kWh}} \right] \quad (4.12)$$

Bei einem Gaspreis von z.B. 0,030 DM/kWh und einem KWK-Wirkungsgrad von  $\eta_{\text{KWK}} = 75 \%$  berechnet sich also der Brennstoffanteil im Strompreis zu 0,040 DM.

Durch Addition der spezifischen Wartungskosten, der umgelegten Kapitaldienstes und der sonstigen Kosten erhält man den jeweiligen Gesamtpreis.



#### 4.1.7 Unterschiedliche Brennstoffe für den Ersatzkessel

Werden für die Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlage und den Ersatzkessel unterschiedliche Brennstoffe eingesetzt, so kann je nach gegebenen Größen einer der nachfolgenden Formeln zur Berechnung der spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen verwendet werden:

$$y_{\text{CO}_2 \text{ KWK}} = \frac{\dot{B}_{\text{KWK}} * y_{\text{CO}_2 \text{ Brennstoff KWK}} - \frac{\dot{Q}_{\text{nutz}} * y_{\text{CO}_2 \text{ Brennstoff EK}}}{\eta_{\text{EK}}}}{\dot{P}_{\text{el KWK}}} \quad \left[ \frac{\text{kg}}{\text{kWh}} \right] \quad (4.13)$$

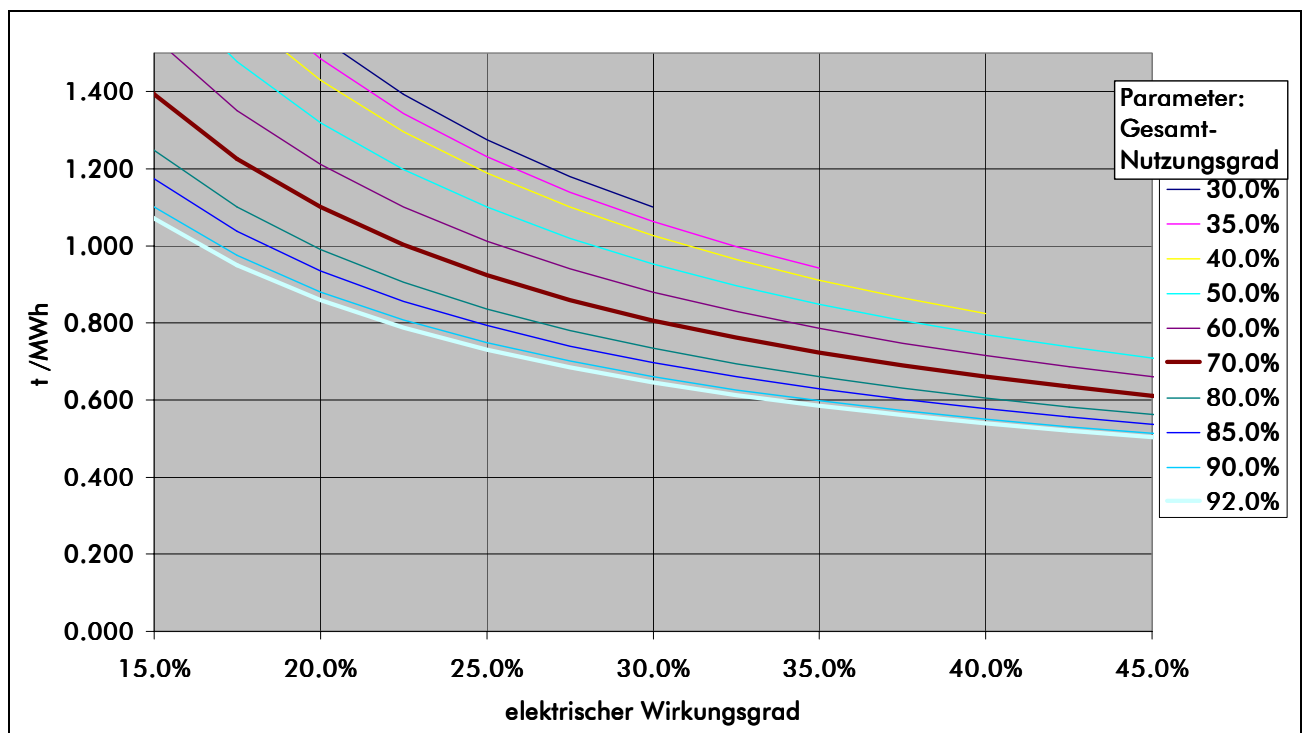
oder

$$y_{\text{CO}_2 \text{ KWK}} = \frac{y_{\text{CO}_2 \text{ Brennstoff KWK}}}{\eta_{\text{el}}} - \frac{y_{\text{CO}_2 \text{ Brennstoff EK}}}{S * \eta_{\text{EK}}} \quad \left[ \frac{\text{kg}}{\text{kWh}} \right] \quad (4.14)$$

oder

$$y_{\text{CO}_2 \text{ KWK}} = \frac{y_{\text{CO}_2 \text{ Brennstoff KWK}}}{\eta_{\text{el}}} - \frac{y_{\text{CO}_2 \text{ Brennstoff EK}}}{\eta_{\text{EK}}} * \frac{\eta_{\text{ges}} - \eta_{\text{el}}}{\eta_{\text{el}}} \quad \left[ \frac{\text{kg}}{\text{kWh}} \right] \quad (4.15)$$

Eine graphische Darstellung des Zusammenhanges zeigt die Parameteranalyse in Bild 4.1.



**Bild 4.1** Spezifische CO<sub>2</sub>-Emissionen der KWK mit dem Brennstoff Kohle in Abhängigkeit von elektrischem Wirkungsgrad und Gesamtnutzungsgrad

#### 4.1.8 Vorteile

Mit diesem Formelsatz ist eine einfache, verständliche und präzise Beschreibung eines einzelnen lokalen KWK-Szenarios möglich.

Der KWK-Wirkungsgrad kann aber auch dazu genutzt werden, die nationalen KWK-Potentiale auf anschauliche Weise und dennoch mit ausreichender Genauigkeit zu ermitteln.

Damit können sehr wirksame und zielorientierte Handlungsempfehlungen abgeleitet werden.

#### 4.2 Berechnung von KWK-Potentialen an einzelnen Anlagen

Die Abschätzung eines lokalen KWK-Potentials wird nachfolgend beispielhaft gezeigt:

Zunächst wird die in Kraft-Wärme-Kopplung erzeugbare elektrische Leistung durch Multiplikation des Wärmebedarfs mit der Stromkennzahl bestimmt.

Mit einem gegebenem Wärmebedarf von

$$\dot{Q}_{\text{Bedarf}} = 10.0 \text{ MW}$$

und einer Stromkennzahl von

$$S = 0.820$$

ergibt sich nach der Formel (4.7)

$$\dot{P}_{\text{el KWK}} = \dot{Q}_{\text{Bedarf}} * S \quad (4.16)$$

die elektrische Leistung der KWK-Anlage zu

$$\dot{P}_{\text{el KWK}} = 8.2 \text{ MW.}$$

Wie in Bild 2.2 und erst recht in Kap. 3.2.4 zu sehen ist, lassen sich leicht für die meisten Anwendungsfälle bei Auswahl geeigneter Systeme Stromkennzahlen von über 0,8 realisieren.

In der Praxis bedeutet dies, daß an sehr vielen Standorten ein Mehrfaches an KWK-Strom erzeugt werden kann als bisher.

#### 4.2.1 Bestimmung der Emissionen und Einsparungen von CO<sub>2</sub>

Die Multiplikation der elektrischen Leistung mit der zugehörigen spezifischen CO<sub>2</sub>-Emission und den zugehörigen jährlichen Benutzungsstunden ergibt die gesamte, jährliche CO<sub>2</sub>-Emission für den in Kraft-Wärme-Kopplung erzeugten Strom.

Mit der obigen Stromkennzahl, einem Gesamtnutzungsgrad von

$$\eta_{\text{ges}} = 0.800$$

einem Nutzungsgrad des Ersatzkessels von

$$\eta_{\text{EK}} = 91.0\%$$

einem spezifischen Brennstoff-CO<sub>2</sub> von

$$y_{\text{CO}_2 \text{ Erdgas}} = 0.200 \text{ kg/kWh}$$

ergibt sich eine spezifische CO<sub>2</sub>-Emission von

$$y_{\text{CO}_2 \text{ KWK}} = 0.287 \text{ kg/kWh.}$$

Mit jährlichen Benutzungsstunden von

$$T = 8300 \text{ h/a}$$

kann nun über Gleichung (4.10) die jährliche CO<sub>2</sub>-Emission für die Stromerzeugung des KWK-Stromes berechnet werden zu:

$$\dot{m}_{\text{CO}_2 \text{ KWK}} = 19\,523 \text{ t/a}$$

Diese kann direkt mit der Emission verglichen werden, die sich bei alternativer Stromerzeugung in einem anderen Kraftwerk ergibt.

Für ein aktuelles Braunkohlekraftwerk mit

$$y_{\text{CO}_2 \text{ Braunkohle-Kond.}} = 1.300 \text{ kg/kWh}$$

berechnen sich mit Gleichung (4.11) Emissionen von

$$\dot{m}_{\text{CO}_2 \text{ Kraftwerk}} = 88\,478 \text{ t/a.}$$

Die CO<sub>2</sub>-Reduktion durch diese beispielhafte Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlage beträgt damit:

$$\dot{m}_{\text{CO}_2 \text{ Reduktion}} = 68\,955 \text{ t/a.}$$

In diesem Beispiel wird der Strom in der KWK-Anlage also nur mit

22%

der CO<sub>2</sub>-Emissionen des verglichenen Braunkohlekraftwerkes produziert.

Die Reduktion beträgt

78%.

## 4.2.2 Verluste im Fernwärmesystem

Auch bei der Beurteilung des Ausbaus der Kraft-Wärme-Kopplung in vorhandenen Fernwärmesystemen kann der oben vorgestellte Formelsatz angewandt werden: meistens besteht nämlich die Alternative

a) Heizwerke oder KWK-Anlage

und nicht die Alternative

b) dezentrale Heiz-Kessel oder KWK-Anlage.

Für die Variante a) müssen die Verluste des Fernwärmesystems sowohl von der Heizkessel-Anlage als auch von der KWK-Anlage aufgebracht werden. Deswegen kann hier ein direkter Vergleich zwischen Heizkessel und KWK-Anlage erfolgen. Der Formelsatz gilt dann uneingeschränkt.

Im Fall b) müssen ggf. die zusätzlichen Verluste des Fernwärmesystems bei der Berechnung des Gesamtnutzungsgrades berücksichtigt werden.

Darüber hinaus lassen sich mit dem KWK-Wirkungsgrad auch im großen Maßstab nationale Potentiale sehr einfach bestimmen, wie das nachfolgende Kapitel zeigt.

## 4.3 Abschätzung des nationalen KWK-Potentials aus der Stromkennzahl

### 4.3.1 Vorbemerkung

Die nachfolgenden Berechnungen dienen nicht dazu, die genaue, absolute Größe des KWK-Potentials festzustellen. Vielmehr soll die Größenordnung dargestellt werden. Es soll gezeigt werden, daß mindestens die Hälfte der gesamten deutschen Stromerzeugung unter den heutigen Voraussetzungen auf KWK basieren kann.

Aus diesem Grunde sind auch nicht alle Potentiale gewürdigt worden. So ist zum Beispiel zusätzlich die KWK mit Biomasse wünschenswert und realisierbar.

Ebenso sollte die KWK mit Grubengas so intensiv wie möglich genutzt werden. Hierdurch wird die aktuelle kalte Emission von Methan verhindert. Methan hat das zwanzigfache Treibhaus-Potential wie  $\text{CO}_2$ . Allein hierdurch kann ein signifikanter Beitrag zu Minderung von Treibhausgasen realisiert werden.

#### 4.3.1.1 Vorgehensweise

Die Potentialerhöhung kann geschehen durch

- Ausbau: Erhöhung der Stromkennzahl vorhandener Anlagen und
- Zubau: Ersatz von reinen Heiz-Anlagen durch KWK-Anlagen.

### 4.3.1.2 Basisdaten

Den nachfolgenden Abschätzungen liegen die aktuellen Aussagen des VIK zur KWK-Stromerzeugung zugrunde<sup>2</sup>:

Betreiber	Anzahl Anlagen	Installierte Leistung [MW]	Stromproduktion	
			[TWh/a]	(Anteil gesamt)
Industrie und Gewerbe	1'400	9'300	38	8.5%
Öffentliche Versorgung incl. BHKW	1'140	15'100	30	6.8%
Gesamt	2'540	24'400	69	15.3%

Die Gesamtstromerzeugung beträgt nach VIK-Statistik 1997/98<sup>3</sup> in 1997  
448 TWh/a.

### 4.3.2 Industrielles Potential

#### 4.3.2.1 Basis

Mit einer jährlichen industriellen KWK-Strom-Erzeugung von  
38'000 GWh/a oder 9 GW  
und einer Gesamterzeugung von  
448 TWh/a

beträgt der Anteil der industriellen KWK an der Stromerzeugung z.Z. in Deutschland  
8.5%.

Der größte Teil dieser Leistung wird dabei auf Dampfturbinenbasis bereitgestellt. Auch bei den Gasturbinenanlagen wird meistens nur der Eigenbedarf vor Ort gedeckt, so daß auch hier die Stromkennzahl weit unter dem technisch Möglichen liegt.

---

<sup>2</sup> Kaier, VIK, 2000, Werte für Jahres-Arbeit korrigiert gemäß Abstimmungsgesprächen mit Verbänden im Mai 2000

<sup>3</sup> VIK-Statistik 1997/98

## 4.3.2.2 Annahmen

### 4.3.2.2.1 Aktuelle Stromkennzahl

Für die nachfolgenden Betrachtungen gehen wir konservativ davon aus, daß die aktuelle durchschnittliche Stromkennzahl bei

$$S = 0.300$$

liegt. Tatsächlich sind eher niedrigere Werte zu erwarten, was höhere Ausbaupotentiale bedingt.

Genauere Zahlen liegen aufgrund generell fehlender KWK-Statistiken nicht vor.

KWK-Anlagen, die auf die Rückspeisung von größeren Mengen Strom ins Netz ausgelegt sind, spielen im deutschen Kraftwerkspark nur eine untergeordnete Rolle, da der Anreiz für die Stromrückspeisung gering ist. Die wenigen, vorbildlichen Anlagen wurden nur dort gebaut, wo besonders günstige Randbedingungen vorlagen, z.B. wenn

- kommunale Unternehmen den KWK-Strom auch leistungsmäßig angemessen bewerten konnten.
- große Weiterverteiler den KWK-Strom günstiger als von ihrem Vorlieferanten beziehen konnten.
- EVU's aufgrund starker internationaler Konkurrenz durch IPP's (Independent Power Producers) keine Marktanteile verlieren wollten.

### 4.3.2.2.2 Stromkennzahl Zubauszenario

Sowohl für den Zubau als auch für den Ausbau wird für die erweiterten bzw. neu gebauten KWK-Anlagen eine Stromkennzahl von

$$S = 1.000$$

angenommen.

Ein großer Teil insbesondere des industriellen Wärmebedarfes wird nicht in KWK bereitgestellt. Das hierdurch zusätzlich für die KWK erschließbare Potential wird auf mindestens 50% bis 100 % geschätzt.

Für die nachfolgende Potentialermittlung gehen wir konservativ von einem zusätzlichen Wärmebedarfspotential von

$$50\%$$

aus.

### 4.3.2.3 Berechnung

Das aktuell genutzte Wärmepotential kann dann mit Hilfe der Stromkennzahl  $S = 0.300$  mit Formel (4.7) berechnet werden zu

$$\dot{Q}_{\text{Nutz aktuell}} = 128 \text{ TWh/a.}$$

#### 4.3.2.3.1 Ausbau

Durch Multiplikation mit der Stromkennzahl  $S = 1.000$  kann nun auf diesem Wärmepotential

$$\dot{Q}_{\text{Nutz aktuell}} = 153'000 \text{ GWh/a oder } 37 \text{ GW}$$

das durch Ausbau erzielbare KWK-Strompotential berechnet werden zu:

$$P_{\text{el ist + Ausbau}} = 128'000 \text{ GWh/a oder } 31 \text{ GW.}$$

Das ist ein Anteil von 28.5% an der gesamten Stromerzeugung.

Es bedeutet eine Steigerung von

$$P_{\text{el Ausbau}} = 89'000 \text{ GWh/a oder } 22 \text{ GW}$$

oder 19.9% an der gesamten Stromerzeugung.

#### 4.3.2.3.2 Zubau

Eine zusätzliche Erschließung von 50% bedeutet ein zusätzliches industrielles Wärmepotential von

$$\dot{Q}_{\text{Nutz Zubau}} = 64 \text{ TWh/a.}$$

Damit kann bei einer Stromkennzahl von

$$S = 1.000$$

das durch Zubau erzielbare industrielle KWK-Strompotential berechnet werden zu:

$$P_{\text{el Zubau}} = 64'000 \text{ GWh/a oder } 16 \text{ GW.}$$

Das ist ein Anteil von 14.2% an der gesamten Stromerzeugung.

#### 4.3.2.4 Industrielles Gesamtpotential

Aus dem Ausbau und dem Zubau kann nun ein Gesamtpotential

$$P_{\text{el KWK gesamt}} = P_{\text{el ist}} + P_{\text{el Ausbau}} + P_{\text{el Zubau}}$$

ermittelt werden von

$$P_{\text{el KWK gesamt}} = 192'000 \text{ GWh/a oder } 47 \text{ GW}$$

Das ist nur im industriellen Bereich ein Anteil von

$$42.7\%$$

an der gesamten Stromerzeugung oder eine Steigerung von

$$34.2\%,$$

bezogen auf die Gesamterzeugung.

##### 4.3.2.4.1 Empfehlung für Datenermittlung

Die Schätzung des Wärmebedarfes und der bereits erzeugten elektrischen Arbeit sollte durch eine zielgerichtete Datenerhebung verifiziert werden.

Für die Einführung eines Handelsmodells mit KWK-Zertifikaten sind diese Daten jedoch nicht zwingend erforderlich: Auch ein dabei praktiziertes Anmeldeverfahren erlaubt eine Erfassung des aktuell genutzten KWK-Potentials.



### 4.3.3 Kommunales KWK-Potential

Die Nutzung der kommunalen KWK soll durch

- Ausbau: Erhöhung der Stromkennzahl vorhandener Anlagen und
- Zubau: Ersatz von reinen Heiz-Anlagen durch KWK-Anlagen

verstärkt werden.

#### 4.3.3.1 Basis

Mit einer jährlichen kommunalen KWK-Strom-Erzeugung von

30'000 GWh/a oder 15 GW

und einer Gesamterzeugung von

beträgt der Anteil der kommunalen KWK an der Stromerzeugung z.Z. in Deutschland

6.8%.

#### 4.3.3.2 Annahmen

Für die nachfolgenden Betrachtungen gehen wir auch hier davon aus, daß die aktuelle durchschnittliche Stromkennzahl bei

$$S = 0.300$$

liegt.

Sowohl für den Zubau als auch für den Ausbau wird für die erweiterten bzw. neu gebauten KWK-Anlagen eine Stromkennzahl von

$$S = 1.000$$

angenommen.

Ein großer Teil insbesondere des kommunalen Wärmebedarfes wird nicht in KWK bereitgestellt. Das hier zusätzlich für die KWK erschließbare Potential wird für die nachfolgende Potentialermittlung vorsichtig auf

20%

geschätzt.

#### 4.3.3.3 Berechnung

Das aktuell genutzte kommunale Wärmepotential kann dann mit Hilfe der Stromkennzahl mit Formel (4.7) berechnet werden zu

$$\dot{Q}_{\text{Nutz aktuell}} = 101'000 \text{ GWh/a oder } 25 \text{ GW.}$$

#### 4.3.3.3.1 Ausbau

Durch Multiplikation mit der Stromkennzahl  $S = 1.000$  kann nun auf diesem Wärme-potential das durch Ausbau erzielbare kommunale KWK-Strompotential berechnet werden zu:

$$P_{\text{el ist + Ausbau}} = 101'000 \text{ GWh/a oder } 25 \text{ GW.}$$

Das ist ein Anteil von 22.6% an der gesamten Stromerzeugung.

Es bedeutet eine Steigerung von

$$P_{\text{el Ausbau}} = 71'000 \text{ GWh/a oder } 10 \text{ GW}$$

oder 15.8% an der gesamten Stromerzeugung.

#### 4.3.3.3.2 Zubau

Eine zusätzliche Erschließung von 20% bedeutet ein zusätzliches kommunales Wärme-potential von

$$\dot{Q}_{\text{Nutz Zubau}} = 20'000 \text{ GWh/a oder } 5 \text{ GW.}$$

Damit kann bei einer Stromkennzahl von

$$S = 1.000$$

das durch Zubau erzielbare kommunale KWK-Strompotential berechnet werden zu:

$$P_{\text{el Zubau}} = 20'000 \text{ GWh/a oder } 5 \text{ GW.}$$

Das ist ein Anteil von 4.5% an der gesamten Stromerzeugung.

#### 4.3.3.4 Kommunales Gesamtpotential

Aus dem Ausbau und dem Zubau kann nun ein Gesamtpotential

$$P_{\text{el KWK gesamt}} = P_{\text{el ist}} + P_{\text{el Ausbau}} + P_{\text{el Zubau}}$$

ermittelt werden von

$$P_{\text{el KWK gesamt}} = 122'000 \text{ GWh/a oder } 30 \text{ GW.}$$

Das ist nur im kommunalen Bereich ein Anteil von

$$27.1\%$$

an der gesamten Stromerzeugung oder eine Steigerung von

$$20.3\%,$$

bezogen auf die Gesamterzeugung.

#### 4.3.4 Industrielles und kommunales KWK-Gesamtpotential

Aus dem Ausbau und dem Zubau kann nun ein industrielles und kommunales Gesamtpotential

$$P_{\text{el KWK gesamt}} = P_{\text{el ist}} + P_{\text{el Ausbau}} + P_{\text{el Zubau}}$$

ermittelt werden von

$$P_{\text{el KWK gesamt}} = 313'000 \text{ GWh/a oder } 76 \text{ GW.}$$

Das ist ein Anteil von

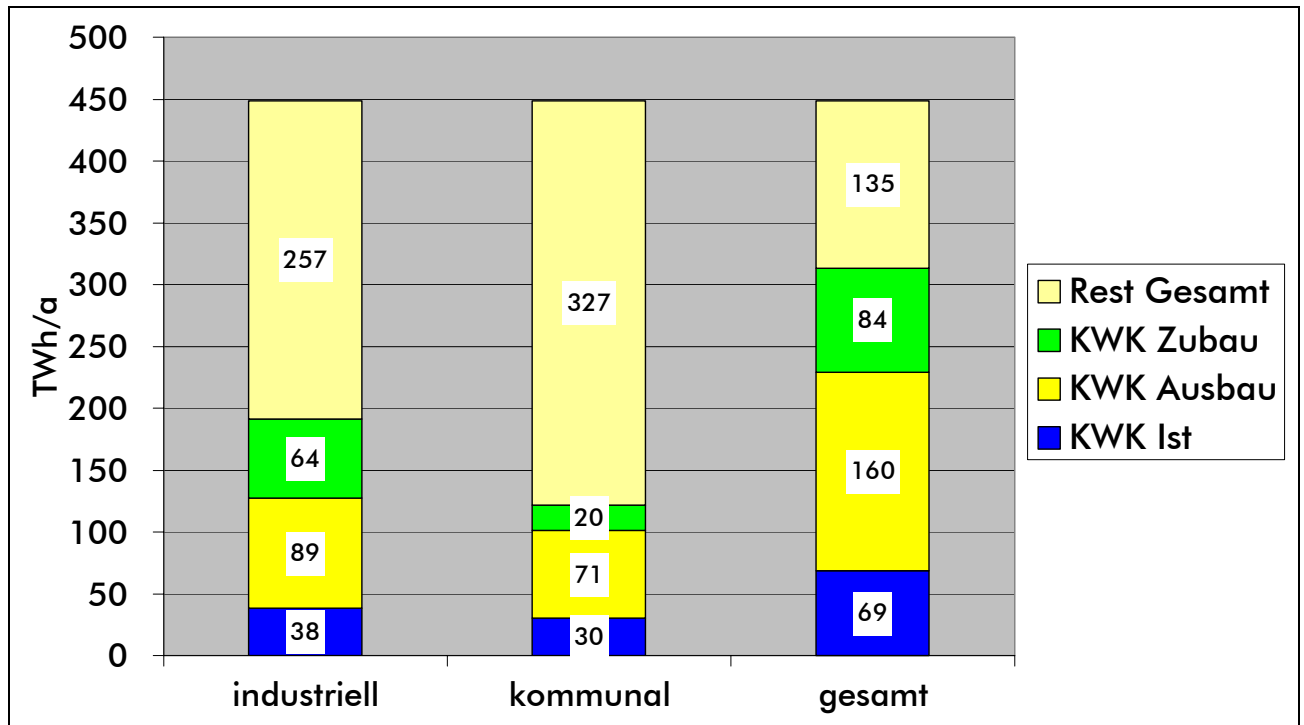
69.8%

an der gesamten Stromerzeugung oder das

4.6 - fache

der heutigen KWK-Erzeugung.

#### 4.4 Zusammenfassung der Potentialabschätzung



**Bild 4.2 Potentialabschätzung: KWK Anteile an der gesamten Stromerzeugung**

Die Ergebnisse der gesamten Potentialabschätzung zeigt Bild 4.2. Die Abschätzung kann und will keinen Anspruch auf definitive Genauigkeit erheben. Sie zeigt aber, daß die Potentiale der KWK sehr groß sind. Als Zielgröße für die nächsten 20 Jahre kann daher durchaus die Erzeugung der Hälfte der gesamten Stromerzeugung in KWK festgelegt werden.

Natürlich können sich in diesem Zeitraum die Wärmepotentiale verringern. Andererseits: Effizienzsteigerungen können auch den Stromverbrauch (Pumpen/Ventilatoren, Stand-by) reduzieren. Brennstoffzellen werden sich neue Potentiale erschließen. Die Stromkennzahlen können noch weiter steigen. Die Richtigkeit der grundsätzlichen Aussage des großen Potentials bleibt daher bestehen. Für den Übergang in das aber auch im hocheffizienten, regenerativen Energiezeitalter ist erhebliche KWK unverzichtbar.