

Auszug aus der Diplomarbeit

- Senkung des Energiebedarfes für ein Zweifamilienhaus -

Am Beispiel eines bestehenden Zweifamilienhauses wurden Möglichkeiten zur Verringerung des Energiebedarfes unter Einsatz marktüblicher Technologien gegenübergestellt und bezüglich ihrer Wirtschaftlichkeit bewertet.

Die Einordnung verschiedener Energiesparmaßnahmen hinsichtlich ihrer Wirtschaftlichkeit liefert eine Entscheidungshilfe, mit der es möglich ist bei gegebenem spezifischem Aufwand ein Maximum an Energieeinsparung zu erreichen.

Für die erfolgreichste Energiesparmaßnahme wird das Sparpotenzial für die Bundesrepublik Deutschland ermittelt.

Verfasser: Norbert Ziehensack
Dipl.-Ing. Produktionstechnik (FH)
Freiherr-vom-Stein-Str. 28
35516 Münzenberg

Strom und Wärme selbst erzeugen,

Ihr Partner fürs BHKW:

GLIZIE GmbH

Ingenieurbüro für Umwelttechnik

An Hetgesborn 10 b

35510 Butzbach

Tel 06033/89547-0

e-mail GLIZIE@GLIZIE.de

Fax 06033/1244

web www.GLIZIE.de

Energieeinsparung und CO₂-Reduzierung an einem Zweifamilienhaus

Einleitung

Die Einsparung von Energie, sowie der Ersatz fossiler Energieträger durch sog. alternative Energien führt unmittelbar zur Verminderung der CO₂-Belastung in der Atmosphäre.

Energiesparen ist sowohl unter dem Gesichtspunkt der Schonung der Reserven als auch der Umweltentlastung unverändert eine wichtige Aufgabe.

Die energiebedingten CO₂-Emissionen in Deutschland betragen 1987 rund 1070 Millionen Tonnen. Sie wurden durch die Verbrennung von Braunkohle (35%), Mineralöl (33%), Steinkohle (21%), und Naturgas (11%) verursacht.

1987 ist Basisjahr für die Reduktionsziele in Deutschland (Senkung der CO₂-Emissionen bis zum Jahr 2005 um mindestens 25% in den alten Bundesländern und um einen deutlich höheren %-Satz in den neuen Bundesländern).

Viele Maßnahmen zur Einsparung fossiler Brennstoffe erweisen sich bei näherer Betrachtung unter rein ökonomischen Gesichtspunkten mit den heutigen Brennstoffpreisen als unwirtschaftlich.

Trotzdem werden solche Maßnahmen aus ökologischen Gründen für notwendig und auch durchführbar gehalten.

Wenn also die konventionelle Wirtschaftlichkeitsbetrachtung als Entscheidungshilfe für oder gegen eine Energieeinsparmaßnahme nicht mehr ausreicht, sollte zumindest ein Vergleich möglicher Maßnahmen hinsichtlich ihrer Effektivität vorgenommen werden.

Dieser Vergleich soll eine Entscheidungshilfe liefern, mit der es möglich ist, bei gegebenem Aufwand ein Maximum an Energieeinsparung zu erreichen.

Hierbei gibt es praktische Grenzen, die in jedem Einzelfall anders liegen, weil die Rahmenbedingungen unterschiedlich sind.

Trotzdem können die Ergebnisse dieser Studie, die streng genommen nur für ein Einzelobjekt zutreffen, bei vorsichtiger Betrachtung Entscheidungshilfen für ähnliche bzw. vergleichbare Objekte geben.

Bewertung und Zusammenstellung der Ergebnisse

Brennstoffenergie-, CO₂-Einsparung und zusätzliche spezifische Kosten

Maßnahme zur Reduzierung des Brennstoffenergiebedarfes	Kapitel	QE [kWh/a]	K _{zus} [DM/a]	kE [DM/kWh]	CO ₂ _Sp [t/a]	k_CO ₂ [DM/t]
vorzeitiger Einsatz eines neuen Heizkessels	3.1	13915	551	3.96	1883	0.29
Einfachverglasung ersetzen durch Wärmeschutzverglasung	3.2	7633	1540	20.17	1033	1.49
Doppelisolierverglasung ersetzen durch Wärmeschutzverglasung	3.2	3368	1710	50.78	456	3.75
Außenisolierung der Fassade	3.3	10861	1223	11.26	1469	0.83
Dachisolierung	3.4					
Isolierung der Dachgeschoßdecke gegen unbeheizten Dachraum	3.4.1	8888	22	0.25	1203	0.02
Isolierung der Erdgeschoßdecke gegen unbeheizten Dachraum	3.4.2	2804	352	12.55	379	0.93
Isolierung der Wände im Dachgeschoß gegen unbeh. Dachraum	3.4.3	5071	138	2.72	686	0.20
Dachisolierung insgesamt	3.4.4	16763	512	3.06	2268	0.23
Anbringung eines Wintergartens auf der Südseite	3.5	941	2526	268.48	127	19.89
VWV-Bereitung über eine Solaranlage	3.6	3719	1608	43.24	503	3.20
Einsatz einer Photovoltaikanlage	3.7	13440	14294	106.36	2597	5.50
Einsatz eines Gas-Brennwertgerätes statt Gasheizkessel	3.8	2554	168	6.57	266	0.63
Einsatz eines Öl-Brennwertgerätes statt eines Ölheizkessel	3.9	1209	476	39.34	164	2.90
gasmotorisch betriebene KWK statt Gasheizkessel	3.10	28177	2663	9.45	7145	0.37

Eingesparte Brennstoffenergie	QE
zusätzliche Kosten pro Jahr	K _{zus}
spezifische Kosten für die eingesparte Brennstoffenergie	kE
Verringerung des CO ₂ -Ausstoßes	CO ₂ _Sp
Spezifische Kosten für die Verringerung des CO ₂ -Ausstoßes	k_CO ₂

Die Tabelle enthält die Ergebnisse einzelner Maßnahmen zur Brennstoff- bzw. Primärenergieeinsparung. Dabei wurde jede einzelne Maßnahme separat betrachtet und nicht in Wechselwirkung mit anderen Maßnahmen.

Der vorzeitige Einsatz eines mit Heizöl befeuerten neuen Heizkessels ($\eta_a = 90\%$) wurde als Alternative zur Weiterbetriebsung des "alten" Heizkessels ($\eta_a=63\%$) gerechnet.

Die Maßnahmen "Gas Brennwertgerät" und "gasmotorisch betriebene KWK" wurden als Alternativen zum Einsatz eines neuen, konventionellen Gasheizkessel ($\eta_a=90\%$) gerechnet.

Alle weiteren Maßnahmen wurden als zusätzliche oder alternative Maßnahmen zum Einsatz einer neuen konventionellen -mit Heizöl EL befeuerten- Kesselanlage gesehen ($\eta_a = 90\%$).

CO₂-spezifische Kosten k_{CO_2}

Als ein Bewertungskriterium wurden die CO₂- spezifischen Kosten ermittelt, die das Verhältnis jährlicher Kosten für eine Energie- Sparmaßnahme zum dadurch Verringerten CO₂- Ausstoß wiedergeben.

$$k_{CO_2} = \frac{\text{Zusätzliche Kosten /a}}{\text{verringerten CO}_2\text{-Ausstoß /a}} = \frac{\Delta K}{\Delta CO_2} \quad \frac{K_{zus}}{CO_2^{SP}} \quad \frac{DM}{m^3n}$$

energiespezifische Kosten k_E

Als weiteres Bewertungskriterium wurden die energiespezifischen Kosten ermittelt, die das Verhältnis zusätzlicher Kosten pro Jahr zu eingesparter Energie pro Jahr wiedergeben:

$$k_E = \frac{\text{Zusätzliche Kosten /a}}{\text{Eingesparte Energie /a}} = \frac{\Delta K}{\Delta E} \quad \frac{K_{zus}}{Q_E} \quad \frac{DPf}{kWh}$$

Eingesparte Energie pro Jahr Q_E

Um eine Vergleichbarkeit zwischen eingesparter oder zusl. benötigter elektrischer Energie und eingesparter Brennstoffenergie herzustellen, wurde die elektrische Energie mit dem Faktor 3 multipliziert was dann etwa der eingesetzten Primärenergie im Kraftwerk entspricht.

Zusätzliche Kosten pro Jahr K_{zus}

$$K_{zus} = K1_{zus} + K2_{zus} + K3_{zus} + K4_{zus}$$

$K1_{zus}$	zusätzliche Kapitalgebundene Kosten pro Jahr
$K2_{zus}$	zusätzliche Verbrauchsgebundene Kosten pro Jahr
$K3_{zus}$	zusätzliche Betriebsgebundene Kosten pro Jahr
$K4_{zus}$	zusätzliche Sonstige Kosten

zusätzliche Kapitalgebundene Kosten pro Jahr $K1_{zus}$

$$K1_{zus} = (a + \Delta i) / 100 * K_I \quad (\text{in Anlehnung an VDI 2067, Blatt 1})$$

$$a = P(1+P)^n / ((1+P)^n - 1)$$

a - jährliche Annuität [%]

Δi - zusätzl. jährliche Instandsetzung in % der Investitionskosten [%]

K_I - Investitionskosten incl. 14 % MWSt. [DM]

P - Kapitalzins von 0,08 (8 % Verzinsung)

n - rechnerische Nutzungszeit [a]

i und n werden der VDI 2067 Blatt 1, Tabelle 6 entnommen oder geschätzt

zusätzliche Verbrauchsgebundene Kosten pro Jahr $K2_{zus}$

Die zusätzlichen Verbrauchsgebundenen Kosten einer Maßnahme zur Senkung des Brennstoffverbrauches beschränken sich im Wesentlichen auf die Verminderung der Brennstoffkosten, auf die Kosten der für die Maßnahme zusätzlich benötigten Hilfsenergie und die Kosten zusätzlich benötigter Betriebsstoffe.

Die Brennstoffkosten werden mit 4 DPf / kWh (Hu) Brennstoffenergie (Kohle, Erdgas, Heizöl EL) berücksichtigt.

zusätzliche Betriebsgebundene Kosten pro Jahr $K3_{zus}$

Die zusätzlichen Betriebsgebundenen Kosten einer Maßnahme zur Senkung des Brennstoffverbrauches beschränken sich im Wesentlichen auf die Kosten der dadurch zusätzlich erforderlichen Reinigungs- und Wartungsarbeiten.

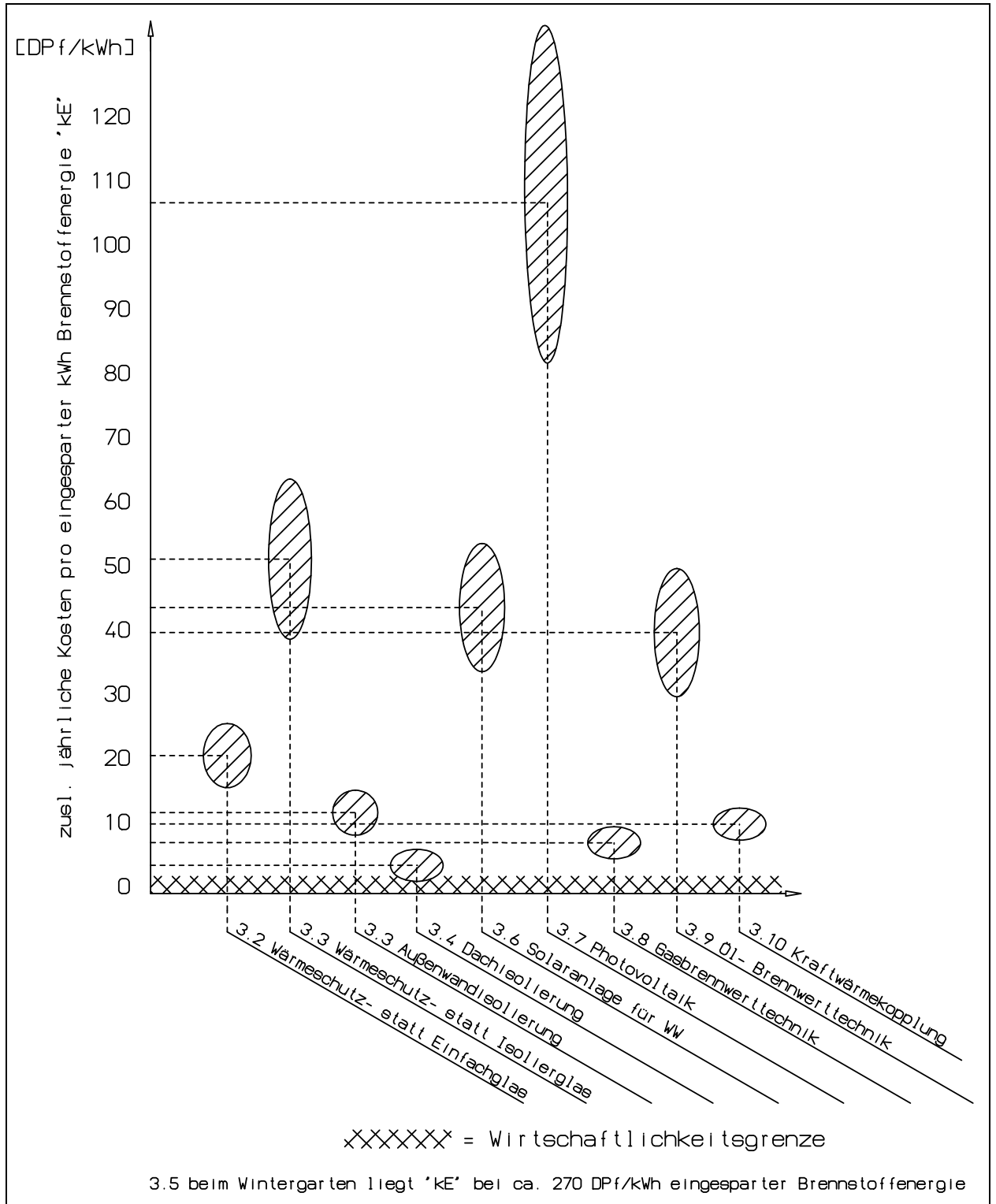
zusätzliche Sonstige Kosten $K4_{zus}$

Die zusätzlichen Sonstigen Kosten werden im Hinblick auf ihre relativ geringe Kostenhöhe im Verhältnis zu den anderen Kostengruppen im Folgenden nicht weiter berücksichtigt.

Preisstand 1992 incl. 14 % MWSt

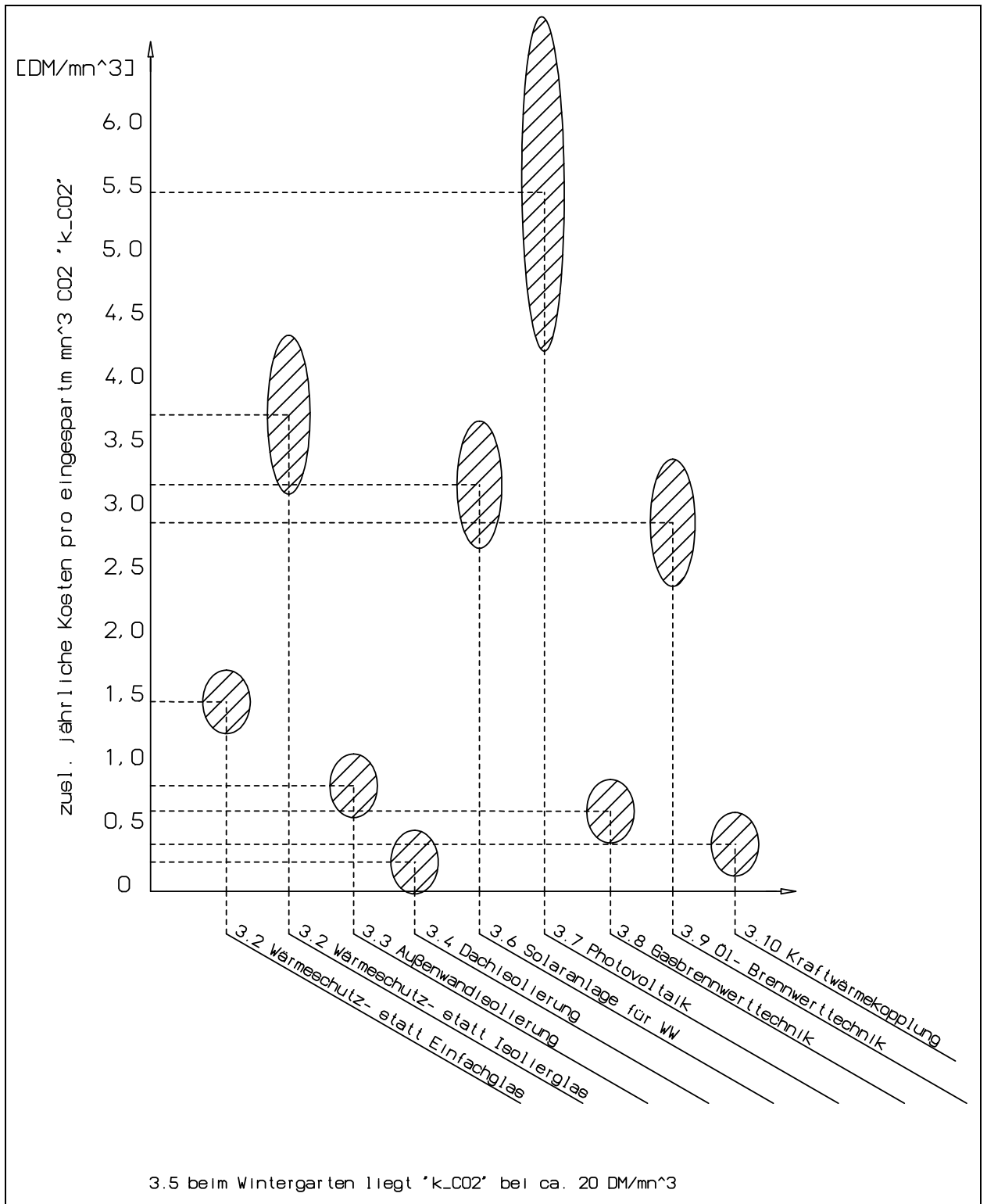
Darstellung der energiespezifischen Kosten im "Blasendiagramm"

-zusätzliche jährliche Kosten pro eingesparter kWh Primärenergie.

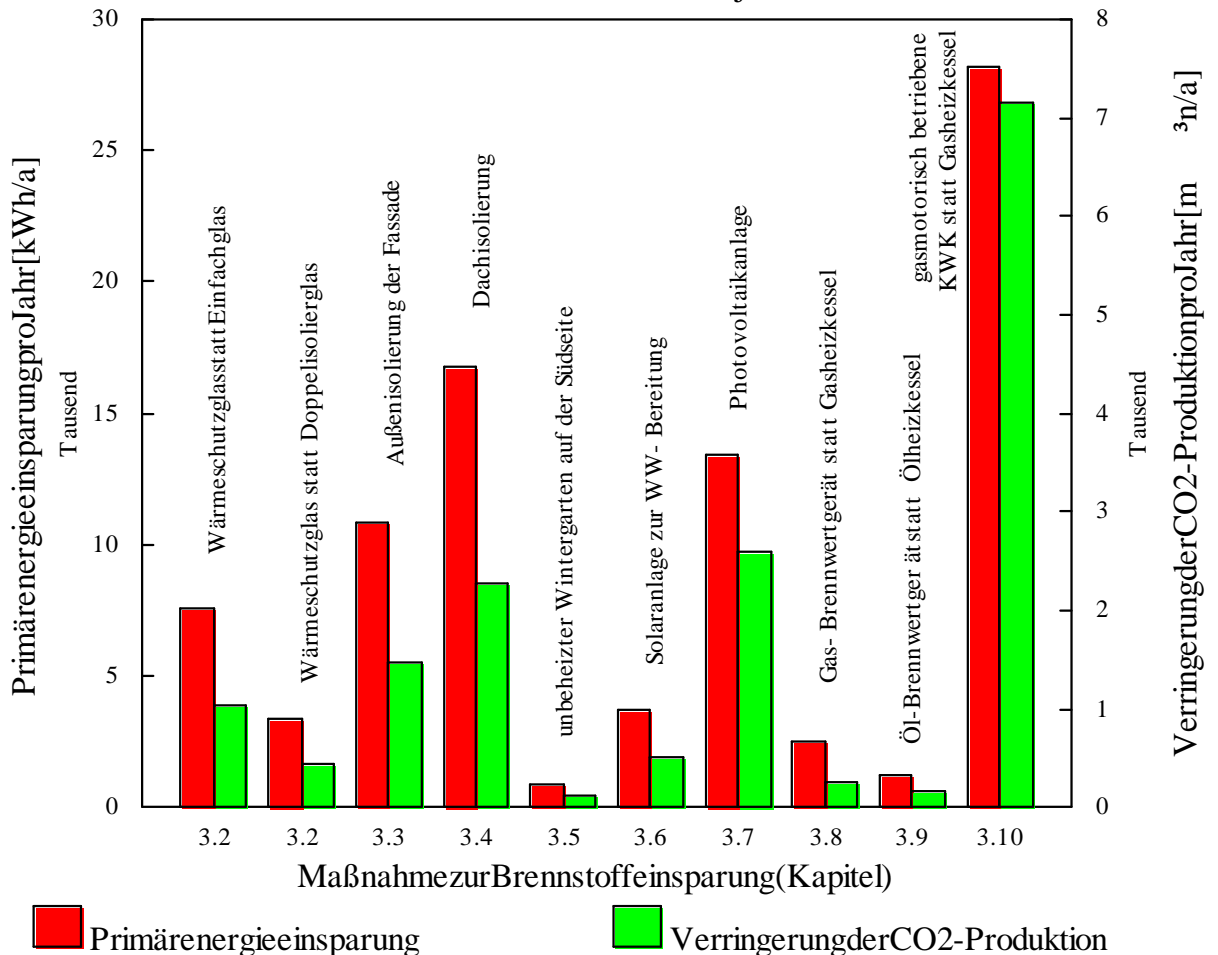


Darstellung der CO₂-spezifischen Kosten im "Blasen Diagramm"

-zusätzliche jährliche Kosten pro eingespartem m_n³ CO₂.



Primärenergieeinsparung und Verringerung der CO₂-Produktion an einem Zweifamilienhaus, Bj. 1970



Bemerkung zur Photovoltaikanlage:

Die netzgekoppelte Photovoltaikanlage ist ausgelegt um rechnerisch den Eigenbedarf an el. Energie des Zweifamilienhauses von 4.480 kWh/a zu decken, wofür eine Fläche für den Solargenerator von ca. 45 m² benötigt wird.

Um über eine netzgekoppelte Photovoltaikanlage die gleiche CO₂-Reduzierung wie mit der gasmotorisch betriebenen KWK-Anlage zu erreichen würde ein Solargenerator mit der Fläche von 124 m² benötigt, wobei sich derzeit die dafür notwendigen Investitionskosten auf über 250000 DM belaufen würden (Investitionskosten für die KWK-Anlage 31.300 DM).

CO₂- Minderungspotential der privaten Haushalte in der Bundesrepublik Deutschland

Doppelisolierverglasung und Wärmedämmung von bewohntem Dachraum gelten heute für die Mehrzahl der Wohngebäude zur Standardausstattung.

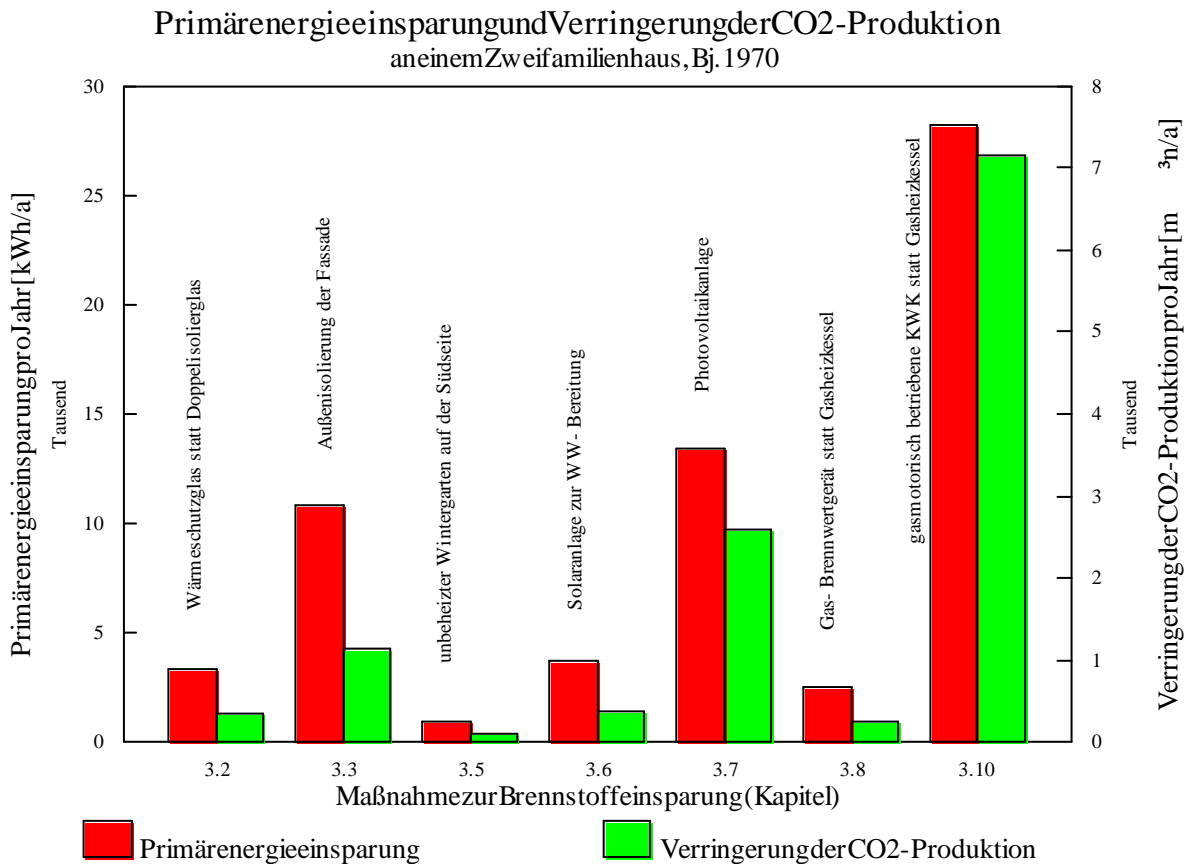
Für eine breite Anwendung ergeben sich die Potentiale zur Primärenergieeinsparung aus nachfolgend aufgeführten Maßnahmen, wobei zur besseren Vergleichbarkeit der Brennstoff "Erdgas- Mix H,L" als Basis dient.

Maßnahme zur Reduzierung des Brennstoffenergiebedarfes	Kapitel	QE		Spezifischer CO ₂ - Ausstoß m ³ n CO ₂ / kWh	CO ₂ - Einsparung m ³ n CO ₂ /a
		[kWh/a]	Eingesparte Brennstoffart		
Doppelisolierverglasung ersetzen durch Wärmeschutzverglasung	3.2	3368	Erdgas (H,L)	0.1043	351
Außenisolierung der Fassade	3.3	10861	Erdgas (H,L)	0.1043	1133
Anbringung eines Wintergartens auf der Südseite	3.5	941	Erdgas (H,L)	0.1043	98
WW- Bereitung über eine Solaranlage	3.6	3719	Erdgas (H,L)	0.1043	388
Einsatz einer Photovoltaikanlage	3.7	13440	Kohle - Mix	0.1932	2597
Einsatz eines Gas- Brennwertgerätes statt Gasheizkessel	3.8	2554	Erdgas (H,L)	0.1043	266
gasmotorisch betriebene KWK statt Gasheizkessel	3.10				
Brennstoff- Energieeinsparung im Kohlekraftwerk		47318	Kohle - Mix	0.1932	9142
Brennstoffmehrverbrauch der KWK gegenüber dem Gasheizkessel		-19141	Erdgas (H,L)	0.1043	-1996
Brennstoffenergie und CO ₂ - Einsparung durch die KWK		28177			7145

Brennstoffenergie- , C O 2- Einsparung und zusätzliche spezifische Kosten

Maßnahme zur Reduzierung des Brennstoffenergiebedarfes	Kapitel	QE [kWh/a]	Kzus [DM/a]	kE [DPf/kWh]	CO ₂ _Sp [m ³ n/a]	k_CO ₂ [DM/m ³ n]
Doppelisolierverglasung ersetzen durch Wärmeschutzverglasung	3.2	3368	1710	50.78	351	4.87
Außenisolierung der Fassade	3.3	10861	1223	11.26	1133	1.08
Anbringung eines Wintergartens auf der Südseite	3.5	941	2526	268.48	98	25.78
WW- Bereitung über eine Solaranlage	3.6	3719	1608	43.24	388	4.14
Einsatz einer Photovoltaikanlage	3.7	13440	14294	106.36	2597	5.50
Einsatz eines Gas- Brennwertgerätes statt Gasheizkessel	3.8	2554	168	6.57	266	0.63
gasmotorisch betriebene KWK statt Gasheizkessel	3.10	28177	2663	9.45	7145	0.37

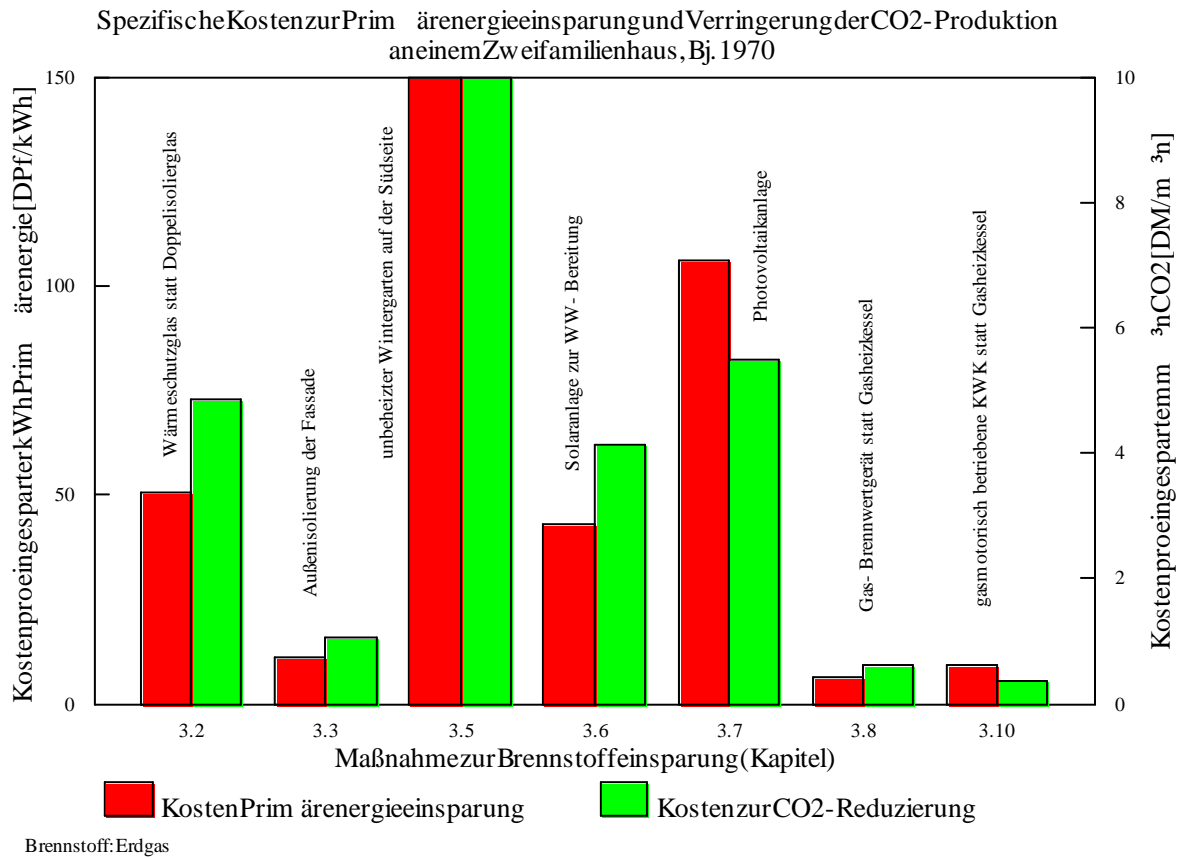
Eingesparte Brennstoffenergie	QE
zusätzliche Kosten pro Jahr	Kzus
spezifische Kosten für die eingesparte Brennstoffenergie	kE
Verringerung des CO ₂ - Ausstoßes	CO ₂ _Sp
Spezifische Kosten für die Verringerung des CO ₂ - Ausstoßes	k_CO ₂



Die im Diagramm dargestellten Maßnahmen zur Primärenergieeinsparung und zur Verringerung des CO₂- Ausstoßes sind als zusätzliche oder alternative Maßnahmen zum Einsatz eines Gas- Spezialheizkessels zu sehen.

Der Einsatz einer gasmotorisch betriebenen KWK- Anlage bietet für das Zweifamilienhaus mit Abstand das größte Potential zur Primärenergieeinsparung und zur CO₂- Reduzierung.

Das relativ hohe Potential zur Verringerung der CO₂- Produktion ergibt sich hauptsächlich durch die Verdrängung von Primärenergie in Form von Kohle (Feuerung Großkraftwerk). Hinzu kommt, daß Erdgas bezüglich des Energiegehaltes (Hu) einen um ca. 50 % niedrigeren Kohlenstoffgehalt als Kohle hat.



Die spezifischen Kosten für die CO₂- Reduzierung liegen (unter den hier dargestellten Maßnahmen) für die KWK- Anlage am niedrigsten.

Gesamte CO₂- Produktion in der Bundesrepublik Deutschland

Primärenergieverbrauch und CO₂- Produktion nach Energieträgern in der Bundesrepublik Deutschland 1991

alte Bundesländer insgesamt 109 MotSKE
 neue Bundesländer insgesamt 392 MotSKE
 Bundesrepublik Deutschland 501 MotSKE

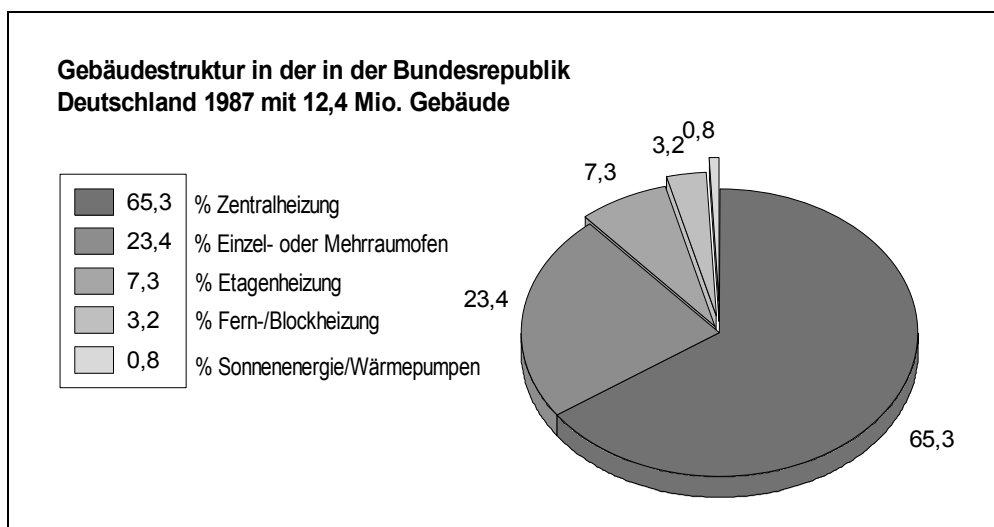
Bundesrepublik Deutschland										
Energieträger	alte Bundesländer		neue Bundesländer		insgesamt		kWh/a	m ³ n CO ₂ /kWh	m ³ n CO ₂ /a	Mot CO ₂ /a
	%	MotSKE	%	MotSKE	%	MotSKE/a				
Gas, Naturgas	8.7	9.48	17.5	68.51	15.6	78.00	6.35E+11	0.1013	6.43E+10	126.31
Steinkohle	3.4	3.71	18.8	73.60	15.4	77.31	6.29E+11	0.1713	1.08E+11	211.71
Braunkohle	69.1	75.32	8.2	32.10	21.5	107.42	8.74E+11	0.2093	1.83E+11	359.44
Mneralöl	16.1	17.55	41	160.52	35.6	178.06	1.45E+12	0.1353	1.96E+11	385.16
Kernenergie	1.9	2.07	12.1	47.37	9.88	49.44	4.02E+11			
Wasser u.a.	0.8	0.87	2.4	9.40	2.05	10.27	8.36E+10			
Summe									1083	

(1 tSKE = 8.138.88 kWh)

Durch die Gasversorgung und den Einsatz gasmotorischer KWK-Anlagen für alle Wohngebäude ergibt sich somit ein CO₂-Minderungspotential für die Bundesrepublik Deutschland von $100/1083 * 182 = 16.8 \%$

Dieses Ergebnis stellt den theoretischen Maximalwert dar, der in der Praxis mittelfristig nicht zu erreichen ist.

Der Einsatz gasmotorisch betriebener KWK- Anlagen kommt ohne größere Umbaumaßnahmen an den Wohngebäuden zuerst einmal nur für zentral beheizte Gebäude in Frage, was allerdings für 2/3 der Wohngebäude zutrifft.



Das Bundeswirtschaftsministerium geht in einer Studie von 1990 davon aus, daß z.B. durch einen verbesserten Wärmeschutz an Gebäuden, bessere Heizungstechnik und Wärmeregulierung gut 100 Mio. Tonnen CO₂ eingespart werden können.

Die notwendigen Investitionen seitens der Hausbesitzer von rund 400 Mrd. DM fordern massive Anstrengungen und Investitionsanreize.

Da der gesamte CO₂- Ausstoß der privaten Haushalte "nur" 96,37 Mio t CO₂ pro Jahr beträgt, müssen bei dieser Studie öffentliche Gebäude und Wirtschaftsgebäude mit berücksichtigt worden sein.

Für 400 Mrd. DM könnten theoretisch

$400 \cdot 10^9 \text{ DM} / 31301 \text{ DM/KWK} = 12,78 \text{ Mio KWK-Anlagen}$ im Leistungsbereich bis 20 kW thermisch installiert werden.

(In Deutschland gibt es ca. 10 Mio Ein- und Zweifamilienhäuser)

31301 DM/KWK ist hierbei der Komplettpreis für eine gasmotorisch betriebene KWK-Anlage. Bei einer Massenfertigung dürften zumindest die Montagekosten für die Vormontage erheblich sinken.

Verträglichkeit der Kraft-Wärme-Kopplung mit der Jahresbelastungskurve im öffentlichen Netz der Stromversorgung

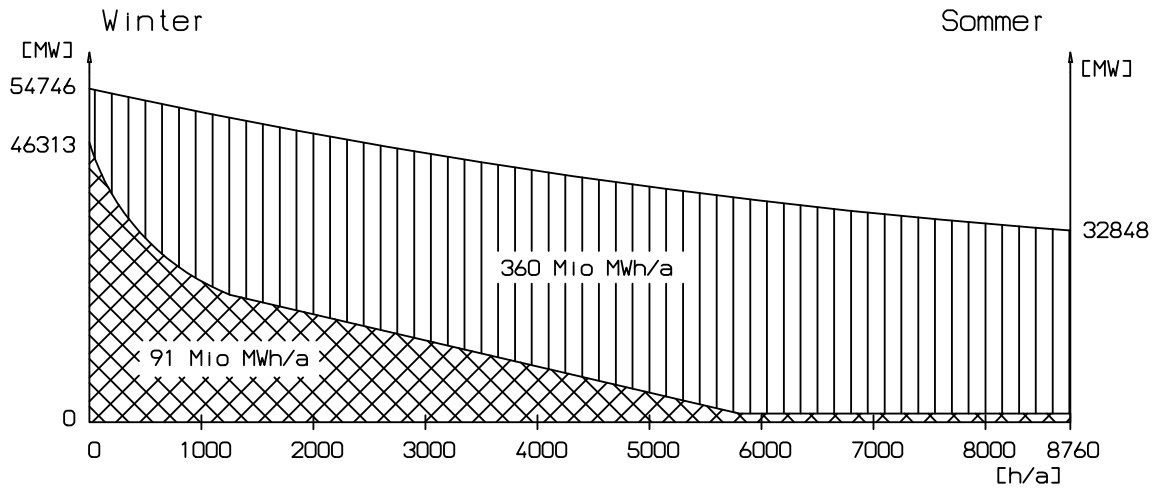
Bei einem so massiven Eingriff der KWK in die Stromversorgungsstruktur stellt sich die Frage nach der Verträglichkeit zwischen Angebot und Nachfrage von el. Energie.

Geht man davon aus, daß die Hälfte des Wärmebedarfes für Wohnhäuser durch KWK-Anlagen gedeckt wird, so kommt man auf eine el. Energieeinspeisung ins öffentliche Netz von :

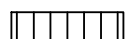
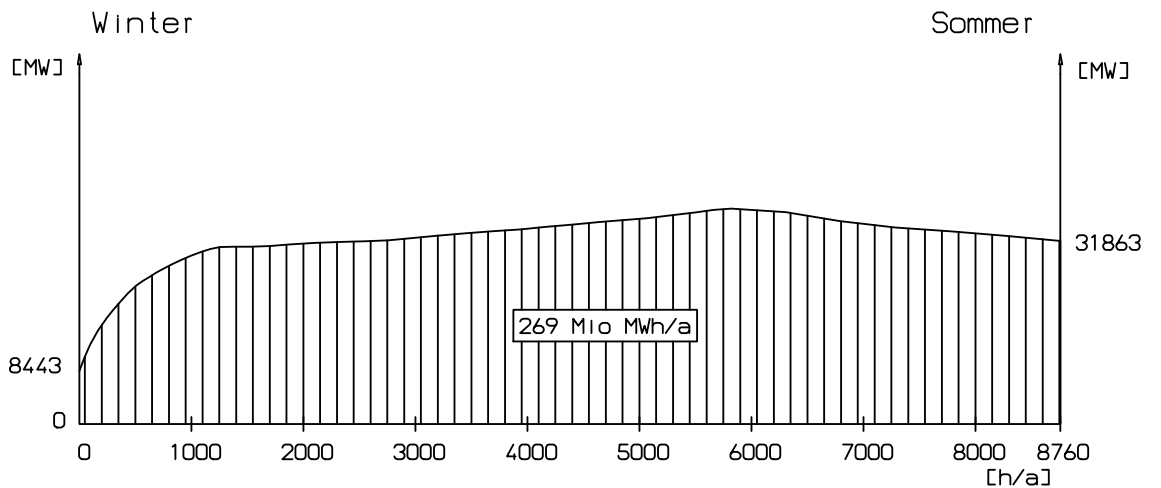
$0,5 \cdot 18,266 \cdot 10^{10} \text{ kWh/a} = 9,133 \cdot 10^{10} \text{ kWh/a}$, was beim tiefsten Zweitagesmittel der Außentemperatur und mit 1972 Vollbenutzungsstunden zu einer max. Klemmleistung von $9,133 \cdot 10^{10} \text{ kWh/a} / 1972 \text{ h/a} / 1000 \text{ kW/MW} = 46313 \text{ MW}$ führt. Dieser Wert würde jedoch nur an 2 Tagen im Jahr erreicht.

Jahresbelastungskurve des öffentlichen Stromnetzes

Belastungskurve des öffentlichen Stromnetzes
 wenn 50% der privaten Haushalte durch
 KWK- Anlagen beheizt werden



Differenzkurve durch Ordinatenabstraktion



Von den Stromversorgungsunternehmen zu liefernde el Endenergie



durch KWK- Anlagen der privaten Haushalte eingespeiste el. Energie

Die Kurve zur Stromeinspeisung von KWK- Anlagen orientiert sich an der geordneten Jahresdauerlinie (Belastungskurve) für Wohngebäude.

Die Belastungskurve des öffentlichen Netzes ist hier stark vereinfacht dargestellt und begründet sich auf der Aussage zur Belastung des Preußenelektra-Netzes, wonach die Sommerbelastung bei ca. 60 % der Winterbelastung liegt. Die Darstellung der Kurven im Diagramm kann als erste grobe Näherung gesehen werden.

Der genaue zeitliche Verlauf der beiden Kurven muß noch ermittelt werden.

Schlußwort

Angesichts der drängenden Klimaprobleme dürfen wir nicht auf einen Vorrang von Solarsystemen setzen, solange wir nicht die viel größeren und wirtschaftlicheren Potentiale ausgeschöpft haben.

Hierzu gehören Verdrängung von Kohle und Öl durch Erdgas, Gebäudewärmedämmung, Heizungssanierung und wie die Ergebnisse zeigen, vor allem der Einsatz von **Kraft- Wärme- Kopplung**.

Die Durchführung von im betriebswirtschaftlichen Sinne unwirtschaftlichen Maßnahmen erfordert politischen Willen und Durchsetzung. Finanzielle staatliche Förderung und oder steuerliche Manipulation ist dazu notwendig. Die Massenfertigung kleiner KWK- Anlagen würde diese der Wirtschaftlichkeitsgrenze näher bringen.

Der breite Einsatz von Kraft- Wärme- Kopplung könnte in den nächsten zwei bis drei Jahrzehnten den entscheidenden Beitrag zu einem effizienten Primärenergieeinsatz und damit zur CO₂-Reduzierung liefern und die Brücke in die Zukunft zur **Solar-** und oder **Kernfusion- Wasserstofftechnik** schlagen.

Norbert Ziehensack
Freiherr-vom-Stein-Str. 28
35516 Münzenberg