

Endbericht

**Bestandsanalyse der
Kraft-Wärme-Kopplung (KWK)
in der Bundesrepublik
Deutschland**

M. Blesl, U. Fahl, A. Voß

Gutachten im Auftrag des
Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie

April 2001

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
2	Grundlagen der IER-Kraftwerks-Bestands-Datenbank	1
3	Erfasste KWK-Anlagen	2
4	Stromerzeugung im KWK-Anlagenbestand.....	9
4.1	Ansätze zur Abgrenzung von KWK-Strom	9
4.2	Referenzsysteme	12
4.3	Kategorisierung der CO ₂ -Einsparung	13
4.4	KWK-Stromerzeugung in 1999 nach dem AG KWK-Modell.....	14
4.5	KWK-Stromerzeugung in 1999 nach dem AGFW-nahen Modell.....	19
5	Energieeinsparung durch den Betrieb der KWK-Anlagen in 1999	25
6	CO ₂ -Minderung durch den Betrieb der KWK-Anlagen in 1999	29
7	Wettbewerbsfähigkeit des KWK-Betriebs im Jahr 1999 im liberalisierten Strommarkt ...	41
8	Schlußbetrachtung	48
	Literatur	51
	Anhang 1: Ermittlung der Nutzungsgrade und der spezifischen CO ₂ -Emissionen für den Kraftwerksmix 1998 und den Wärmeerzeugungsmix 1999	52
	Anhang 2: CO ₂ -Emissionen der Gegendruckscheibe aus dem AGFW-Beispiel	54
	Anhang 3: Notwendige Kennwerte für KWK-Anlagen zur Einordnung in die unterschiedlichen CO ₂ -Minderungskategorien.....	56
	Anhang 4: Differenzierung zwischen öffentlicher und industrieller KWK	59

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Varianten von KWK-Anlagen mit Dampferzeuger.....	3
Abbildung 2: Varianten von KWK-Anlagen mit Gas- und Dampfturbinen.....	4
Abbildung 3: KWK-Anlagen in der Industrie	5
Abbildung 4: KWK-Anlagen in der öffentlichen Versorgung	6
Abbildung 5: Aufteilung der Energieströme einer Entnahmekondensationsanlage in Kondensations- und Gegendruck-Scheibe (Quelle: AGFW)	11
Abbildung 6: Beispiele für die Ermittlung der Brennstoffanteile der Gegendruckscheibe von Entnahmekondensationsanlagen mittels typischer Kennlinien	11
Abbildung 7: Einordnung der Anlagenanzahl und der Stromerzeugung des KWK-Anla- genbestandes nach dem AG KWK-Modell bezüglich der CO ₂ -Einsparung gegenüber dem Referenzsystem 1	16
Abbildung 8: Einordnung der Anlagenanzahl und der Stromerzeugung des KWK-Anla- genbestandes nach dem AG KWK-Modell bezüglich der CO ₂ -Einsparung gegenüber dem Referenzsystem 2	17
Abbildung 9: Einordnung der Anlagenanzahl und der Stromerzeugung des KWK-Anla- genbestandes nach dem AG KWK-Modell bezüglich der CO ₂ -Einsparung gegenüber dem Referenzsystem 3	18
Abbildung 10: Einordnung der Anlagenanzahl und der Stromerzeugung des KWK-Anla- genbestandes nach dem AGFW-nahen Modell bezüglich der CO ₂ -Einspa- rung gegenüber dem Referenzsystem 1	21
Abbildung 11: Einordnung der Anlagenanzahl und der Stromerzeugung des KWK-Anla- genbestandes nach dem AGFW-nahen Modell bezüglich der CO ₂ -Einspa- rung gegenüber dem Referenzsystem 2.....	22
Abbildung 12: Einordnung der Anlagenanzahl und der Stromerzeugung des KWK-Anla- genbestandes nach dem AGFW-nahen Modell bezüglich der CO ₂ -Einspa- rung gegenüber dem Referenzsystem 3.....	23
Abbildung 13: Einordnung der Anlagenanzahl und der Stromerzeugung des KWK-Anla- genbestandes nach dem AGFW-nahen Modell bezüglich der CO ₂ -Einspa- rung gegenüber dem Referenzsystem 4.....	24
Abbildung 14: Einordnung der Stromerzeugung in KWK-Anlagen im Jahr 1999 für die unterschiedlichen CO ₂ -Minderungskategorien gegenüber den verschiede- nen Referenzsystemen	25
Abbildung 15: Kumulierte Energieträgereinsparung durch den Betrieb der KWK-Anlagen in 1999 nach dem AGFW-nahen Modell, geordnet nach CO ₂ -Minderungs- kategorien	27
Abbildung 16: Grenzlinie gleicher Energieausnutzung einer getrennten Strom- und Wär- meerzeugung wie durch den Betrieb der KWK-Anlagen im Jahr 1999	29

Abbildung 17: CO ₂ -Emissionsvergleich des Betriebs der KWK-Anlagen in 1999 nach dem AG KWK-Modell gegenüber dem Referenzsystem 1	31
Abbildung 18: CO ₂ -Emissionsvergleich des Betriebs der KWK-Anlagen in 1999 nach dem AG KWK-Modell gegenüber dem Referenzsystem 2	31
Abbildung 19: CO ₂ -Emissionsvergleich des Betriebs der KWK-Anlagen in 1999 nach dem AG KWK-Modell gegenüber dem Referenzsystem 3	32
Abbildung 20: CO ₂ -Emissionsvergleich des Betriebs der KWK-Anlagen in 1999 nach dem AGFW-nahen Modell gegenüber dem Referenzsystem 1	33
Abbildung 21: CO ₂ -Emissionsvergleich des Betriebs der KWK-Anlagen in 1999 nach dem AGFW-nahen Modell gegenüber dem Referenzsystem 2	33
Abbildung 22: CO ₂ -Emissionsvergleich des Betriebs der KWK-Anlagen in 1999 nach dem AGFW-nahen Modell gegenüber dem Referenzsystem 3	34
Abbildung 23: CO ₂ -Emissionsvergleich des Betriebs der KWK-Anlagen in 1999 nach dem AGFW-nahen Modell gegenüber dem Referenzsystem 4	34
Abbildung 24: Einfluß der KWK-Definition und des Referenzsystems auf die CO ₂ -mindernde KWK-Stromerzeugung und den CO ₂ -Minderungsbeitrag	35
Abbildung 25: Kumulierte CO ₂ -Einsparung durch den Betrieb der KWK-Anlagen in 1999 nach dem AG KWK-Modell	36
Abbildung 26: Kumulierte CO ₂ -Einsparung durch den Betrieb der KWK-Anlagen in 1999 nach dem AGFW-nahen Modell	37
Abbildung 27: Grenzlinie gleicher CO ₂ -Emissionen durch den Betrieb der KWK-Anlagen im Bestand 1999 gegenüber unterschiedlichen Referenzsystemen der getrennten Strom- und Wärmeerzeugung (AGFW-nahes Modell)	39
Abbildung 28: Veränderung der absoluten CO ₂ -Emissionen durch den Betrieb der KWK-Anlagen im Bestand 1999 in Abhängigkeit vom CO ₂ -Koeffizienten der Referenz-Strom- und Wärmeerzeugung (AGFW-nahes Modell)	40
Abbildung 29: Positionierung der KWK im liberalisierten Markt	42
Abbildung 30: Merit Order des KWK-Anlagenbestandes bezüglich der betriebsseitigen Stromrestkosten (ohne Kapitalkosten) nach Wärmegutschrift (AGFW-nahes Modell)	44
Abbildung 31: Aufteilung der KWK-Stromerzeugung entsprechend ihrem CO ₂ -Effekt und ihrer Grenzerzeugungskosten (Bezugspunkt 6 Pf/kWh) für AGFW-nahe Modell (Angaben in TWh)	48
Abbildung 32: Notwendige Stromkennzahl eines Braunkohle-HKW in Abhängigkeit vom Jahresnutzungsgrad zur Einordnung in die CO ₂ -Minderungskategorien gegenüber dem Referenzsystem 2	57
Abbildung 33: Notwendiger elektrischer Nutzungsgrad eines Braunkohle-HKW in Abhängigkeit vom Jahresnutzungsgrad zur Einordnung in die CO ₂ -Minderungskategorien gegenüber dem Referenzsystem 2	58

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Auszug aus der IER-Kraftwerks-Bestands-Datenbank zu KWK-Anlagen in 1999 (Werte z. T. gerundet).....	2
Tabelle 2:	Vergleich der verschiedenen Statistiken.....	7
Tabelle 3:	Zuordnung der installierten Leistung in KWK-Anlagen in MW _{el} nach den Kriterien arbeitsbezogene Stromkennzahl in 1999 und Jahresnutzungsgrad in 1999	8
Tabelle 4:	Zuordnung der installierten Leistung in KWK-Anlagen in MW _{el} nach den Kriterien leistungsbezogene Stromkennzahl und Jahresnutzungsgrad in 1999	8
Tabelle 5:	Zuordnung der Stromerzeugung in KWK-Anlagen in TWh nach unterschiedlichen Klassen von Jahresnutzungsgraden in 1999	9
Tabelle 6:	Spezifische CO ₂ -Emissionen und Jahresnutzungsgrade der Referenzkraftwerke im Bestand 1998 /DIW 2000/ sowie der Wärmeerzeugungsanlagen in der Industrie im Jahr 1999	13
Tabelle 7:	Anlagenzahl und Stromerzeugung im Bestand der KWK-Anlagen in 1999 gemäß dem AG KWK-Modell nach CO ₂ -Minderungskategorien gegenüber dem Referenzsystem 1	14
Tabelle 8:	Anlagenzahl und Stromerzeugung im Bestand der KWK-Anlagen in 1999 gemäß dem AG KWK-Modell nach CO ₂ -Minderungskategorien gegenüber dem Referenzsystem 2	15
Tabelle 9:	Anlagenzahl und Stromerzeugung im Bestand der KWK-Anlagen in 1999 gemäß dem AG KWK-Modell nach CO ₂ -Minderungskategorien gegenüber dem Referenzsystem 3	15
Tabelle 10:	Anlagenzahl und Stromerzeugung im Bestand der KWK-Anlagen in 1999 gemäß dem AGFW-nahen Modell nach CO ₂ -Minderungskategorien gegenüber dem Referenzsystem 1	19
Tabelle 11:	Anlagenzahl und Stromerzeugung im Bestand der KWK-Anlagen in 1999 gemäß dem AGFW-nahen Modell nach CO ₂ -Minderungskategorien gegenüber dem Referenzsystem 2	19
Tabelle 12:	Anlagenzahl und Stromerzeugung im Bestand der KWK-Anlagen in 1999 gemäß dem AGFW-nahen Modell nach CO ₂ -Minderungskategorien gegenüber dem Referenzsystem 3	20
Tabelle 13:	Anlagenzahl und Stromerzeugung im Bestand der KWK-Anlagen in 1999 gemäß dem AGFW-nahen Modell nach CO ₂ -Minderungskategorien gegenüber dem Referenzsystem 4	20

Tabelle 14:	Veränderung des Energieträgereinsatzes durch den Betrieb der KWK-Anlagen in 1999 für die verschiedenen CO ₂ -Minderungskategorien im Vergleich zu den unterschiedlichen Referenzsysteme in TWh	26
Tabelle 15:	Veränderung des Energieeinsatzes durch die in 1999 bestehenden KWK-Anlagen in TWh in Abhängigkeit von der Definition des Referenzsystems Strom und Wärme (schattierte Flächen zeigen eine Energieeinsparung durch KWK) (AGFW-nahes Modell).....	28
Tabelle 16:	CO ₂ -Vergleich des Betriebes der KWK-Anlagen in 1999 nach dem AG KWK-Modell und dem AGFW-nahen Modell gegenüber unterschiedlichen Referenzsystemen in Mio. t CO ₂ und deren Einordnung nach CO ₂ -Minderungskategorien.....	30
Tabelle 17:	CO ₂ -Veränderung durch den Betrieb der KWK-Anlagen in 1999 in Abhängigkeit von den spezifischen CO ₂ -Emissionen des Referenzsystems Strom und Wärme (schattierte Flächen zeigen eine CO ₂ -Einsparung durch den KWK-Betrieb 1999) (AGFW-nahes Modell).....	38
Tabelle 18:	Durchschnittliche Brennstoffpreise und deren Bandbreiten (in Klammern) für den Einsatz in KWK-Anlagen im Jahr 1999 in [DM/MWh]	43
Tabelle 19:	Struktur der Stromerzeugung in TWh im Bestand der KWK-Anlagen in 1999 gemäß dem AG KWK-Modell nach CO ₂ -Minderungskategorien gegenüber dem Referenzsystem 1 und nach Kategorien der Kostenabweichung gegenüber einem anlegbaren Strompreis von 6 Pf/kWh _{el}	45
Tabelle 20:	Struktur der Stromerzeugung in TWh im Bestand der KWK-Anlagen in 1999 gemäß dem AG KWK-Modell nach CO ₂ -Minderungskategorien gegenüber dem Referenzsystem 2 und nach Kategorien der Kostenabweichung gegenüber einem anlegbaren Strompreis von 6 Pf/kWh _{el}	45
Tabelle 21:	Struktur der Stromerzeugung in TWh im Bestand der KWK-Anlagen in 1999 gemäß dem AG KWK-Modell nach CO ₂ -Minderungskategorien gegenüber dem Referenzsystem 3 und nach Kategorien der Kostenabweichung gegenüber einem anlegbaren Strompreis von 6 Pf/kWh _{el}	45
Tabelle 22:	Struktur der Stromerzeugung in TWh im Bestand der KWK-Anlagen in 1999 gemäß dem AGFW-nahen Modell nach CO ₂ -Minderungskategorien gegenüber dem Referenzsystem 1 und nach Kategorien der Kostenabweichung gegenüber einem anlegbaren Strompreis von 6 Pf/kWh _{el}	46
Tabelle 23:	Struktur der Stromerzeugung in TWh im Bestand der KWK-Anlagen in 1999 gemäß dem AGFW-nahen Modell nach CO ₂ -Minderungskategorien gegenüber dem Referenzsystem 2 und nach Kategorien der Kostenabweichung gegenüber einem anlegbaren Strompreis von 6 Pf/kWh _{el}	46
Tabelle 24:	Struktur der Stromerzeugung in TWh im Bestand der KWK-Anlagen in 1999 gemäß dem AGFW-nahen Modell nach CO ₂ -Minderungskategorien	

	gegenüber dem Referenzsystem 3 und nach Kategorien der Kostenabweichung gegenüber einem anlegbaren Strompreis von 6 Pf/kWh _{el}	47
Tabelle 25:	Struktur der Stromerzeugung in TWh im Bestand der KWK-Anlagen in 1999 gemäß dem AGFW-nahen Modell nach CO ₂ -Minderungskategorien gegenüber dem Referenzsystem 4 und nach Kategorien der Kostenabweichung gegenüber einem anlegbaren Strompreis von 6 Pf/kWh _{el}	47
Tabelle 26:	Angaben zur Ermittlung des Stromerzeugungs- und Wärmeerzeugungsmix ..	52
Tabelle 27:	CO ₂ -Emissionsbewertung der Gegendruckscheibe aus dem AGFW-Beispiel in Abhängigkeit vom eingesetzten Energieträger und vom Referenzsystem (öffentliche Versorgung).....	54
Tabelle 28:	Notwendige Stromkennzahl in Abhängigkeit vom Jahresnutzungsgrad und vom eingesetzten Brennstoff zur Einordnung in die CO ₂ -Minderungskategorien gegenüber dem Referenzsystem 2	57
Tabelle 29:	Notwendiger elektrischer Nutzungsgrad in Abhängigkeit vom Jahresnutzungsgrad und vom eingesetzten Brennstoff zur Einordnung in die CO ₂ -Minderungskategorien gegenüber dem Referenzsystem 2	58
Tabelle 30:	Übersicht zum KWK-Anlagenbestand in 1999 in der öffentlichen und in der industriellen Versorgung und CO ₂ -Emissionsvergleich gegenüber dem Referenzsystem 2.....	59
Tabelle 31:	Anlagenanzahl, KWK-Stromerzeugung gemäß dem AGFW-nahen Modell in TWh und Gesamtstromerzeugung in TWh im Bestand der öffentlichen und der industriellen KWK-Anlagen in 1999 nach CO ₂ -Minderungskategorien gegenüber dem Referenzsystem 2	60

1 Einleitung

Mit der Verabschiedung des Energiewirtschaftsgesetzes und der Liberalisierung des Strommarktes haben sich die Wettbewerbsbedingungen für die Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) grundlegend geändert. Gleichzeitig wird in Deutschland eine weitere Reduktion der energiebedingten CO₂-Emissionen angestrebt. In diesem Zusammenhang wird von einem weiteren Ausbau der KWK ein wesentlicher Zielerreichungsbeitrag erwartet. Als mögliches Förderinstrument zum KWK-Ausbau wird insbesondere ein Quoten-(handels-)modell für Strom aus KWK-Anlagen diskutiert. Damit wird es notwendig, Zertifizierungskriterien festzulegen, die die Einbeziehung der unterschiedlichen KWK-Techniken regeln, sowohl im Anlagenbestand als auch beim Neubau.

Im Zusammenhang mit der angestrebten CO₂-Minderung sind somit für den KWK-Anlagenbestand, der alleine im Rahmen des Gutachtens betrachtet wird, insbesondere dessen Einordnung hinsichtlich der damit verbundenen Energieeinsparung und CO₂-Minderung sowie hinsichtlich der Wettbewerbsfähigkeit im liberalisierten Strommarkt von Interesse. Diese drei Themenblöcke stehen damit auch im Zentrum des vorliegenden Gutachtens. Auf der Basis der IER-Kraftwerks-Bestands-Datenbank (Abschnitt 2) und den darin erfassten Typen von KWK-Anlagen (Abschnitt 3) wird für die Situation im Jahr 1999¹ die KWK-Stromerzeugung ermittelt (Abschnitt 4). Darauf aufbauend erfolgt eine Auswertung des Betriebs des KWK-Anlagenbestandes im Jahr 1999 hinsichtlich Energieeffizienz (Abschnitt 5), den damit verbundenen CO₂-Emissionseinsparungen (Abschnitt 6) und der Wettbewerbsfähigkeit der bestehenden KWK-Anlagen im liberalisierten Strommarkt (Abschnitt 7).

2 Grundlagen der IER-Kraftwerks-Bestands-Datenbank

Auf der Basis verfügbarer Statistiken sowie von Unternehmensinformationen wurde in der Vergangenheit am IER Stuttgart eine Kraftwerks-Bestands-Datenbank erstellt, die auch entsprechende Informationen zum KWK-Anlagenbestand einschließlich der industriellen Heizkraftwerke und der Blockheizkraftwerke (BHKW) beinhaltet. Grundlage waren Arbeiten im IKARUS-Projekt, beginnend in 1989, wo für die Anlagen die Grundinformationen erhoben wurden. Diese Basis ist fortlaufend über Abgleiche und Auswertungen verschiedener Quellen aktualisiert und ergänzt worden, z. B. über die AGFW-Statistik, die VDEW Statistik, die BHKW-Datenbank der hessenEnergie, die VIK Statistik, die Fachserie 4, Reihe 6.4 des Statistischen Bundesamtes, die Statistik im Jahrbuch Bergbau, Erdöl und Erdgas, Petrochemie, Elektrizität, Umweltschutz (Glückauf) oder die Angaben zu den Verfügbarkeiten der Kraftwerke vom VGB. Im Rahmen des Vorhabens wurde des Weiteren Gespräche mit der AGFW am 22.9.2000, dem VIK am 26.9.2000, AGFW und VIK am 16.11.2000 sowie dem Fraunho-

¹ Das Jahr 1999 wird hier aus Gründen der Verfügbarkeit der aktuellsten Datenbasis verwendet. Es ist zu beachten, dass aufgrund der in diesem Jahr erstmals in vollem Umfang wirksamen Liberalisierungseffekte die Repräsentativität hinsichtlich der tatsächlichen Verhältnisse eingeschränkt sein kann.

fer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung (ISI) Karlsruhe am 9.4.2001 durchgeführt, um die vorhandenen Informationen abzugleichen.

In Tabelle 1 sind exemplarisch für einige ausgewählte Anlagen die in der IER-Kraftwerks-Bestands-Datenbank enthaltenen technischen Daten und Betriebsdaten 1999 aufgeführt, wobei hier eine Sortierung nach dem eingesetzten Brennstoff vorgenommen worden ist.

Tabelle 1: Auszug aus der IER-Kraftwerks-Bestands-Datenbank zu KWK-Anlagen in 1999 (Werte z. T. gerundet)

Anlagen-Nr.		663	98	258	547	2788	5028	321	747	398	345
Typ		Dampft.	Dampft.	Dampft.	Dampft.	BHKW	BHKW	GuD	GuD	Gasturb.	HKW
Art		GD	GD	GD	GD	GD	GD	GD	GD	GD	GD
Betreiber		Industrie	Öffentlich	Öffentlich	Industrie	Hotel	Krankenh.	Öffentlich	Industrie	Industrie	Öffentlich
El. Nettoleistung	MWel	200,00	55,00	77,00	200,00	0,20	1,90	23,80	170,00	20,00	2,00
Wärmeleistung	MWfw	369,23	133,16	131,19	274,00	0,34	2,82	32,60	170,00	35,86	8,00
Feuerungsleistung	MWbr	769,23	289,47	285,19	571,00	0,65	5,43	87,63	386,36	68,97	12,50
Brennstoff		Braun- kohle	Stein- kohle	Stein- kohle	Stein- kohle	Heizöl leicht	Erdgas	Erdgas	Erdgas	Erdgas	Biomasse
CO ₂ -Faktor	t / GWhbr	401,4	334,8	334,8	334,8	266,4	201,6	201,6	201,6	201,6	0
Betriebsdaten 1999											
Nettostromerzeugung	GWhel	1351,78	211,75	327,25	1389,88	0,99	9,98	121,19	985,60	122,30	9,90
Wärmeerzeugung	GWhfw	2495,59	512,67	557,54	1904,13	1,66	14,82	166,00	985,60	219,30	39,60
Brennstoffeinsatz	GWhbr	5253,85	1151,42	1215,37	3997,00	3,23	28,76	461,00	2255,38	424,34	62,50
Arbeitsbez. Stromkz.		0,542	0,413	0,587	0,730	0,596	0,673	0,730	1,000	0,558	0,250
Jahresnutzungsgrad		73,2%	62,9%	72,8%	82,4%	82,2%	86,2%	62,3%	87,4%	80,5%	79,2%
CO ₂ -Emissionen	kt	2108,9	385,5	406,9	1338,2	0,9	5,8	92,9	454,7	85,5	0,0

3 Erfasste KWK-Anlagen

Die in der IER-Kraftwerks-Bestands-Datenbank erfassten KWK-Anlagen lassen sich nach unterschiedlichen Kriterien klassifizieren:

- Anlagenspezifikation,
- Jahresnutzungsgrad,
- Stromkennzahl (leistungsbezogen / arbeitsbezogen),
- elektrische Nettoleistung,
- Energiemehrbedarfszahl bzw. Brennstoffeinsparung,
- Strom- bzw. Wärmeabgabe,
- CO₂-Emissionen.

KWK-Anlagen können prinzipiell in Anlagen mit und ohne Kondensationsstromerzeugung unterteilt werden. Bei Entnahme-Kondensations-Betrieb wird an verschiedenen Entnahmestellen der Turbine² ein Teil des Dampfstroms zur Wärmenutzung entnommen. Die Auskopplung des

² Hierbei kann zwischen Entnahme- und Anzapfturbine unterschieden werden. Die ausgekoppelte Dampfmenge kann bei der Entnahmeturbine mit Hilfe von Regelventilen beeinflusst werden. Bei der Anzapfturbine fehlen die Regelventile. Die ausgekoppelte Dampfmenge entspricht dem Auslegungsfall der Turbine.

Dampfes hat eine Minderung der erzeugten elektrischen Arbeit gegenüber dem reinen Kondensationsbetrieb zur Folge. Die Höhe der Einbuße hängt von der ausgekoppelten Dampfmenge, der Höhe der Vor- und Rücklaufstemperatur der Fernwärme sowie von der Anzahl und der Anordnung der Entnahmestufen ab. Die Stromverlustkennziffer³ beträgt zwischen 0,1 und 0,25. Beim Gegendruck-Betrieb wird erst hinter der Turbine Heißwasser in einem Heizkondensator erzeugt. Der Dampfturbinenwirkungsgrad, besonders der Gegendruckturbine, sinkt im Teillastbereich stark ab. Im Ganzjahresbetrieb fällt der Brennstoffnutzungsgrad aufgrund der Teillast- sowie An- und Abfahrverluste ab.

In Abbildung 1 sind unterschiedliche Varianten von KWK-Anlagen mit Dampferzeugern dargestellt.

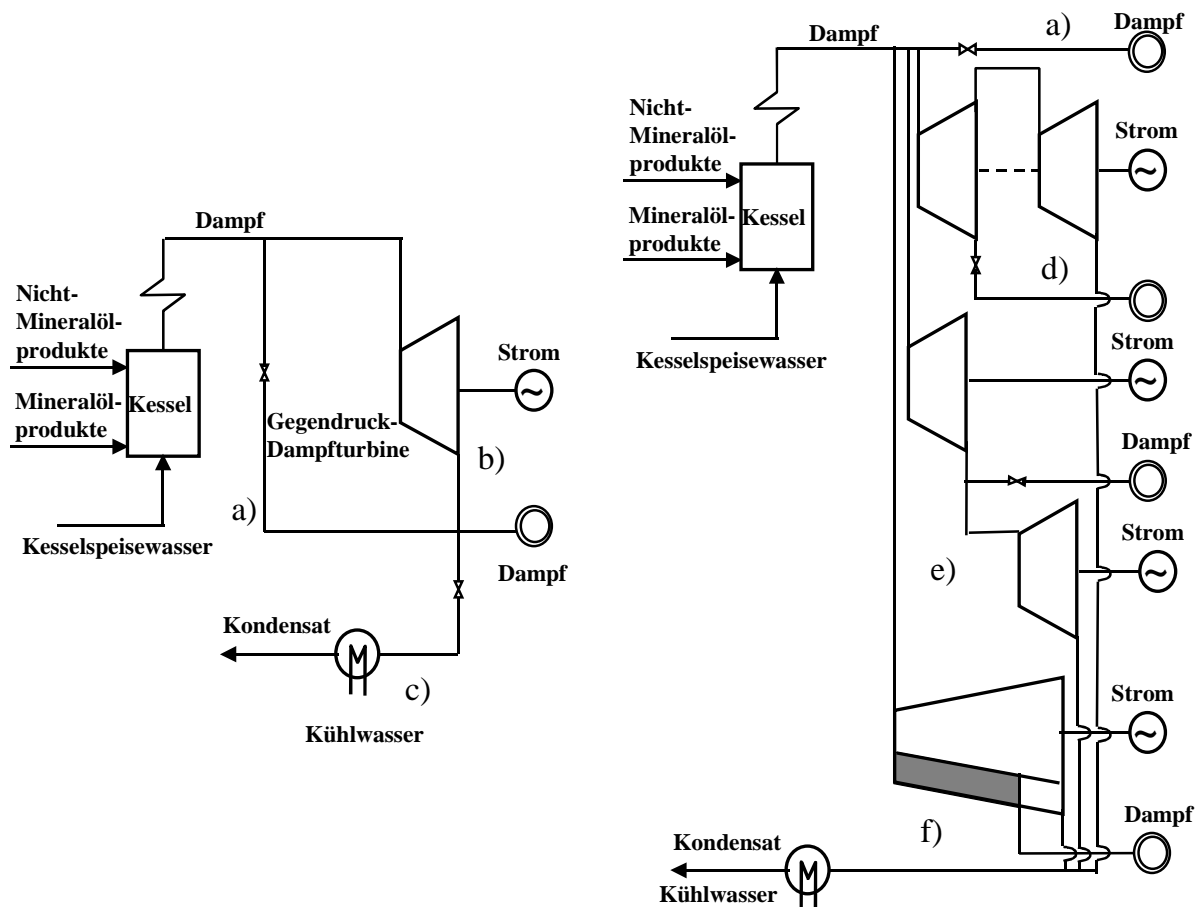


Abbildung 1: Varianten von KWK-Anlagen mit Dampferzeugern

Die linke Hälfte der Abbildung 1 enthält die einfache Variante der KWK-Anlage auf Basis eines Dampferzeugers und einer Gegendruckdampfturbine. Parallel zur Dampfturbine ist bei KWK-Anlagen meistens eine Dampfreduzierstation eingerichtet, um bei Ausfall der Turbine eine sichere Wärmeversorgung zu gewährleisten (Heizumleitbetrieb). Teilweise verfügen Heizkraftwerke über Hilfskühler. Diese sind entweder direkt als Hilfskühltürme in das

³ Die (leistungsbezogene) Stromverlustkennziffer einer KWK-Anlage ist der Quotient aus der elektrischen Netto-Leistungseinbuße und der Netto Heizleistung.

Kraftwerk oder indirekt in den Vor- oder Rücklauf der Fernwärmeversorgung integriert. Das Heizkraftwerk kann dadurch auch als Spitzenlastkraftwerk betrieben werden.

In der rechten Hälfte von Abbildung 1 sind unterschiedliche Varianten mit Entnahmekondensationsturbinen dargestellt. Im Fall d) sind Gegendruck- und eine Kondensationsturbine auf einer Welle angeordnet, dagegen ist bei e) die Kondensationsturbine unabhängig nachgeschaltet. Bei f) handelt es sich um eine Anzapf- oder Entnahmekondensationsturbinenanlage. Die Aufteilung in Kondensations- und Gegendruckscheibe (vgl. Abschnitt 4.1) ist durch die schraffierte Fläche grafisch dargestellt.

Eine analoge Unterscheidung zwischen verschiedenen Varianten von KWK-Anlagen kann bei der Integration von Gasturbinen (GT) getroffen werden. Die unterschiedlichen Varianten zeigt Abbildung 2. Durch die Integration der Gasturbine in eine KWK-Anlage wird die Variantenvielfalt gesteigert. Die einfachste Form der KWK-Anlage ergibt sich durch Kombination mit einem Abhitzekessel, der Dampf des Abhitzekessels kann direkt oder mit Hilfe von Gegendruck-, Entnahme- oder Kondensationsturbinen genutzt werden. Die Dampfparameter des Abhitzekessels können mit einer Zusatzfeuerung beeinflusst werden. Die rechte Hälfte entspricht der Variantenvielfalt aus Abbildung 1.

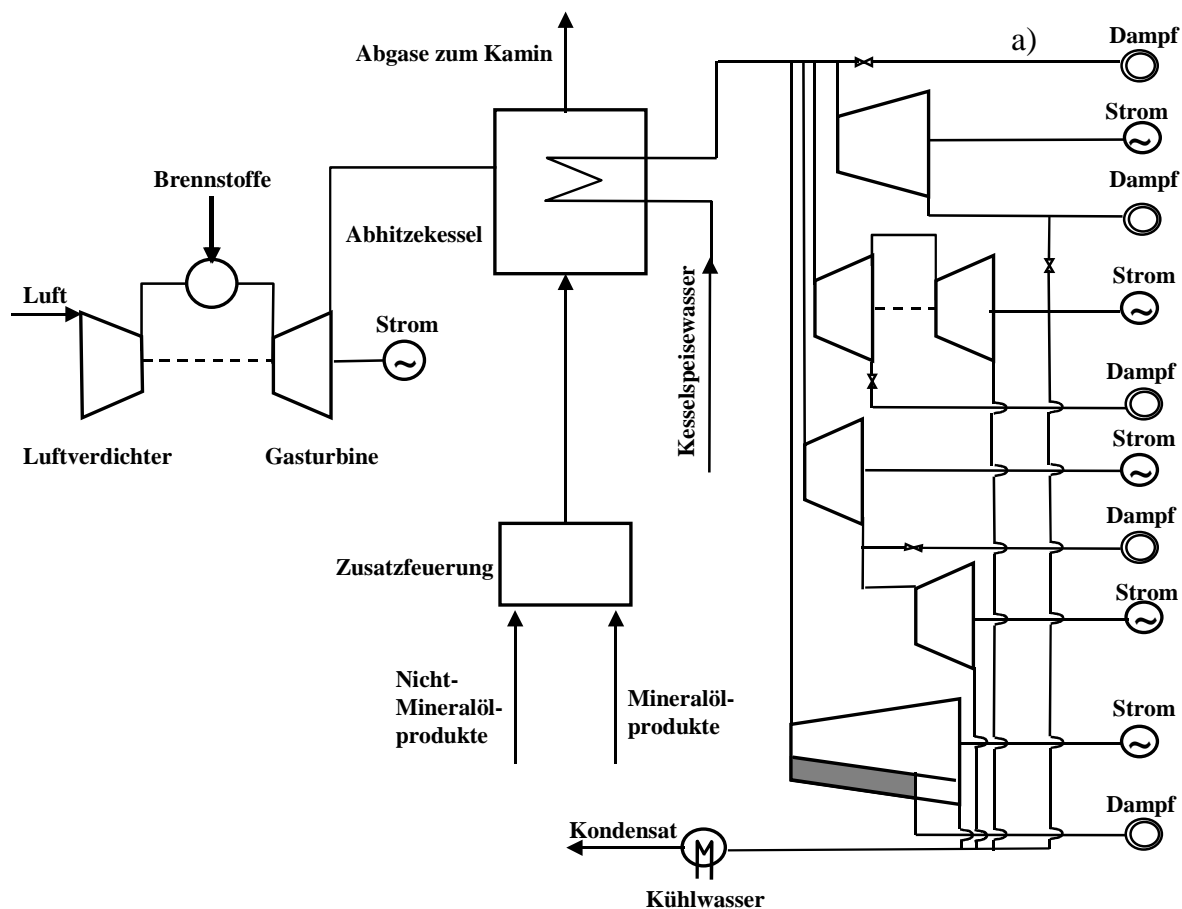


Abbildung 2: Varianten von KWK-Anlagen mit Gas- und Dampfturbinen

Bereits bei der Kombination mehrerer Turbinen ist notwendigerweise ein Bilanzkreis zu definieren. Wenn der Bilanzkreis, als räumliche Abgrenzung der klassifikationsrelevanten Komponenten, wie bei der Mineralölsteuerbefreiung von GuD- und sonstigen Anlagen der Kraft-Wärme-Kopplung nicht definiert ist, sind unterschiedliche Bilanzgrenzen in Abhängigkeit der Anlagenfahrweise bzw. der Kombination der Anlagenkomponenten möglich.

Ein kleiner Bilanzkreis könnte beispielsweise aus einer Gasturbine und einem Abhitze-kessel oder aus einem Dampferzeuger und einer Gegendruckturbine bestehen. Die nachfolgende Nutzung des Dampfes direkt als Prozesswärme oder in kombinierter Form direkt als Prozesswärme und indirekt in einer Kondensationsturbine würden in diesem Fall nicht bewertet werden, obwohl der Brennstoffnutzungsgrad differiert. Werden bei einer Klassifikation keine Anforderungen an den Bilanzkreis aber an die Stromkennzahl gestellt, würde eine nachfolgende Kondensationsturbine in den Bilanzkreis aufgenommen.

Die Problematik der Wahl des Bilanzkreises verstärkt sich noch, wenn beispielsweise eine Vielzahl von Wärmeerzeugungssystemen, wie es bei industriellen Anlagen der Fall sein kann, in ein Dampfnetz einspeisen. In Abbildung 3 sind unterschiedliche mögliche Bilanzierungs-räume durch gepunktete und gestrichelte Linien angedeutet.

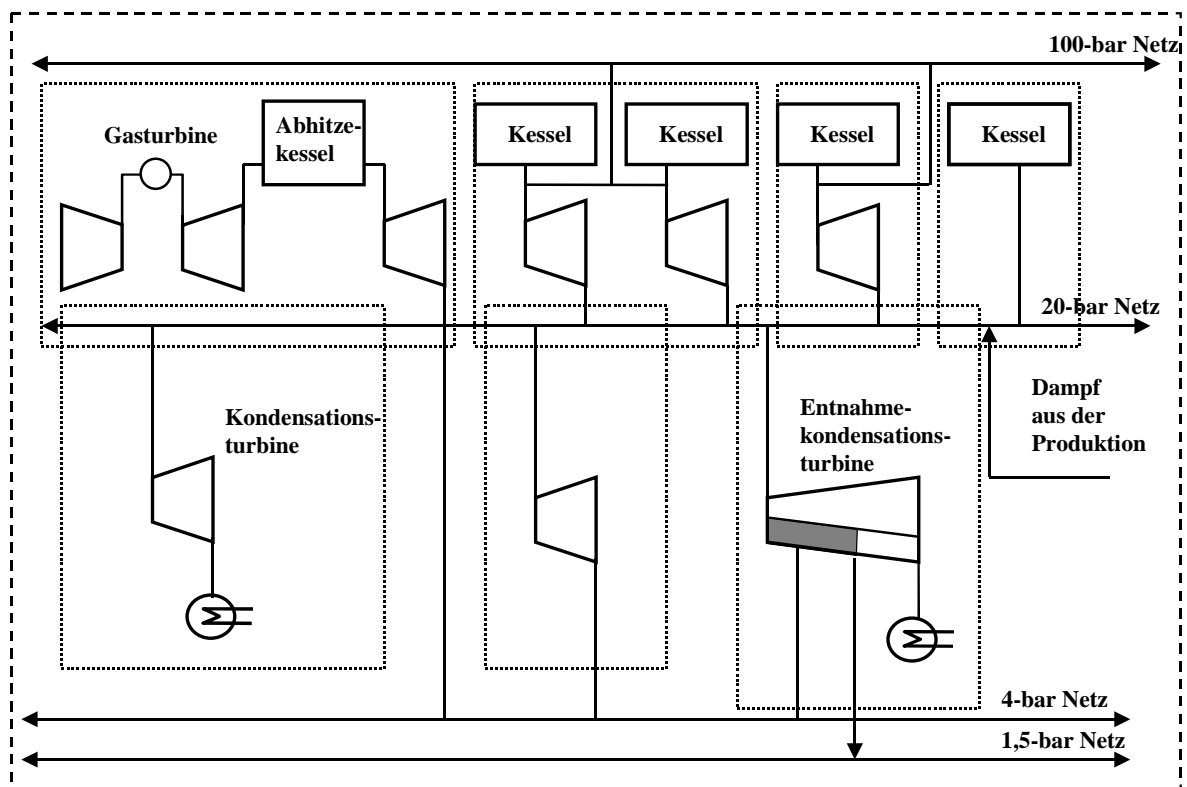


Abbildung 3: KWK-Anlagen in der Industrie

Bei mehrstufigen Dampfnetzen ist es schwierig, einen geeigneten Bilanzraum festzulegen. In dem Beispiel der Abbildung 3 wird nur ein Dampfnetz (vgl. 100-bar Dampfnetz) aus-

schließlich durch Kessel betrieben. In die anderen Dampfnetze speisen sowohl Kessel, GT mit Abhitze-kessel, Gegendruckturbinen als auch Entnahmekondensationsturbinen. Im Fall einer Kopplung zweier Dampfnetze mit Gegendruck- oder Entnahmekondensationsturbine ist die energetische Beurteilung und Bilanzierung der vorgelagerten Dampferzeugung problematisch.

Für die Festlegung der erzeugten KWK-Strommenge würde bei einer getrennten Bilanzierung der Komponenten die Kondensationsturbine, die in diesem Fall die Druckreglung des Dampfnetzes übernimmt, nicht berücksichtigt. Bei den vorher dargestellten Varianten von KWK-Anlagen mit Entnahmekondensationsturbine war jedoch teilweise die Kondensations-turbine im Kondensationsteil der Entnahmekondensationsturbine enthalten. Für die Bewertung des KWK-Stroms ist es daher notwendig, den Kondensationsanteil der KWK-Stromerzeugung zu bestimmen und ihn von der erzeugten Gesamtstrommenge zu subtrahieren.

Da in ein Dampfnetz mehrere Erzeugungseinheiten einspeisen und in der Regel mehrere kraftwerksunabhängige Verbraucher Nutzwärme entnehmen, ist bei einem mehrstufigen Netz die Aufteilung der eingesetzten Brennstoffmenge nur möglich, wenn zu jedem Zeitpunkt alle Betriebsparameter bekannt sind.

Bei industriellen Prozessen ist im weiteren die eingesetzte Brennstoffmenge teilweise schwer zu bestimmen, wenn Abgase von Industrieöfen in nachgeschalteten Dampferzeugern genutzt werden, um anschließend in Gegendruck- oder Entnahmekondensationsturbinen Elektrizität und Dampf mit anderem Temperatur- und Druckniveau zu erzeugen. Im Bereich der Siedlungs-KWK bzw. der öffentlichen Versorgung sind Dampfnetze im geringeren Maße vorhanden. Abbildung 4 zeigt exemplarisch eine KWK-Anlage der öffentlichen Versorgung.

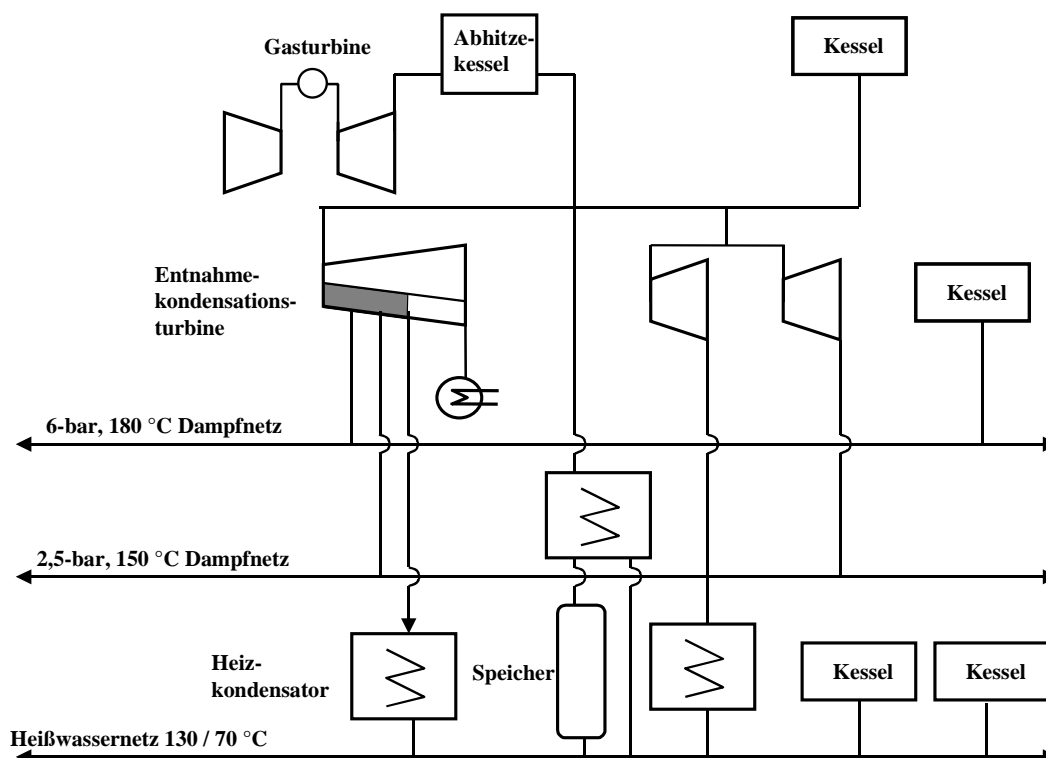


Abbildung 4: KWK-Anlagen in der öffentlichen Versorgung

Der Bilanzierungsraum ist aufgrund der Sammelschienen nicht eindeutig. (Ein Kessel und eine GT speisen Dampf in eine Entnahmekondensationsturbine bzw. zwei Gegendruckturbinen). Die Integration von Speichern ermöglicht eine flexible Fahrweise des Erzeugungssystems (hier der GT mit Abhitzeessel). Durch die Kombination der unterschiedlichen Komponenten wird einerseits die Versorgungssicherheit gewährleistet, andererseits die Wirtschaftlichkeit des Gesamtsystems beeinflusst.

Tabelle 2 vergleicht die Angaben in der VIK-Statistik für 1999 bezüglich der industriellen KWK-Anlagen und in der AGFW-Statistik für 1999 bezüglich der Siedlungs-KWK mit den Informationen aus der IER-Kraftwerks-Bestands-Datenbank, die sich auf die Situation im Jahr 1999 beziehen. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass in den beiden veröffentlichten Statistiken die Blockheizkraftwerke nur zu einem geringen Teil erfasst werden und dass in der VIK-Statistik bislang keine gesonderte Ausweisung der GuD-Anlagen vorgenommen wird. Weiterhin ist zu berücksichtigen, dass den statistischen Erhebungen teilweise eine unterschiedliche Abgrenzung der KWK-Anlagen zugrunde liegt. Aus dem Vergleich der vorliegenden statistischen Angaben ergibt sich, dass die IER-Datenbank eine vergleichsweise umfassende, nach einheitlichen Kriterien vorgenommene Einordnung des KWK-Anlagenbestandes in Deutschland darstellt, die aufgrund der Einzelerfassung der Anlagen gleichzeitig Doppelzählungen vermeidet.

Tabelle 2: Vergleich der verschiedenen Statistiken

				Dampfturbinen			GuD-Anlagen ⁴	Gasturbinen			BHKW	Summe
				Gegendruck-turbine	Entnahme-kond.	Summe		mit Abhitze-kessel	mit Dampf-entnahme	Summe		
Industrie	IER 99	Anzahl	[1]	189	94	283	9	20	93	113	1256	1661
		Leistung	[MW_el]	4391	3922	8313	1270	180	1116	1296	715	11594
	VIK 99	Anzahl	[1]									
		Leistung	[MW_el]		4432	4778	9210				1315	208
Öffentliche	IER 99	Anzahl	[1]	9	252	261	23	8	55	63	3713	4060
		Leistung	[MW_el]	58	17503	17561	2461	33	1281	1314	1572	22908
	AGFW 99	Anzahl	[1]			148	22			49	330	549
		Leistung	[MW_el]			7072	2194			964	444	10675
Summe	IER 99	Anzahl	[1]	198	346	544	32	28	148	176	4969	5721
		Leistung	[MW_el]	4449	21425	25874	3731	213	2397	2610	2287	34502

Gemäß der Erfassung in der IER-Kraftwerks-Bestands-Datenbank sind demnach in den 5721 KWK-Anlagen in Deutschland insgesamt rund 34,5 GW_{el} netto installiert. Zum Vergleich beträgt nach Angaben der VDEW die gesamte installierte Netto-Engpaßleistung der Kraftwerke in Deutschland ca. 108 GW_{el} (ohne private Einspeiser).

⁴ Im Folgenden werden die GuD-Anlagen in der Industrie nicht mehr gesondert ausgewiesen, sondern der Kategorie Dampfturbinen zugeordnet, da die Industrieberichterstattung bislang keine getrennte Ausweisung von GuD-Anlagen vorsieht.

Die Zuordnung der installierten Leistung nach den Kriterien arbeitsbezogene Stromkennzahl (ermittelt auf der Basis der Betriebsweise in 1999), d. h. dem Verhältnis zwischen der erzeugten Strommenge und der erzeugten Wärmemenge, und Jahresnutzungsgrad (Verhältnis zwischen der Summe aus den erzeugten Strom- und Wärmemengen und dem dazugehörigen Brennstoffeinsatz), ebenfalls bezogen auf 1999, zeigt Tabelle 3. Eine entsprechende Zusammenstellung nach den Kriterien leistungsbezogene Stromkennzahl, d. h. dem Verhältnis der elektrischen Leistung zur Wärmeleistung, und Jahresnutzungsgrad ist in Tabelle 4 dargestellt.

Tabelle 3: Zuordnung der installierten Leistung in KWK-Anlagen in MW_{el} nach den Kriterien arbeitsbezogene Stromkennzahl in 1999 und Jahresnutzungsgrad in 1999

		Jahresnutzungsgrad 1999								Summe	
		0,0 - 0,2	0,2 - 0,3	0,3 - 0,4	0,4 - 0,5	0,5 - 0,6	0,6 - 0,7	0,7 - 0,8	0,8 - 0,9		0,9 - 1,0
Stromkennzahl (arbeitsbezogen) 1999	0 - 0,2			0	0	67	27	541	142	70	846
	0,2 - 0,3			0	72	35	289	249	1668	378	2691
	0,3 - 0,4			0	0	0	110	253	797	63	1223
	0,4 - 0,5			0	0	8	2250	1013	524	12	3807
	0,5 - 0,6			0	0	473	494	924	2799	70	4759
	0,6 - 0,7			0	0	914	737	2358	2034	0	6043
	0,7 - 0,8			21	17	0	167	756	1398	0	2360
	0,8 - 0,9			0	0	0	127	337	912	0	1375
	0,9 - 1,0			3	0	475	270	49	830	0	1627
	> 1,0			145	6414	394	1893	528	388	7	9770
Summe		0	0	170	6503	2366	6363	7008	11491	600	34502

Tabelle 4: Zuordnung der installierten Leistung in KWK-Anlagen in MW_{el} nach den Kriterien leistungsbezogene Stromkennzahl und Jahresnutzungsgrad in 1999

		Jahresnutzungsgrad 1999								Summe	
		0,0 - 0,2	0,2 - 0,3	0,3 - 0,4	0,4 - 0,5	0,5 - 0,6	0,6 - 0,7	0,7 - 0,8	0,8 - 0,9		0,9 - 1,0
Stromkennzahl (leistungsbezogen)	0 - 0,2			0	0	157	33	510	373	102	1175
	0,2 - 0,3			135	27	12	557	193	1217	222	2365
	0,3 - 0,4			0	0	86	432	286	1353	104	2262
	0,4 - 0,5			0	0	20	1817	357	219	36	2449
	0,5 - 0,6			0	0	210	560	809	2501	18	4098
	0,6 - 0,7			3	33	1300	598	1748	1875	8	5566
	0,7 - 0,8			21	17	0	262	1355	1293	17	2965
	0,8 - 0,9			0	0	0	172	337	1320	15	1843
	0,9 - 1,0			0	0	475	270	124	830	0	1699
	> 1,0			45	6304	660	1954	727	386	0	10077
Summe		0	0	204	6382	2922	6655	6448	11368	523	34502

Nach Tabelle 3 kann hinsichtlich der gesamten installierten elektrischen Leistung in KWK-Anlagen der überwiegende Teil der Anlagen in 1999 arbeitsbezogene Stromkennzahlen von mehr als 0,5 (25,9 GW, d. h. 75 %) bzw. sogar mehr als 0,6 (21,2 GW, d. h. 61 %) vorweisen und auch der Jahresnutzungsgrad ist bei einer sehr weiten Abgrenzung von KWK-Strom für den überwiegenden Teil der Leistung höher als 50 % (27,8 GW, d. h. 81 %) bzw. sogar höher als 70 % (19,1 GW, d. h. 55 %). Die Kriterien eines Jahresnutzungsgrades von mehr als 70 % in 1999 und einer arbeitsbezogenen Stromkennzahl in 1999 von mehr als 0,5 erfüllen somit 13,4 GW, d. h. 39 % der gesamten installierten Leistung in KWK-Anlagen.

4 Stromerzeugung im KWK-Anlagenbestand

In einer sehr weiten Fassung des KWK-Begriffes wird zunächst unterstellt, dass jede Stromerzeugung in einer KWK-fähigen Anlage auch als KWK-Strom gerechnet werden kann. Die entsprechende Zuordnung nach Jahresnutzungsgraden zeigt Tabelle 5. In den erfassten KWK-Anlagen wurden in diesem weiten Sinne in 1999 insgesamt ca. 107 TWh_{ne} an Strom erzeugt. Die Nettostromerzeugung in Deutschland beläuft sich zum Vergleich in 1999 nach Angaben der VDEW auf rund 510,4 TWh (ohne private Einspeiser). Wird zur Abgrenzung von KWK-Strom als Effizienzkriterium ein Jahresnutzungsgrad von mehr als 50 % gefordert, reduziert sich die Nettostromerzeugung aller KWK-Anlagen (im weiten Sinne) in 1999 auf rund 85 TWh_{ne}. Falls ein Jahresnutzungsgrad von mehr als 70 % die Voraussetzung ist, um in eine KWK-Förderung zu gelangen, wie es z. B. im Gesetzentwurf des VKU vom 27.6.2000 für eine KWK-Quotierung in Anlehnung an die Ökosteu-er-Regelung vorgeschlagen wurde, so sind damit in KWK-Anlagen (im weiten Sinne) in 1999 insgesamt ca. 55 TWh_{ne} erzeugt worden.

Tabelle 5: Zuordnung der Stromerzeugung in KWK-Anlagen in TWh nach unterschiedlichen Klassen von Jahresnutzungsgraden in 1999

	Jahresnutzungsgrad 1999									Summe
	0,0 - 0,2	0,2 - 0,3	0,3 - 0,4	0,4 - 0,5	0,5 - 0,6	0,6 - 0,7	0,7 - 0,8	0,8 - 0,9	0,9 - 1,0	
Summe	0,0	0,0	0,8	22,0	12,9	17,0	17,7	34,8	2,3	107,4

4.1 Ansätze zur Abgrenzung von KWK-Strom

Gegenüber der relativ weiten Fassung des KWK-Begriffes im vorigen Absatz wird häufig argumentiert, dass damit der tatsächlich in Koppelproduktion erzeugte Strom nicht richtig erfasst wird, sondern dass damit auch größere Anteile von Kondensationsstrom in die Betrachtung eingehen. Um das Problem zu umgehen, wurden in der Vergangenheit einige Versuche unternommen, eine Präzisierung des eigentlichen KWK-Stroms vorzunehmen. Um diesen Ansätzen Rechnung zu tragen, wird im Folgenden der KWK-Anlagenbestand jeweils nach dem

Modell der Arbeitsgruppe KWK (VKU, VIK, VDMA, BUND, FG-BHKW, e⁵, IPP's, AGFW, ÖTV) (KWK-Definition A) und nach einem AGFW-nahen Modell (KWK-Definition B) ausgewertet.

Nach dem Modell der Arbeitsgruppe KWK (AG KWK-Modell) gilt als in Kraft-Wärme-Kopplung erzeugte Elektrizität

- (1) die Netto-Elektrizitätserzeugung der Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen, deren jährliche Netto-Netzeinspeisung von elektrischer Energie und von zur energetischen Nutzung bestimmten Wärmeenergie mindestens 70 vom Hundert der jährlich eingesetzten Brennstoffenergie (unterer Heizwert) beträgt oder
- (2) bei Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen mit einer jährlichen Brennstoffausnutzung unter 70 vom Hundert das Produkt aus der zur energetischen Nutzung bestimmten Wärmenetzeinspeisung und der Stromkennzahl; die Stromkennzahl ist das Verhältnis der Erzeugung von elektrischer Energie zu Nutzwärme bei Vollast und bei der anlagenspezifisch maximal möglichen Wärmeauskopplung.

Nach Überlegungen der AGFW werden demgegenüber wärmeauskoppelnde Stromerzeugungsanlagen in Gegendruck- und Kondensationsscheiben aufgeteilt. Diese Differenzierung wird vorgenommen, um zwischen KWK-Anlagen auf Basis von Gegendruckanlagen und von Entnahmekondensationsanlagen zu unterscheiden. Bei den Anlagen mit Gegendruckcharakter (Gegendruckanlagen, Entnahme-Gegendruckanlagen, Gasturbinen mit Abwärmenutzung, BHKW) kann die KWK-Stromerzeugung direkt für den Gegendruckfall bestimmt werden – auch wenn vereinzelt Auspuffbetrieb oder Hilfskondensation möglich ist. Bei Entnahme- oder Anzapfkondensationsanlagen kann die „eingebaute“ Kraft-Wärme-Kopplung mittels der Gegendruckscheibe durch den Vergleich zweier Betriebszustände ermittelt werden. Erforderlich ist die einmalige Betriebsmessung der Kondensationsstromerzeugung oder die Entnahme der Daten aus vorhandenen Abnahmeprotokollen (Zertifizierung des Referenzbetriebes). Im Vergleich hierzu müssen dann im laufenden (Entnahme-)Betrieb die Nettostromerzeugung, Nettowärmeerzeugung und Kondensationsabwärme bekannt sein (vgl. Abbildung 5).

Da die für die Vorgehensweise der AGFW benötigten Informationen aus den vorliegenden Statistiken und Unternehmensinformationen nicht vollständig verfügbar sind, sondern über eine anlagenscharfe Erfassung bzw. Messung zu beschaffen wären, muss für die hier vorgenommene Abschätzung ein Näherungsverfahren verwendet werden, das auf einer Vorgabe von typischen Kennlinien hinsichtlich des Brennstoffanteils der Gegendruckscheibe (vgl. Abbildung 6) bzw. von repräsentativen Stromverlustkennziffern (Stromeinbußen) beruht. Aufgrund der damit einhergehenden Ungenauigkeiten, die im Bereich von –5 % bis +5 % liegen, wird das Modell B als „AGFW-nahes Modell“ bezeichnet.

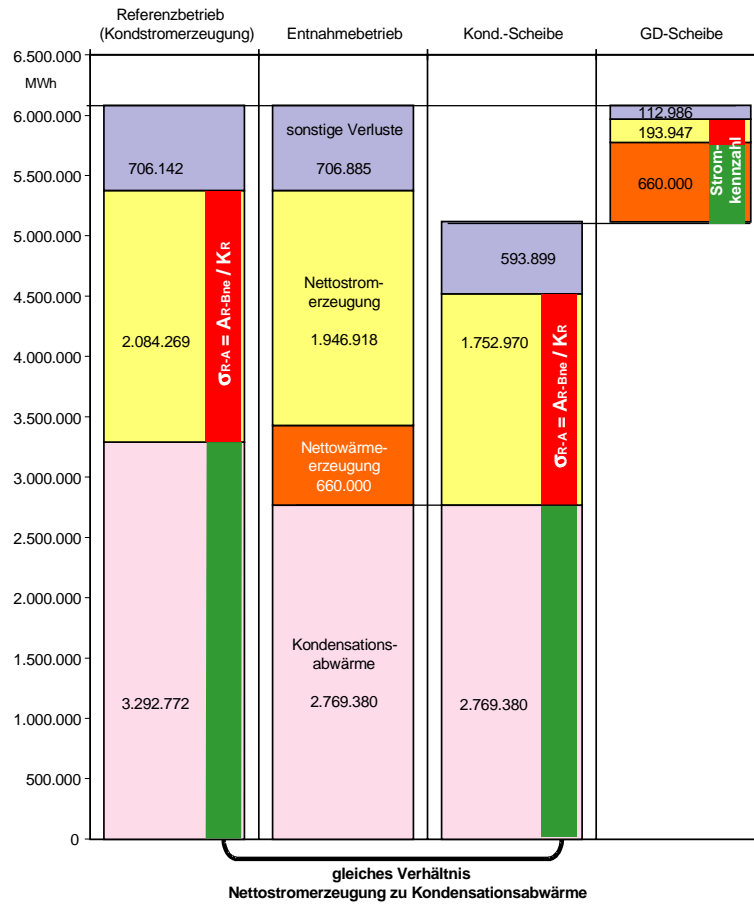


Abbildung 5: Aufteilung der Energieströme einer Entnahmekondensationsanlage in Kondensations- und Gegendruck-Scheibe (Quelle: AGFW)

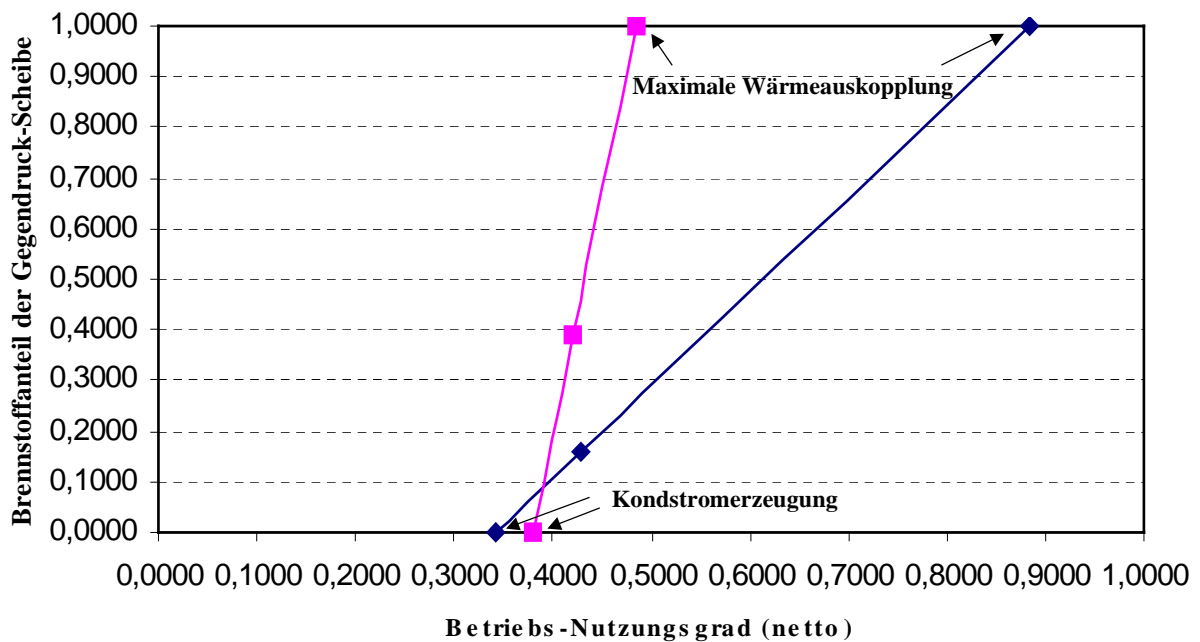


Abbildung 6: Beispiele für die Ermittlung der Brennstoffanteile der Gegendruckscheibe von Entnahmekondensationsanlagen mittels typischer Kennlinien

4.2 Referenzsysteme

Will man die bei der Nutzung von KWK-Anlagen auftretenden CO₂- bzw. Energieeinsparungen technologiebezogen ermitteln, so muss man die CO₂-Emissionen bzw. den damit einhergehenden Energieeinsatz mit dem CO₂-Ausstoß bzw. dem Energieeinsatz vergleichen, die sich ergeben, wenn man die gleichen Strom- und Wärmemengen in getrennten Erzeugungssystemen, einem sogenannten Referenzsystem, bereitstellt. Dabei stößt man auf das Problem, dass sich mit der jeweils betrachteten Erzeugungstechnologie auch der jeweilige zum Einsatz kommende Brennstoff ändern kann. Vergleicht man bspw. die gekoppelte Erzeugung von Strom und Wärme in KWK-Anlagen mit der getrennten Stromerzeugung in einem Kondensationskraftwerk (Stromerzeugung) und in einem Heizwerk (Wärmeerzeugung) hinsichtlich ihrer Nutzungsgrade, so ergibt sich in vielen Fällen ein höherer Gesamtnutzungsgrad und damit eine Energieeinsparung für die KWK-Anlage (Technologieeffekt). Daraus folgt jedoch noch nicht zwangsläufig, dass mit der Energieumwandlung mittels KWK ein niedrigerer CO₂-Ausstoß verbunden ist. Dafür ist der Kohlenstoffgehalt der eingesetzten Brennstoffe eine entscheidende Größe (Brennstoffeffekt). Somit ist die Festlegung der Referenzsysteme entscheidend, um die CO₂-Effizienz der KWK beurteilen zu können. Dies betrifft sowohl die Strom- als auch die Wärmeerzeugung.

Für die Wahl des entsprechenden Referenzsystems gibt keine wissenschaftlich abgesicherte Begründung.⁵ Somit gibt es für die Festlegung des Referenzsystems kein objektives Kriterium, sondern allenfalls eine fachlich begründete politische Festlegung im Sinne einer „Was wäre, wenn“-Überlegung. Hier wurden im Rahmen des Gutachtens vom Auftraggeber vier Referenzsysteme vorgegeben, um die CO₂-Einsparung durch den KWK-Anlagenbestand bewerten zu können:

- REF 1: Stromerzeugung im modernen Braunkohlekraftwerk (Jahresnutzungsgrad 44,5 % und somit 906,1 g CO₂ je kWh_{el}) und Wärmeerzeugung gemäß dem Wärmemix 1999 (270 g CO₂ je kWh_{Wärme} und mittlerer Nutzungsgrad von 88,4 %⁶ (siehe Anlage 1))
- REF 2: Stromerzeugung gemäß Stromerzeugungsmix 1998⁷ (609,3 g CO₂ je kWh_{el} bzw. Nettojahresnutzungsgrad von 36,2 % (siehe Anlage 1)) und Wärmeerzeugung gemäß dem Wärmemix 1999 (270 g CO₂ je kWh_{Wärme}; mittlerer Nutzungsgrad von 88,4 %)

⁵ Dieser Fragestellung wird derzeit unter anderem im Rahmen der AGFW-Hauptstudie „Pluralistische Wärmeerzeugung“ nachgegangen.

⁶ Die Angaben zum Wärmemix beziehen sich auf die Wärmeerzeugung bzw. Netzeinspeisung aus KWK-Anlagen. Für die getrennte Wärmeerzeugung sind somit im Falle der Siedlungs-KWK die Netzverluste als Gutschrift mit einzubeziehen (siehe Anlage 1). Für die industrielle KWK wurde die Brennstoffstruktur des Jahres 1999 berücksichtigt (siehe auch Tabelle 6). In beiden Fällen ergibt sich jeweils ein Wärmemix von 270 g CO₂ je kWh_{Wärme}.

⁷ Auch für das CO₂-Monitoring zur Selbstverpflichtungserklärung der deutschen Wirtschaft zum Klimaschutz wird von der AGFW der Stromerzeugungsmix zur Bewertung der CO₂-Einsparung durch Fernwärme benutzt.

REF 3: Stromerzeugung im modernen Erdgas-GuD-Kraftwerk (Jahresnutzungsgrad 57,5 % und somit 350,6 g CO₂ je kWh_{el}) und Wärmeerzeugung gemäß dem Wärmemix 1999 (270 g CO₂ je kWh_{Wärme}; mittlerer Nutzungsgrad von 88,4 %)

REF 4⁸: Stromerzeugung im energieträgerspezifischen Vergleichskraftwerk und Wärmeerzeugung in energieträgerspezifischen Wärmeerzeugungsanlagen (Industrie) bzw. gemäß dem Wärmemix 1999 (270 g CO₂ je kWh_{Wärme}; mittlerer Nutzungsgrad von 88,4 %) (Öffentliche Versorgung und BHKW). Die entsprechenden Jahresnutzungsgrade und die spezifischen CO₂-Emissionen der Referenzkraftwerke bzw. Wärmeerzeugungsanlagen der Industrie sind in Tabelle 6 zusammengefasst.

Tabelle 6: Spezifische CO₂-Emissionen und Jahresnutzungsgrade der Referenzkraftwerke im Bestand 1998 /DIW 2000/ sowie der Wärmeerzeugungsanlagen in der Industrie im Jahr 1999

	Stromerzeugung		Wärmeerzeugung in der Industrie	
	Spez. CO ₂ -Emissionen	Nutzungsgrad (netto)	Spez. CO ₂ -Emissionen	Nutzungsgrad (netto)
	g CO ₂ je kWh _{output} (netto)	%	g CO ₂ je kWh _{Wärme} (netto)	%
Braunkohle	1182	34,0	469	86,0
Steinkohle (SK)	900	37,2	385	87,0
Heizöl (Hö)	761	35,6	311	89,0
Erdgas (Eg)	447	45,0	222	91,0
sonstige Gase	955	33,9	368	88,0
Übrige	206	33,2	80	85,0
Mix gesamt	611	35,6	270	90,0
Mix SK/Hö/Eg	783	38,8		

4.3 Kategorisierung der CO₂-Einsparung

Ein Teilziel des Gutachtens ist die Einordnung des Betriebes des KWK-Anlagenbestandes im Jahr 1999 hinsichtlich der damit einhergehenden CO₂-Minderung. Um die Übersichtlichkeit für die 5721 Anlagen zu wahren, wurden bezüglich der CO₂-Einsparung 8 Kategorien gebildet:

- Kategorie 1: CO₂-Minderemissionen von 75 bis 100 %,
- Kategorie 2: CO₂-Minderemissionen von 50 bis 74 %,
- Kategorie 3: CO₂-Minderemissionen von 25 bis 49 %,
- Kategorie 4: CO₂-Minderemissionen von 0 bis 24 %,

Kategorie 5: CO ₂ -Mehremissionen von	1 bis 25 %,
Kategorie 6: CO ₂ -Mehremissionen von	26 bis 50 %,
Kategorie 7: CO ₂ -Mehremissionen von	51 bis 75 %,
Kategorie 8: CO ₂ -Mehremissionen von	mehr als 76 %.

Hierbei beziehen sich die prozentualen CO₂-Emissionsveränderungen immer auf den Vergleich der gesamten getrennten Strom- und Wärmeerzeugung in den jeweiligen Referenzsystemen mit der jeweils betrachteten KWK-Anlage. Somit sind CO₂-Emissionsveränderungen von -75 % bis -100 % durch KWK-Anlagen insbesondere dann zu erwarten, wenn in der KWK-Anlage ein CO₂-freier Brennstoff zum Einsatz, z. B. Biomasse oder Biogase.⁹ Die Ergebnisse sind in den beiden folgenden Abschnitten tabellarisch und in einer graphischen Auswertung, differenziert für die beiden Abgrenzungen von KWK-Strom, zusammengestellt.

4.4 KWK-Stromerzeugung in 1999 nach dem AG KWK-Modell

Nach dem AG KWK-Modell wurden in 1999 in den erfassten 5721 Anlagen insgesamt 91 TWh an KWK-Strom erzeugt (vgl. Tabelle 7 bis Tabelle 9). Im Vergleich zur Referenz 1 sind hiervon 70 TWh (5463 Anlagen) mit einer CO₂-Einsparung verbunden (Kat 1 bis Kat 4), im Vergleich zur Referenz 2 sind es 52 TWh (5279 Anlagen) und im Vergleich zur Referenz 3 rund 30 TWh (4221 Anlagen). Die Anlagenanzahl wird dabei immer durch die Blockheizkraftwerke dominiert, so dass eine weiterführende Auswertung hinsichtlich dieses Kriteriums wenig aussagekräftig erscheint.

Tabelle 7: Anlagenzahl und Stromerzeugung im Bestand der KWK-Anlagen in 1999 gemäß dem AG KWK-Modell nach CO₂-Minderungskategorien gegenüber dem Referenzsystem 1

	Kat 1 -76 bis -100 %	Kat 2 -51 bis -75 %	Kat 3 -26 bis -50 %	Kat 4 0 bis -25 %	Zwischen- summe	Kat 5 25 bis 1%	Kat 6 50 bis 26 %	Kat 7 75 bis 51 %	Kat 8 mehr als 75 %	Summe
Anzahl	939	1540	2751	233	5463	165	60	12	21	5721
davon: Dampft.	70	16	76	141	303	157	60	12	21	553
Gastur.	7	36	103	25	171	5	0	0	0	176
GuD	0	16	6	0	22	1	0	0	0	23
BHKW	862	1472	2566	67	4967	2	0	0	0	4969
Strom [TWh]	3,69	18,09	27,69	20,91	70,38	15,08	2,44	0,35	2,92	91,16
davon: Dampft.	2,05	0,99	18,61	19,80	41,45	14,98	2,44	0,35	2,92	62,14
Gastur.	0,13	4,19	5,83	1,09	11,24	0,06	0,00	0,00	0,00	11,30
GuD	0,00	6,75	0,75	0,00	7,50	0,03	0,00	0,00	0,00	7,53
BHKW	1,51	6,16	2,50	0,02	10,18	0,01	0,00	0,00	0,00	10,19

⁸ Die Auswertungen für das Referenzsystem 4 erfolgen nur für die Abgrenzung des KWK-Stroms nach dem AGFW-nahen Modell (siehe Abschnitt 4.1).

⁹ Siehe hierzu die CO₂-seitige Einordnung der in Abschnitt 4.1 beispielhaft diskutierten Gegendruckscheibe in Abhängigkeit vom eingesetzten Brennstoff in Anlage 2 sowie die Einordnung der Anlagen nach Stromkennzahl bzw. elektrischen Nutzungsgrad sowie Gesamtnutzungsgrad in Abhängigkeit vom eingesetzten Brennstoff in Anlage 3.

Tabelle 8: Anlagenzahl und Stromerzeugung im Bestand der KWK-Anlagen in 1999 gemäß dem AG KWK-Modell nach CO₂-Minderungskategorien gegenüber dem Referenzsystem 2

	Kat 1 -76 bis -100 %	Kat 2 -51 bis -75 %	Kat 3 -26 bis -50 %	Kat 4 0 bis -25 %	Zwischen- summe	Kat 5 25 bis 1%	Kat 6 50 bis 26 %	Kat 7 75 bis 51 %	Kat 8 mehr als 75 %	Summe
Anzahl	937	22	3241	1079	5279	220	125	36	61	5721
davon: Dampft.	69	7	36	75	187	147	122	36	61	553
Gastur.	6	5	96	53	160	14	2	0	0	176
GuD	0	0	18	4	22	0	1	0	0	23
BHKW	862	10	3091	947	4910	59	0	0	0	4969
Strom [TWh]	3,62	0,49	25,56	22,70	52,38	11,89	16,37	5,67	4,86	91,16
davon: Dampft.	1,99	0,14	2,89	19,10	24,11	11,21	16,28	5,67	4,86	62,14
Gastur.	0,13	0,30	8,01	2,14	10,58	0,66	0,06	0,00	0,00	11,30
GuD	0,00	0,00	7,16	0,34	7,50	0,00	0,03	0,00	0,00	7,53
BHKW	1,51	0,06	7,50	1,11	10,18	0,01	0,00	0,00	0,00	10,19

Tabelle 9: Anlagenzahl und Stromerzeugung im Bestand der KWK-Anlagen in 1999 gemäß dem AG KWK-Modell nach CO₂-Minderungskategorien gegenüber dem Referenzsystem 3

	Kat 1 -76 bis -100 %	Kat 2 -51 bis -75 %	Kat 3 -26 bis -50 %	Kat 4 0 bis -25 %	Zwischen- summe	Kat 5 25 bis 1%	Kat 6 50 bis 26 %	Kat 7 75 bis 51 %	Kat 8 mehr als 75 %	Summe
Anzahl	891	41	29	3260	4221	1023	230	102	145	5721
davon: Dampft.	27	41	7	34	109	100	97	102	145	553
Gastur.	2	0	14	108	124	46	6	0	0	176
GuD	0	0	0	19	19	3	1	0	0	23
BHKW	862	0	8	3099	3969	874	126	0	0	4969
Strom [TWh]	2,51	1,23	0,88	25,29	29,91	15,44	14,14	10,76	20,91	91,16
davon: Dampft.	0,87	1,23	0,46	2,46	5,03	11,79	13,65	10,76	20,91	62,14
Gastur.	0,13	0,00	0,37	8,04	8,54	2,33	0,42	0,00	0,00	11,30
GuD	0,00	0,00	0,00	7,44	7,44	0,06	0,03	0,00	0,00	7,53
BHKW	1,51	0,00	0,05	7,34	8,90	1,26	0,04	0,00	0,00	10,19

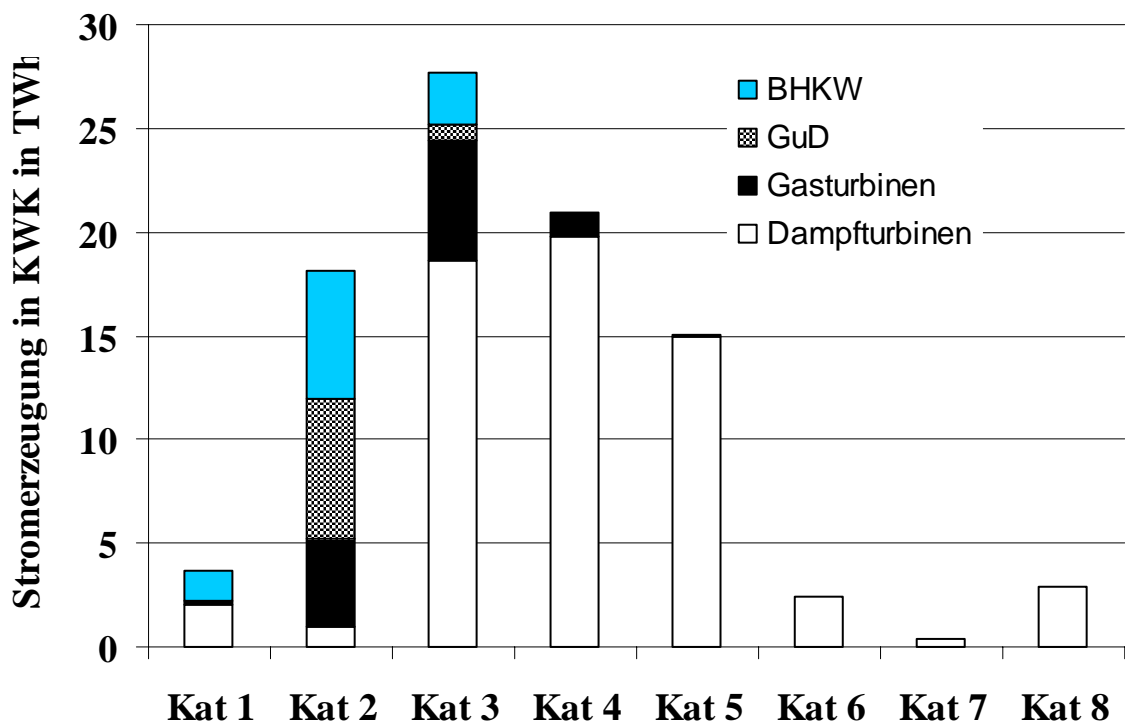
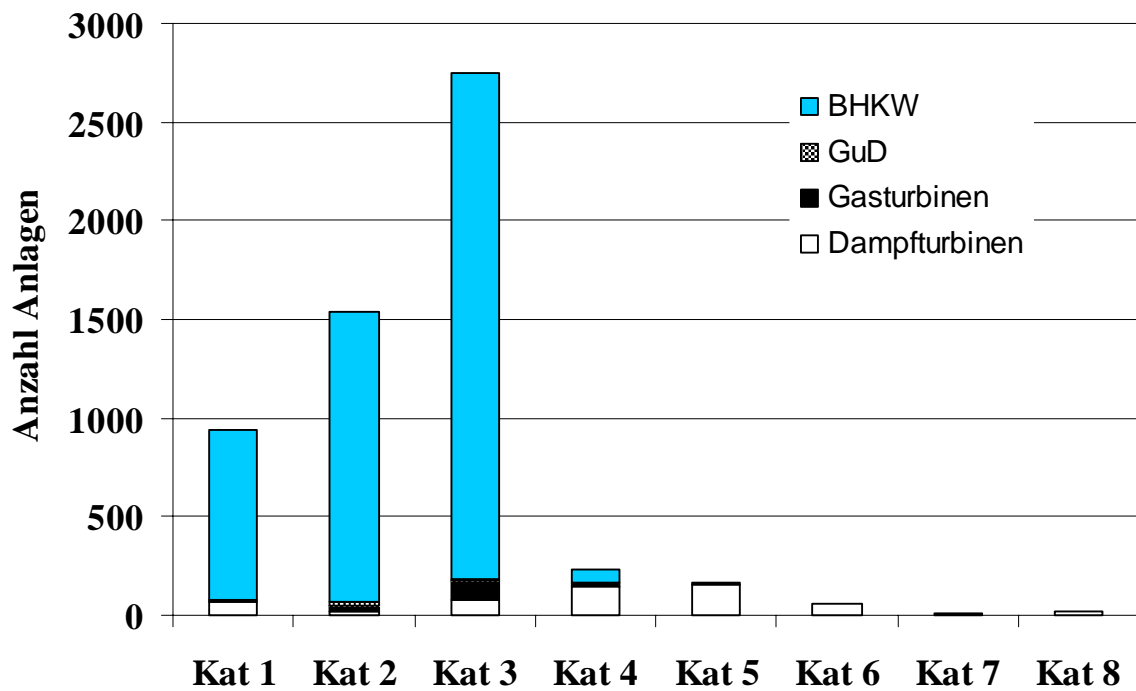


Abbildung 7: Einordnung der Anlagenanzahl und der Stromerzeugung des KWK-Anlagenbestandes nach dem AG KWK-Modell bezüglich der CO₂-Einsparung gegenüber dem Referenzsystem 1

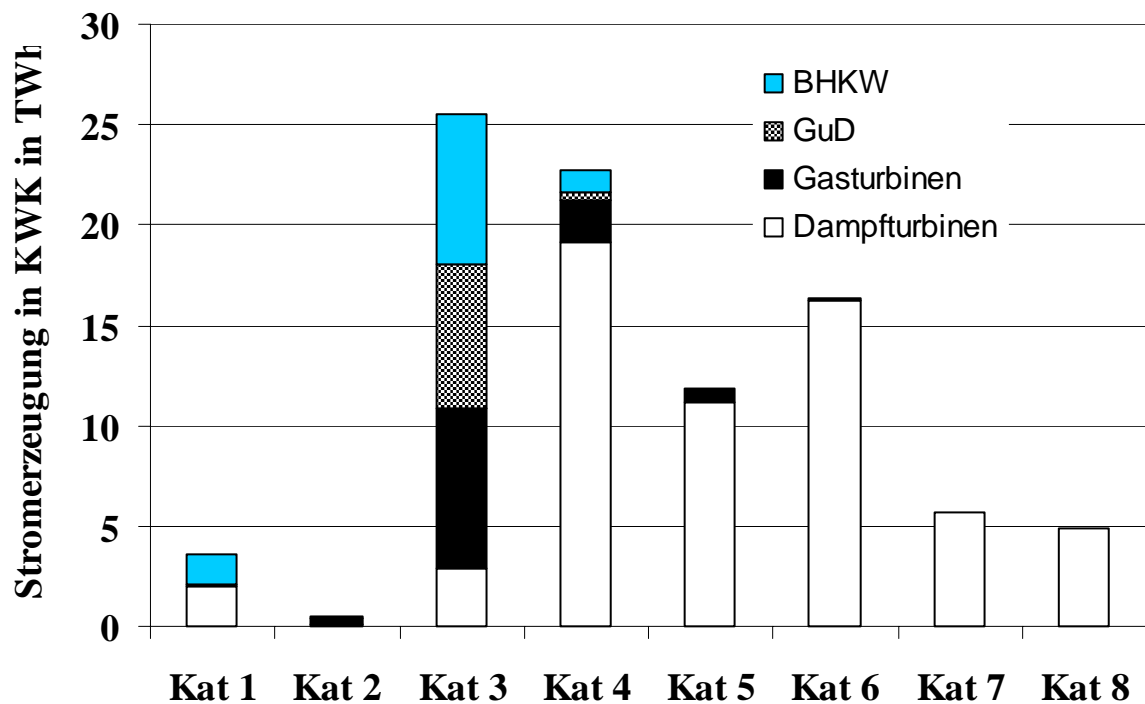
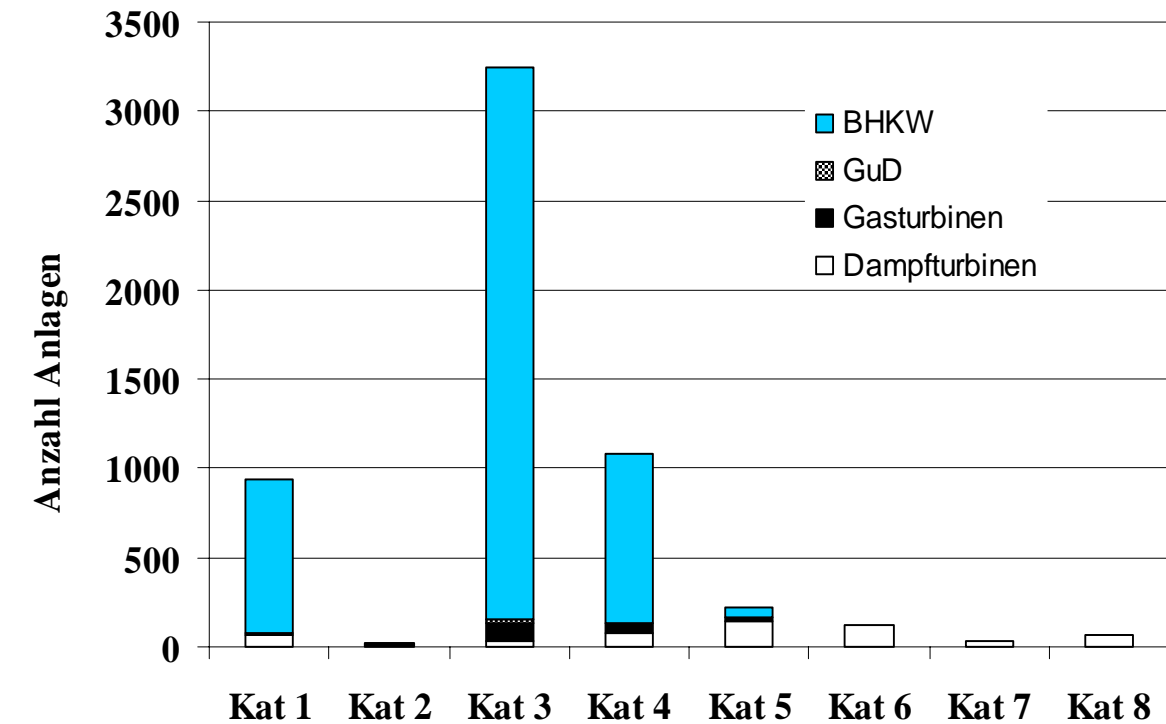


Abbildung 8: Einordnung der Anlagenanzahl und der Stromerzeugung des KWK-Anlagenbestandes nach dem AG KWK-Modell bezüglich der CO₂-Einsparung gegenüber dem Referenzsystem 2

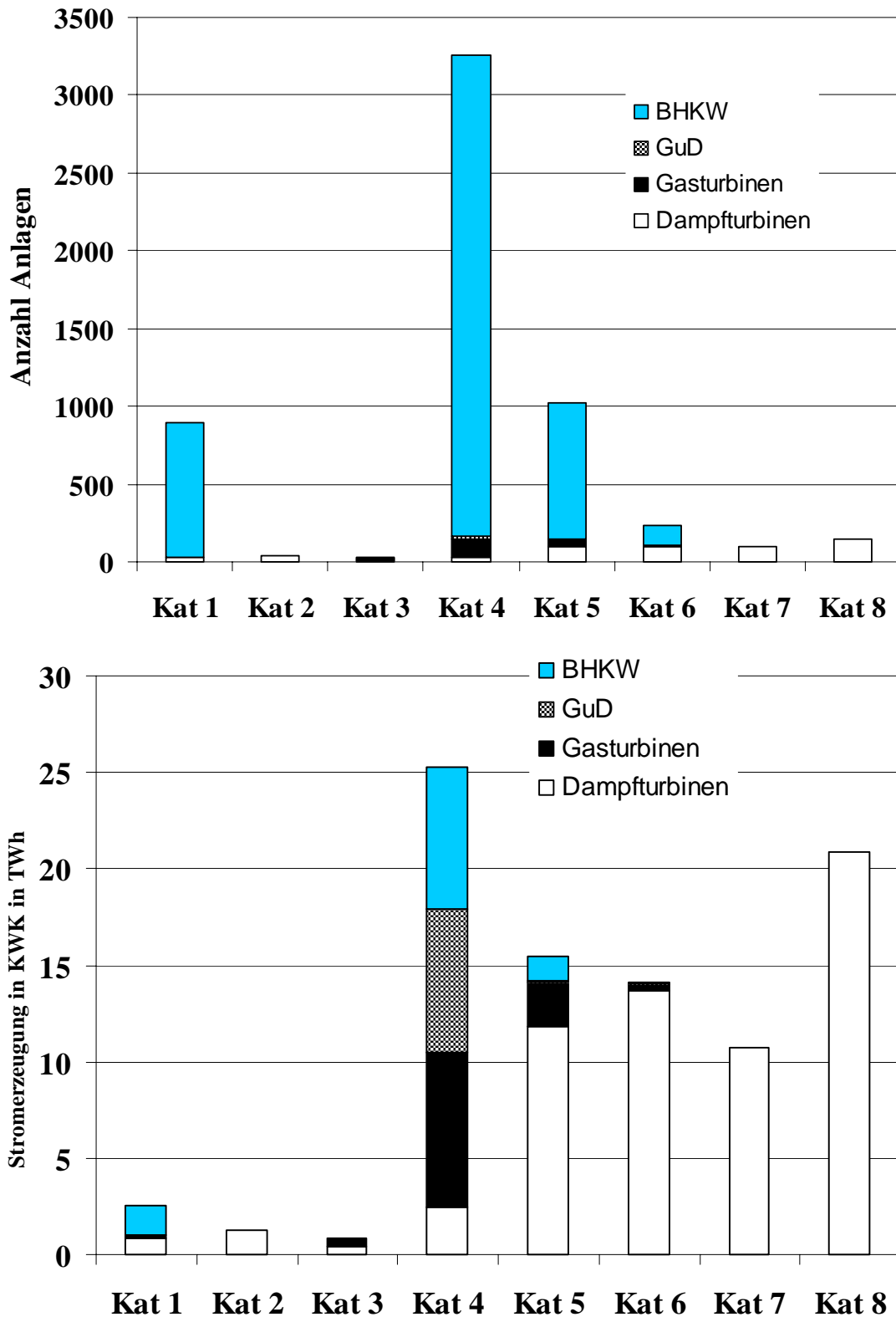


Abbildung 9: Einordnung der Anlagenanzahl und der Stromerzeugung des KWK-Anlagenbestandes nach dem AG KWK-Modell bezüglich der CO₂-Einsparung gegenüber dem Referenzsystem 3

4.5 KWK-Stromerzeugung in 1999 nach dem AGFW-nahen Modell

Nach dem AGFW-nahen Modell werden in den in der IER-Kraftwerks-Bestands-Datenbank für 1999 erfassten 5721 KWK-Anlagen insgesamt 50 TWh als KWK-Strom erzeugt (vgl. Tabelle 10 bis Tabelle 13). Im Vergleich zur Referenz 1 sind hiervon 41 TWh (5358 Anlagen) mit einer CO₂-Einsparung verbunden (Kat 1 bis Kat 4), im Vergleich zur Referenz 2 sind es 34 TWh (5191 Anlagen), im Vergleich zur Referenz 3 ca. 25 TWh (4171 Anlagen) und im Vergleich zur Referenz 4 rund 41 TWh (5389 Anlagen).

Tabelle 10: Anlagenzahl und Stromerzeugung im Bestand der KWK-Anlagen in 1999 gemäß dem AGFW-nahen Modell nach CO₂-Minderungskategorien gegenüber dem Referenzsystem 1

	Kat 1 -76 bis -100 %	Kat 2 -51 bis -75 %	Kat 3 -26 bis -50 %	Kat 4 0 bis -25 %	Zwischen- summe	Kat 5 25 bis 1%	Kat 6 50 bis 26 %	Kat 7 75 bis 51 %	Kat 8 mehr als 75 %	Summe
Anzahl	911	1546	2671	230	5358	168	59	49	87	5721
davon: Dampft.	47	19	55	97	218	140	59	49	87	553
Gastur.	2	41	42	65	150	26	0	0	0	176
GuD	0	14	8	1	23	0	0	0	0	23
BHKW	862	1472	2566	67	4967	2	0	0	0	4969
Strom [TWh]	2,58	16,42	13,09	8,67	40,76	5,44	2,15	1,19	0,89	50,43
davon: Dampft.	0,91	0,68	8,06	7,07	16,72	5,00	2,15	1,19	0,89	25,94
Gastur.	0,16	2,84	1,79	1,54	6,33	0,43	0,00	0,00	0,00	6,76
GuD	0,00	6,75	0,74	0,04	7,53	0,00	0,00	0,00	0,00	7,53
BHKW	1,51	6,16	2,50	0,02	10,18	0,01	0,00	0,00	0,00	10,19

Tabelle 11: Anlagenzahl und Stromerzeugung im Bestand der KWK-Anlagen in 1999 gemäß dem AGFW-nahen Modell nach CO₂-Minderungskategorien gegenüber dem Referenzsystem 2

	Kat 1 -76 bis -100 %	Kat 2 -51 bis -75 %	Kat 3 -26 bis -50 %	Kat 4 0 bis -25 %	Zwischen- summe	Kat 5 25 bis 1%	Kat 6 50 bis 26 %	Kat 7 75 bis 51 %	Kat 8 mehr als 75 %	Summe
Anzahl	905	36	3191	1059	5191	261	73	80	116	5721
davon: Dampft.	42	16	30	66	154	130	73	80	116	553
Gastur.	1	7	56	40	104	72	0	0	0	176
GuD	0	3	14	6	23	0	0	0	0	23
BHKW	862	10	3091	947	4910	59	0	0	0	4969
Strom [TWh]	2,28	2,52	19,75	9,16	33,71	8,98	2,96	2,90	1,88	50,43
davon: Dampft.	0,76	0,61	3,48	5,84	10,70	7,50	2,96	2,90	1,88	25,94
Gastur.	0,00	0,34	3,12	1,83	5,29	1,47	0,00	0,00	0,00	6,76
GuD	0,00	1,52	5,64	0,38	7,53	0,00	0,00	0,00	0,00	7,53
BHKW	1,51	0,06	7,50	1,11	10,18	0,01	0,00	0,00	0,00	10,19

Tabelle 12: Anlagenzahl und Stromerzeugung im Bestand der KWK-Anlagen in 1999 gemäß dem AGFW-nahen Modell nach CO₂-Minderungskategorien gegenüber dem Referenzsystem 3

	Kat 1 -76 bis -100 %	Kat 2 -51 bis -75 %	Kat 3 -26 bis -50 %	Kat 4 0 bis -25 %	Zwischen- summe	Kat 5 25 bis 1%	Kat 6 50 bis 26 %	Kat 7 75 bis 51 %	Kat 8 mehr als 75 %	Summe
Anzahl	901	18	19	3233	4171	1024	242	65	219	5721
davon: Dampft.	38	16	5	46	105	79	95	55	219	553
Gastur.	1	2	6	67	76	69	21	10	0	176
GuD	0	0	0	21	21	2	0	0	0	23
BHKW	862	0	8	3099	3969	874	126	0	0	4969
Strom [TWh]	2,11	0,39	0,47	22,39	25,36	7,98	8,99	2,25	5,85	50,43
davon: Dampft.	0,60	0,23	0,24	3,64	4,71	4,84	8,52	2,02	5,85	25,94
Gastur.	0,00	0,16	0,18	3,96	4,30	1,80	0,43	0,23	0,00	6,76
GuD	0,00	0,00	0,00	7,44	7,44	0,09	0,00	0,00	0,00	7,53
BHKW	1,51	0,00	0,05	7,34	8,90	1,26	0,04	0,00	0,00	10,19

Tabelle 13: Anlagenzahl und Stromerzeugung im Bestand der KWK-Anlagen in 1999 gemäß dem AGFW-nahen Modell nach CO₂-Minderungskategorien gegenüber dem Referenzsystem 4

	Kat 1 -76 bis -100 %	Kat 2 -51 bis -75 %	Kat 3 -26 bis -50 %	Kat 4 0 bis -25 %	Zwischen- summe	Kat 5 25 bis 1%	Kat 6 50 bis 26 %	Kat 7 75 bis 51 %	Kat 8 mehr als 75 %	Summe
Anzahl	866	48	1641	2834	5389	193	59	53	27	5721
davon: Dampft.	4	45	49	204	302	128	47	49	27	553
Gastur.	0	3	38	52	93	61	18	3	1	176
GuD	0	0	14	17	31	1	0	0	0	32
BHKW	862	0	1543	2562	4967	2	0	0	0	4969
Strom [TWh]	1,63	1,51	20,76	16,71	40,61	6,81	1,09	1,32	0,60	50,43
davon: Dampft.	0,12	1,35	5,68	10,59	17,74	5,46	0,86	1,29	0,60	25,94
Gastur.	0,00	0,16	2,70	2,33	5,20	1,30	0,23	0,03	0,00	6,76
GuD	0,00	0,00	6,42	1,07	7,49	0,04	0,00	0,00	0,00	7,53
BHKW	1,51	0,00	5,96	2,72	10,18	0,01	0,00	0,00	0,00	10,19

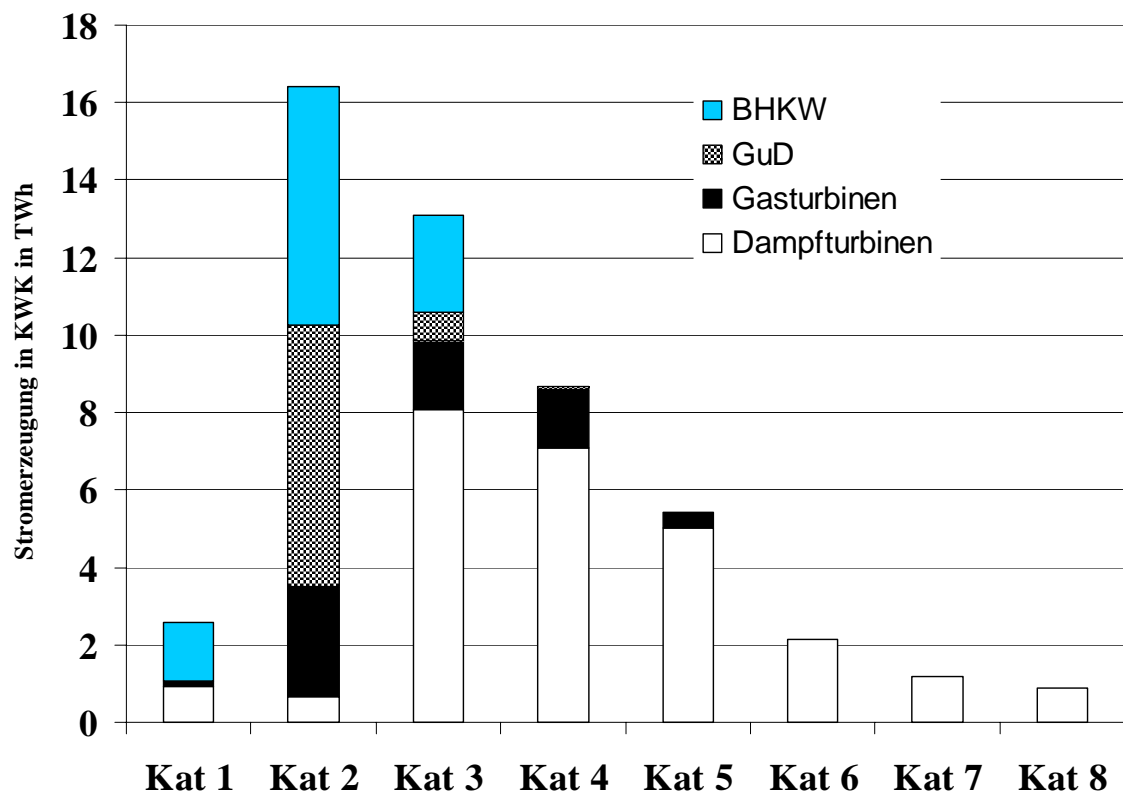
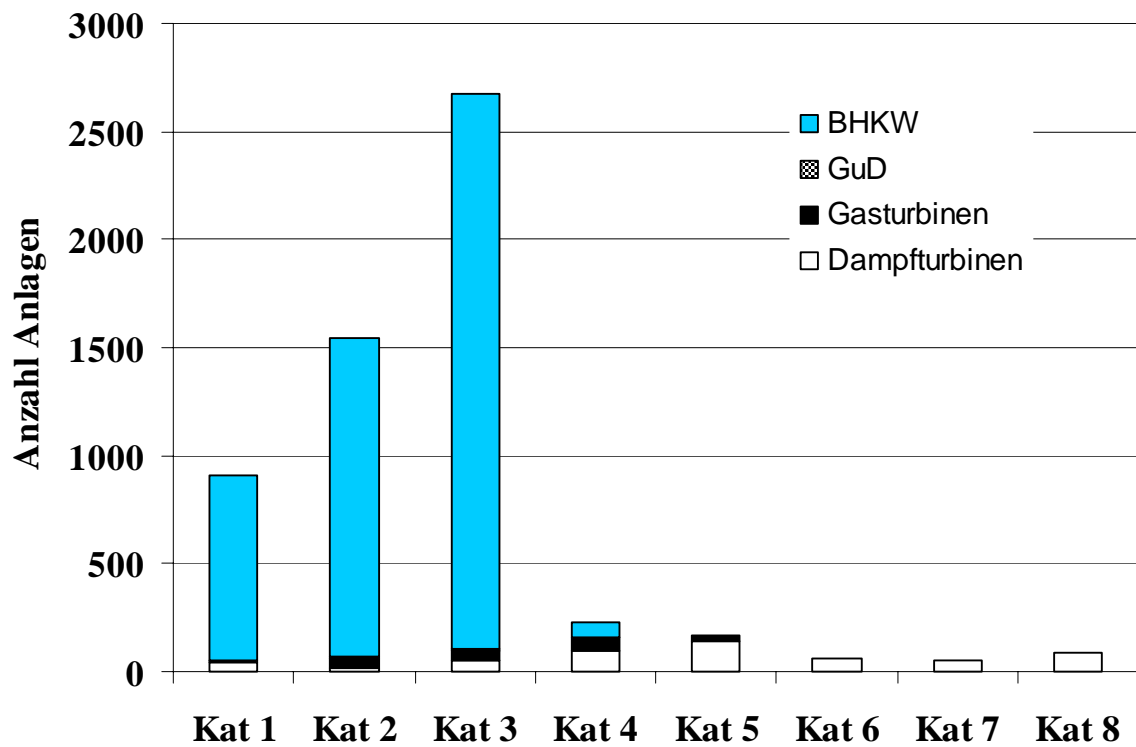


Abbildung 10: Einordnung der Anlagenanzahl und der Stromerzeugung des KWK-Anlagenbestandes nach dem AGFW-nahen Modell bezüglich der CO₂-Einsparung gegenüber dem Referenzsystem 1

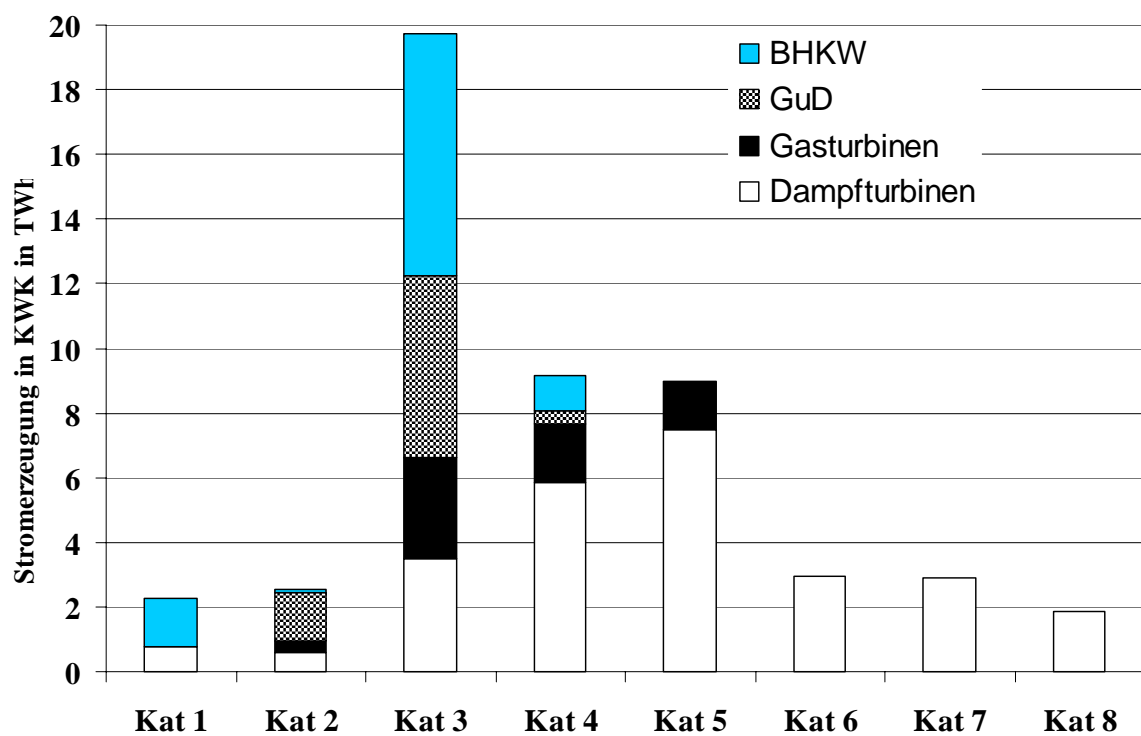
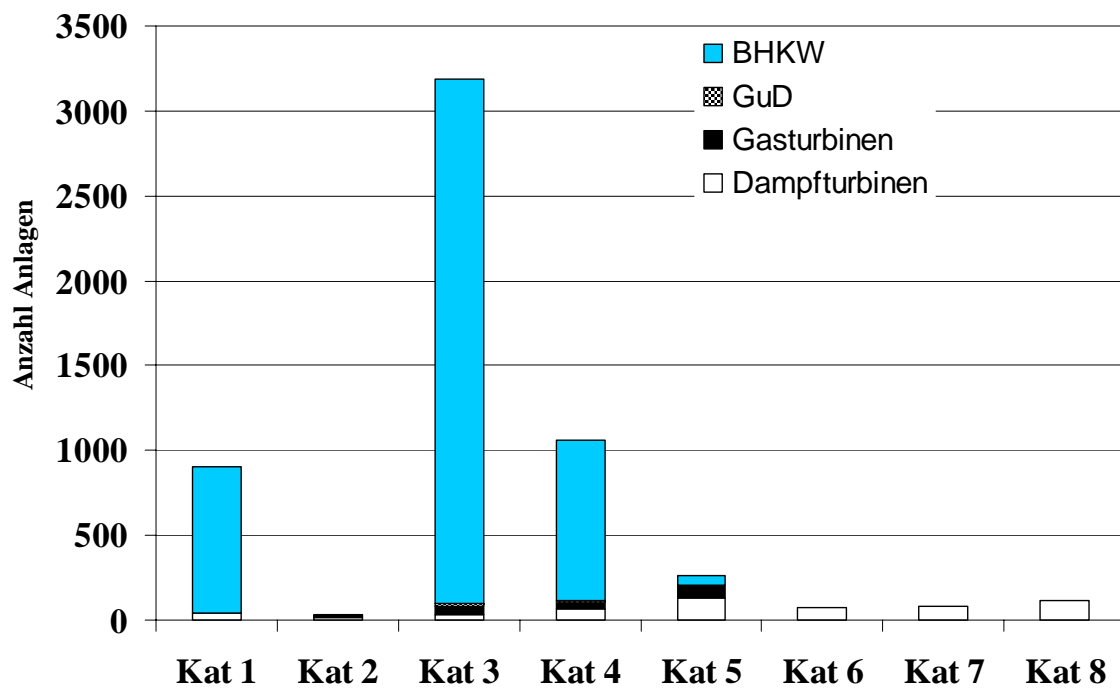


Abbildung 11: Einordnung der Anlagenanzahl und der Stromerzeugung des KWK-Anlagenbestandes nach dem AGFW-nahen Modell bezüglich der CO₂-Einsparung gegenüber dem Referenzsystem 2

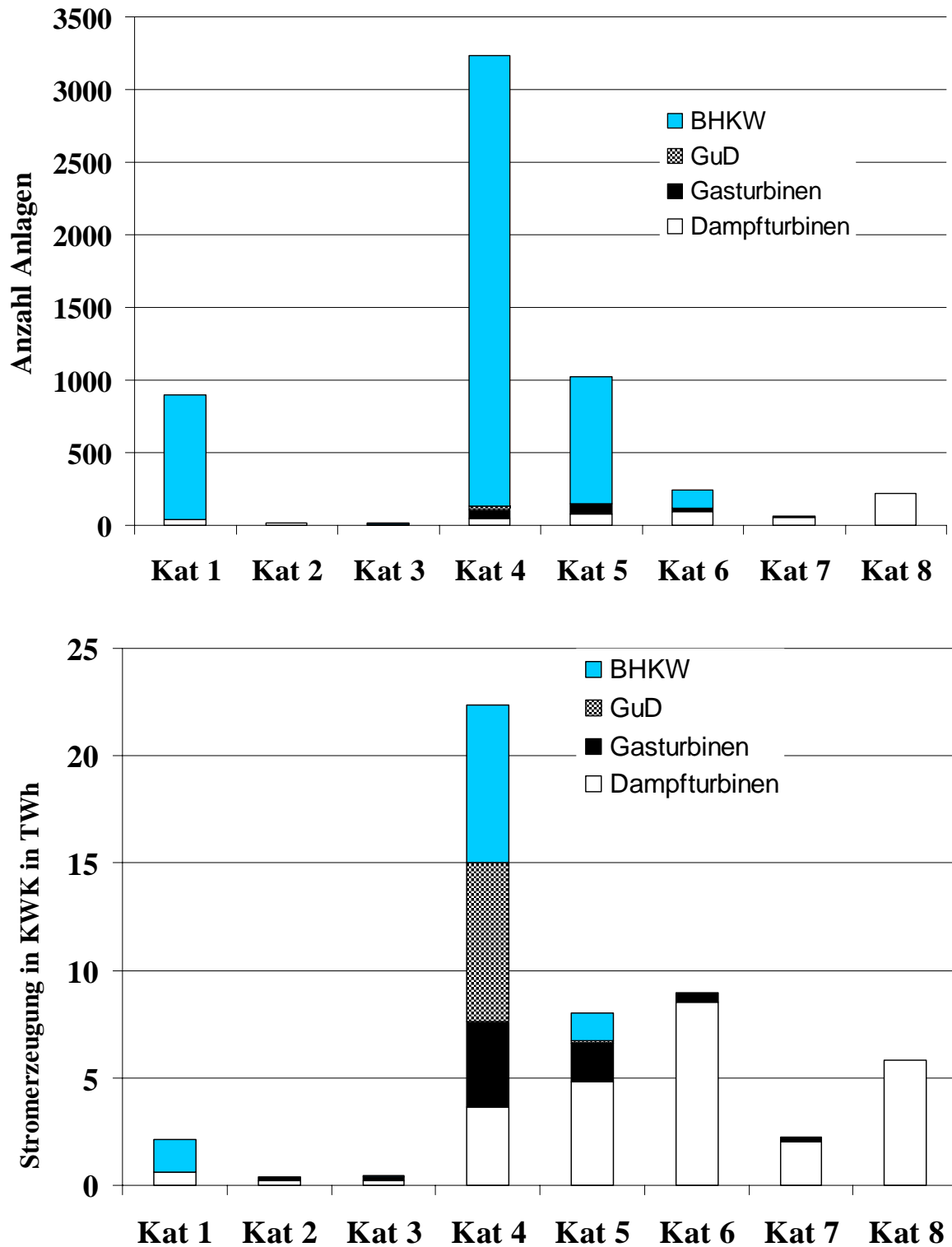


Abbildung 12: Einordnung der Anlagenanzahl und der Stromerzeugung des KWK-Anlagenbestandes nach dem AGFW-nahen Modell bezüglich der CO₂-Einsparung gegenüber dem Referenzsystem 3

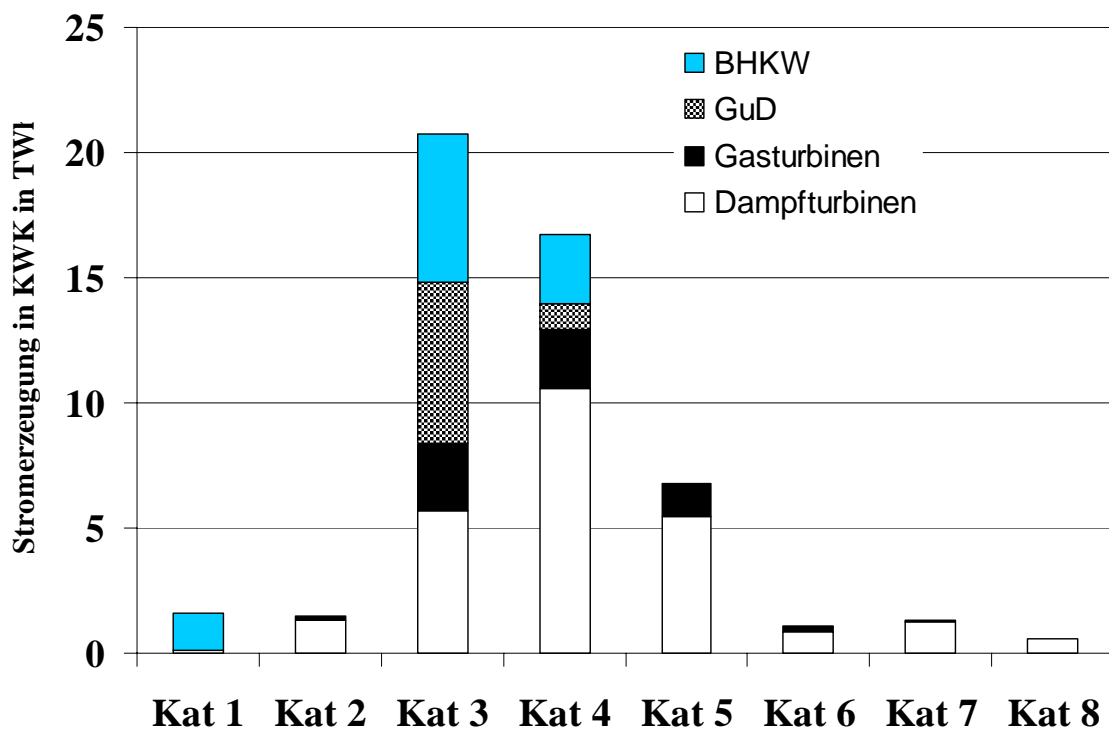
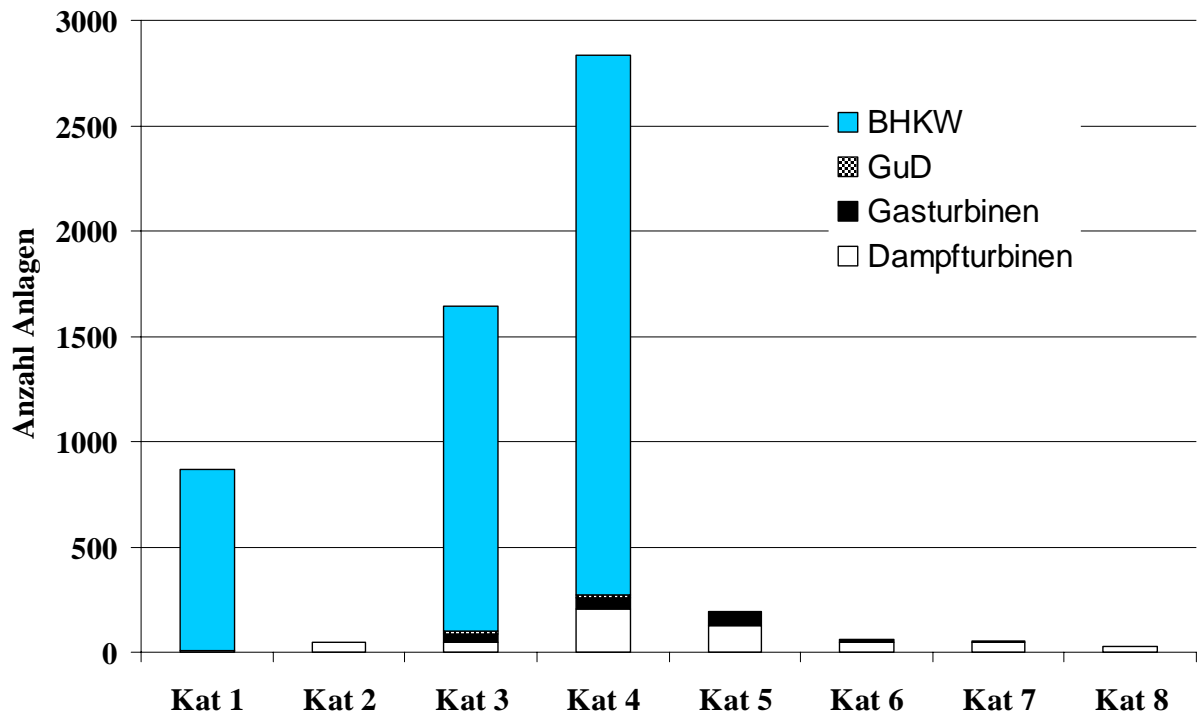


Abbildung 13: Einordnung der Anlagenanzahl und der Stromerzeugung des KWK-Anlagenbestandes nach dem AGFW-nahen Modell bezüglich der CO₂-Einsparung gegenüber dem Referenzsystem 4

Die Einordnung bezüglich der Stromerzeugung in den KWK-Anlagen des Bestandes im Jahr 1999 hinsichtlich der unterschiedlichen CO₂-Minderungskategorien ist für die beiden KWK-Definitionen (AG KWK oder AGFW-nahe) in Abhängigkeit vom jeweils gewählten Referenzsystem in Abbildung 14 dargestellt. Der Anteil der Stromerzeugung, der gleichzeitig auch eine CO₂-Minderung mit sich bringt, bewegt sich bei der AG KWK-Definition zwischen 71,2 % (Referenz 1) und 32,8 % (Referenz 3), bei der AGFW-nahen Definition zwischen 80,8 % (Referenz 1) bzw. 80,5 % (Referenz 4) und 50,3 % (Referenz 3). Somit ist für diese Einordnung die Wahl des Referenzsystems wesentlich stärker ergebnisbestimmend als die Definition der KWK, wenn es auch in Absolutwerten für die KWK-Stromerzeugung von erheblicher Bedeutung ist, welche Abgrenzung für den KWK-Strom gewählt wird.

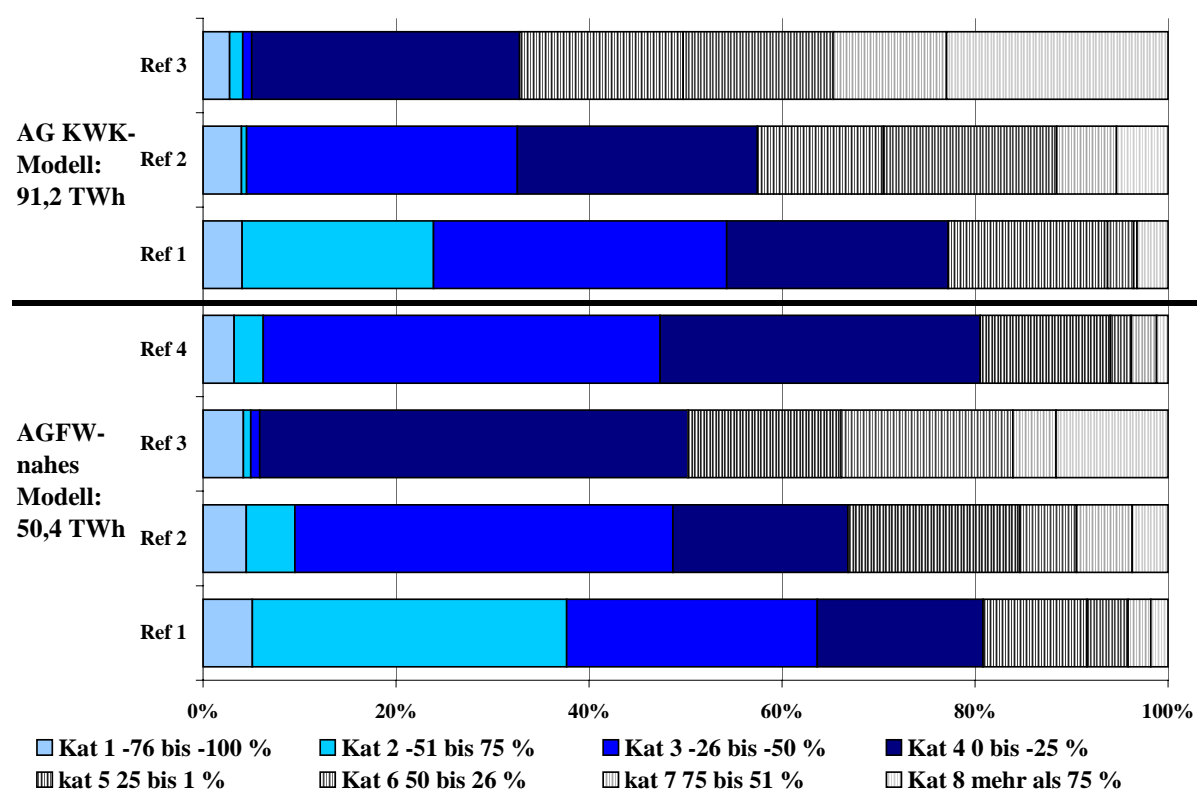


Abbildung 14: Einordnung der Stromerzeugung in KWK-Anlagen im Jahr 1999 für die unterschiedlichen CO₂-Minderungskategorien gegenüber den verschiedenen Referenzsystemen

5 Energieeinsparung durch den Betrieb der KWK-Anlagen in 1999

Die den einzelnen Kategorien zu zuordnenden Beiträge zum Mehr- bzw. Minderverbrauch an Energieträgern sind für die beiden KWK-Definitionen und die unterschiedlichen Referenzsysteme der Tabelle 14 (in TWh eingesparter Energie durch KWK-Anlagen) zu entnehmen. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass das Referenzsystem 2 auf der Stromseite bezüglich der Energieeffizienz die ungünstigsten Verhältnisse aufweist (vgl. Abschnitt 4.2). Der Kraftwerksmix 1998 weist einen durchschnittlichen Jahresnutzungsgrad, bezogen auf die Netto-

stromerzeugung, von 36,2 % auf. Hier macht sich unter anderem die primärenergetische Bewertung der Kernenergie nach dem Wirkungsgradansatz bemerkbar, nach der der als repräsentativ erachtete physikalische Brutto-Wirkungsgrad der Kernkraftwerke bei 33 % liegt. Für das moderne Braunkohlekraftwerk ist demgegenüber ein Netto-Nutzungsgrad von 44,5 % und für das moderne Erdgas-GuD-Kraftwerk von 57,5 % angesetzt. Auf der Wärmeseite ergibt sich für den Wärmemix beim Vergleich mit der Wärmeerzeugung in KWK-Anlagen ein durchschnittlicher Nutzungsgrad von ca. 88,4 % (siehe Anlage 1). Hier ist zu beachten, dass für die Bewertung der KWK-Anlagen auch die Verluste im Transport- und Verteilungsnetz zu berücksichtigen sind. Diese betragen für die Siedlungs-KWK nach Angaben der AGFW rund 12,6 %.

Tabelle 14: Veränderung des Energieträgereinsatzes durch den Betrieb der KWK-Anlagen in 1999 für die verschiedenen CO₂-Minderungskategorien im Vergleich zu den unterschiedlichen Referenzsysteme in TWh

		Kat 1 -76 bis -100 %	Kat 2 -51 bis -75 %	Kat 3 -26 bis -50 %	Kat 4 0 bis -25 %	Zwischen- summe	Kat 5 25 bis 1%	Kat 6 50 bis 26 %	Kat 7 75 bis 51 %	Kat 8 mehr als 75 %	Summe
AG KWK	REF 1	-5,53	-4,93	-2,69	-1,00	-14,14	-0,40	0,14	0,05	11,62	-2,74
	REF 2	-6,66	1,35	-23,83	-14,27	-43,41	-9,34	-9,09	-1,90	14,02	-49,71
	REF 3	-2,91	2,57	-0,20	-5,66	-6,20	1,62	-2,47	-0,73	51,34	43,57
AGFW- nahe	REF 1	7,44	-18,58	-15,94	-11,03	-38,11	-3,11	10,58	2,58	8,53	-19,53
	REF 2	-4,90	7,57	-32,96	-16,52	-46,80	-15,73	1,15	4,89	10,97	-45,52
	REF 3	8,82	0,04	-0,50	-14,44	-6,08	-5,70	-4,69	7,62	14,94	6,09
	REF 4	-5,36	0,16	-37,20	-22,41	-64,81	0,70	3,18	6,00	6,40	-48,53

Es zeigt sich, dass es keinen direkten Zusammenhang zwischen der Energieeinsparung und den CO₂-Minderungskategorien gibt. Es sind KWK-Fälle zu erkennen, die zur CO₂-Minderung beitragen (Kategorien 1 bis 4), jedoch einen höheren Energieverbrauch mit sich bringen als die Referenzsysteme – was sich durch positive Werte in Tabelle 14 äußert –, z. B. Müll-Heizkraftwerke mit einem niedrigen Jahresnutzungsgrad, und ebenso KWK-Fälle, die eine höhere CO₂-Emission aufweisen, jedoch energetisch betrachtet effizienter sind als die Referenzsysteme, z. B. Steinkohle-Heizkraftwerke, was beispielhaft der Wert –4,69 TWh beim AGFW-nahen Modell und dem Referenzsystem 3 in der Kategorie 6 in Tabelle 14 zum Ausdruck bringt. Somit wird auch hier deutlich, dass zur CO₂-Minderung durch KWK sowohl der Technologieeffekt über die bessere Energieeffizienz aber auch der Brennstoffeffekt über CO₂-günstigere Brennstoffe beitragen. Zusätzlich zeigt Abbildung 15 beispielhaft für das AGFW-nahe Modell die jeweils kumulierten Werte der Energieträgereinsparung in Abhängigkeit von den CO₂-Minderungskategorien. Auch aus dieser Abbildung wird ersichtlich, dass der CO₂-Effekt (Mehr- oder Minderemissionen von CO₂) sowie der Energieverbrauchseffekt (Mehr- bzw. Minderverbrauch an Energie) der KWK nicht immer gleichgerichtet sind. Die Endpunkte der kumulierten Energieträgereinsparungen in Abbildung 15 stellen die durch den Betrieb der KWK-Anlagen im Jahr 1999 sich rechnerisch ergebenden Energieträgereinsparun-

gen gegenüber dem jeweiligen Referenzsystem dar. Es ergeben sich Minderverbräuche von 19,5 bis zu 48,5 TWh (70,3 bis 174,7 PJ). Im Bezug auf das Referenzsystem 3 würde sich ein Mehrverbrauch von 6,1 TWh (21,9 PJ) ergeben.

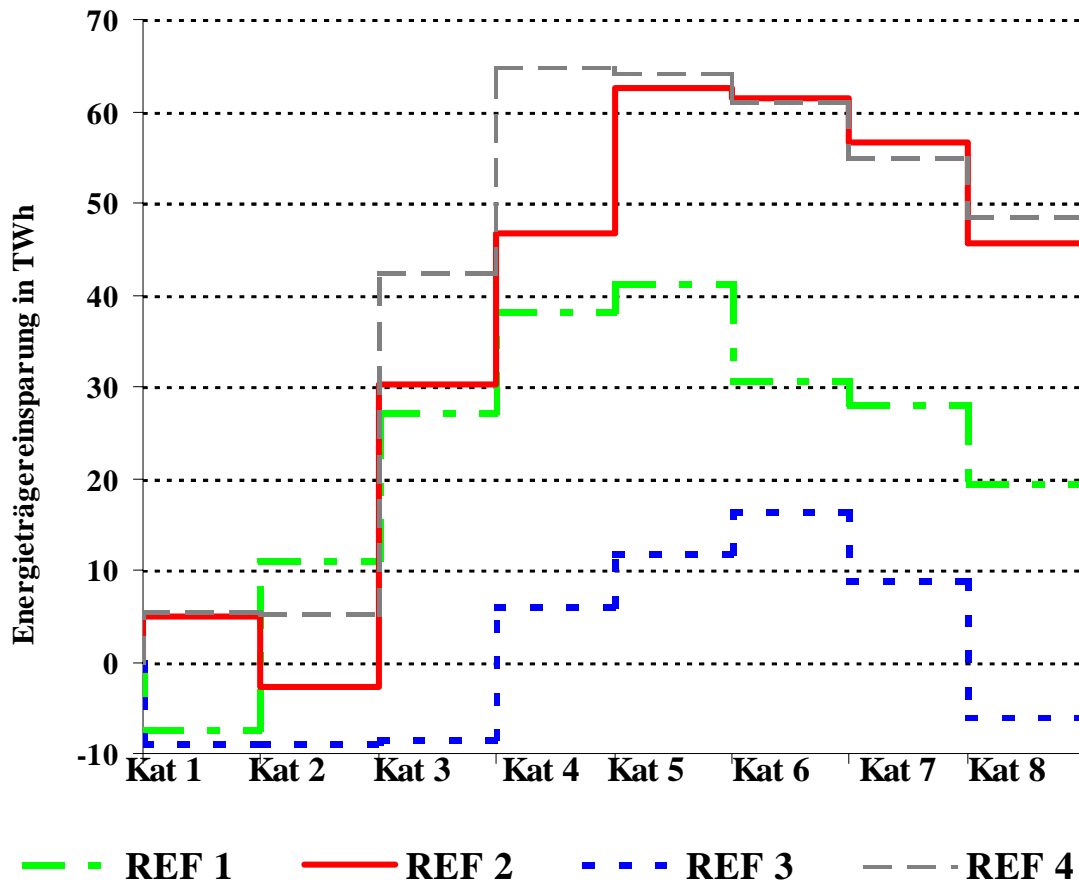


Abbildung 15: Kumulierte Energieträgereinsparung durch den Betrieb der KWK-Anlagen in 1999 nach dem AGFW-nahen Modell, geordnet nach CO₂-Minderungskategorien

Mit Hilfe der Strom- und Wärmeerzeugungsmengen und der korrespondierenden Brennstoffeinsätze der KWK-Anlagen im Jahr 1999 ist es auch möglich, die insgesamt sich durch den Betrieb der KWK-Anlagen im Jahr 1999 ergebenden Veränderungen beim Energieeinsatz im Vergleich zur getrennten Erzeugung parametrisch zu ermitteln. Für das AGFW-nahes Modell ist dieser Zusammenhang in Tabelle 15 zusammengestellt. Hierzu ist von einer KWK-Stromerzeugung in 1999 von 50,4 TWh und einer KWK-Wärmeerzeugung von 169,1 TWh auszugehen sowie einem benötigten Brennstoffeinsatz von 285,1 TWh (1026 PJ). Dieser Brennstoffeinsatz bedeutet einen Anteil von rund 7 % am Primärenergieverbrauch in Deutschland in 1999 (14206 PJ). Wird die Stromerzeugung von 50,4 TWh durch den Jahresnutzungsgrad des Referenzsystems Strom dividiert und die Wärmeerzeugung von 169,1 TWh entsprechend durch den Nutzungsgrad des Referenzsystems Wärme und die beiden resultierenden Mengen addiert, so erhält man jeweils den Brennstoffeinsatz der getrennten Strom- und Wärmeerzeugung. Dieser Brennstoffeinsatz wird dann vom Brennstoffeinsatz in KWK

im Jahr 1999 in Höhe von 285,1 TWh subtrahiert. Ergibt sich ein negativer Wert, so liegt eine Energieeinsparung durch den KWK-Betrieb in 1999 gegenüber dem jeweiligen Referenzsystem vor. Zur Einordnung der angegebenen Jahresnutzungsgrade der Referenzsysteme können noch die folgenden Werte dienen. Für neue Steinkohlekraftwerke werden Jahresnutzungsgrade von 43 bis 45 % angegeben bzw. für neue Heizungssysteme zwischen 90 und 98 %. Ältere Anlagen haben demgegenüber Jahresnutzungsgrade von unter 25 % auf der Stromseite und von unter 70 % auf der Wärmeseite.¹⁰

Tabelle 15: Veränderung des Energieeinsatzes durch die in 1999 bestehenden KWK-Anlagen in TWh in Abhängigkeit von der Definition des Referenzsystems Strom und Wärme (schattierte Flächen zeigen eine Energieeinsparung durch KWK) (AGFW-nahes Modell)

Referenzsystem Strom in [%]	Referenzsystem Wärme in [%]									
	74,0	78,8	83,6	88,4	93,5	98,6	103,7	108,8	113,9	118,9
35	-87,49	-73,57	-61,25	-50,29	-39,84	-30,49	-22,05	-14,41	-7,45	-1,26
36	-83,49	-69,57	-57,25	-46,29	-35,84	-26,48	-18,05	-10,41	-3,45	2,74
37	-79,70	-65,79	-53,47	-42,51	-32,05	-22,70	-14,26	-6,62	0,34	6,53
38	-76,12	-62,20	-49,88	-38,92	-28,46	-19,11	-10,68	-3,03	3,92	10,11
39	-72,71	-58,80	-46,48	-35,52	-25,06	-15,71	-7,27	0,37	7,33	13,52
40	-66,48	-55,56	-43,24	-32,28	-21,83	-12,48	-4,04	3,60	10,56	16,75
41	-66,41	-52,49	-40,17	-29,21	-18,75	-9,40	-0,97	6,68	13,63	19,83
42	-63,48	-49,56	-37,24	-26,28	-15,83	-6,47	1,96	9,60	16,56	22,75
43	-60,69	-46,77	-34,45	-23,49	-13,03	-3,68	4,75	12,40	19,35	25,55
44	-58,02	-44,10	-31,78	-20,82	-10,37	-1,01	7,42	15,06	22,02	28,21
45	-55,47	-41,56	-29,24	-18,27	-7,82	1,53	9,97	17,61	24,57	30,76
46	-53,04	-39,12	-26,80	-15,84	-5,38	3,97	12,40	20,05	27,00	33,19
47	-50,07	-36,79	-24,47	-13,51	-3,05	6,30	14,73	22,38	29,34	35,53
48	-48,47	-34,55	-22,23	-11,27	-0,82	8,54	16,97	24,61	31,57	37,76
49	-46,32	-32,41	-20,09	-9,13	1,33	10,68	19,11	26,76	33,72	39,91
50	-44,27	-30,35	-18,03	-7,07	3,39	12,74	21,17	28,82	35,77	41,97
51	-42,29	-28,37	-16,05	-5,09	5,36	14,72	23,15	30,79	37,75	43,94
52	-40,39	-26,47	-14,15	-3,19	7,27	16,62	25,05	32,69	39,65	45,84
53	-38,56	-24,64	-12,32	-1,36	9,09	18,45	26,88	34,52	41,48	47,67
54	-36,80	-22,88	-10,56	0,40	10,86	20,21	28,64	36,29	43,25	49,44
55	-35,10	-21,18	-8,86	2,10	12,55	21,91	30,34	37,98	44,94	51,13
56	-33,46	-19,54	-7,22	3,74	14,19	23,55	31,98	39,62	46,58	52,77
57	-31,88	-17,96	-5,64	5,32	15,77	25,13	33,56	41,20	48,16	54,35
58	-30,35	-16,44	-4,12	6,84	17,30	26,65	35,08	42,73	49,69	55,88
59	-28,88	-14,96	-2,64	8,32	18,77	28,12	36,56	44,20	51,16	57,35
60	-27,46	-13,54	-1,22	9,74	20,20	29,55	37,98	45,63	52,58	58,78
44,5	-55,73	-42,81	-30,49	-19,53	-9,08	0,27	8,71	16,35	23,31	29,50
36,2	-82,72	-68,80	-56,48	-45,52	-35,06	-25,71	-17,28	-9,63	-2,68	3,52
57,5	-31,11	-17,19	-4,87	6,09	16,54	25,89	34,33	41,97	48,93	55,12
Zusatzinformation:	Brennstoffeinsatz in KWK-Anlagen					285,1 TWh				
	Stromerzeugung in KWK-Anlagen					50,4 TWh				
	Wärmeerzeugung in KWK-Anlagen					169,1 TWh				

¹⁰ Siehe hierzu auch Fußnote 6 und Anlage 1.

Die in Tabelle 15 durch die Schattierung zum Ausdruck kommende Grenze bezüglich der Energieeinsparung beim Betrieb der KWK-Anlagen im Bestand in 1999 gegenüber einer getrennten Erzeugung von Strom und Wärme ist in Abbildung 16 noch einmal dargestellt. Die Referenzsysteme 1 bis 3, die hier exemplarisch betrachtet werden, weisen auf der Stromseite Jahresnutzungsgrade von 44,5 %, 36,2 % und 57,5 % auf (vgl. Abschnitt 4.2). Auf der Wärme-seite sind für den Mix des Jahres 1999 rund 88,4 % anzusetzen (siehe Anlage 1). Aus Abbildung 16 folgt damit, dass bei dem Jahresnutzungsgrad des Wärmeerzeugungsmix 1999 ein Jahresnutzungsgrad für die getrennte Stromerzeugung von 53,8 % notwendig wäre, um den gleichen Ausnutzungsgrad der eingesetzten Energie wie beim Betrieb der KWK-Anlagen im Jahr 1999 zu erreichen.

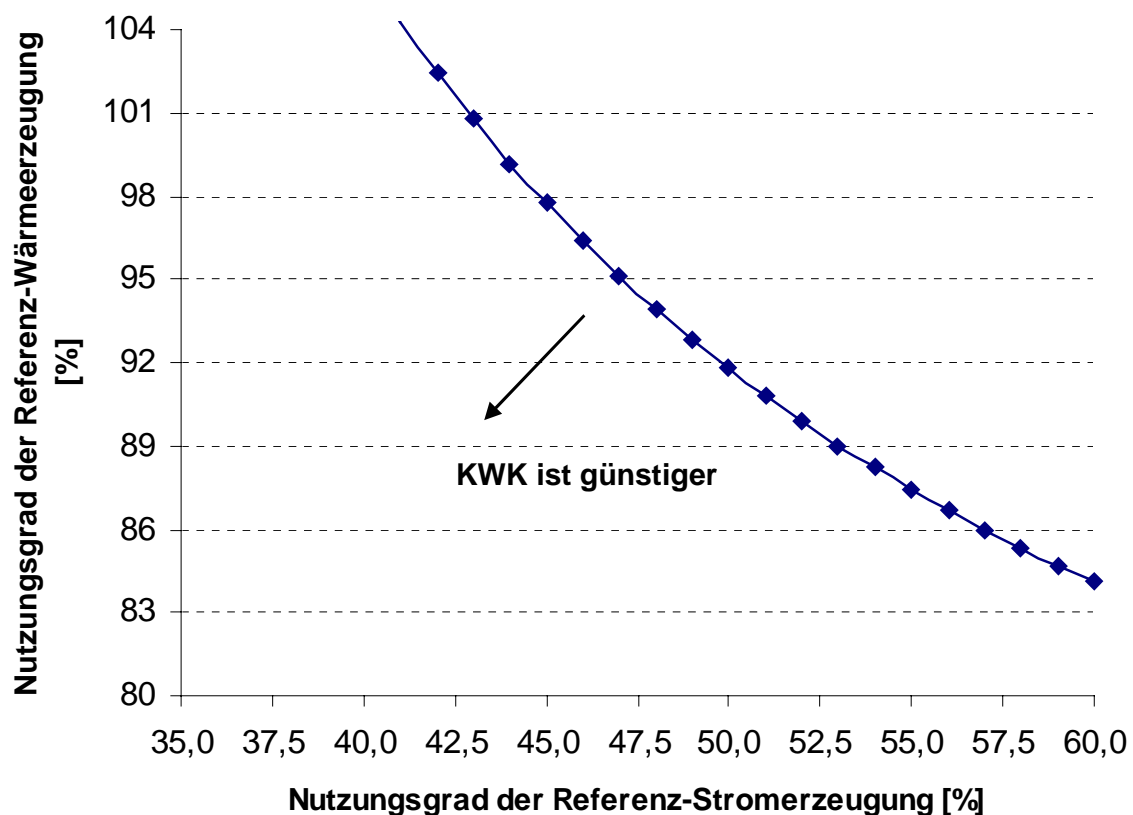


Abbildung 16: Grenzlinie gleicher Energieausnutzung einer getrennten Strom- und Wärmeerzeugung wie durch den Betrieb der KWK-Anlagen im Jahr 1999

6 CO₂-Minderung durch den Betrieb der KWK-Anlagen in 1999

Die den einzelnen Kategorien zu zuordnenden Beiträge zur CO₂-Minderung der KWK-Erzeugung im Jahr 1999 sind für die beiden KWK-Definitionen und die drei bzw. vier Referenzsysteme aus der Tabelle 16 und aus Abbildung 17 bis Abbildung 23 zu entnehmen.

Tabelle 16: CO₂-Vergleich des Betriebes der KWK-Anlagen in 1999 nach dem AG KWK-Modell und dem AGFW-nahen Modell gegenüber unterschiedlichen Referenzsystemen in Mio. t CO₂ und deren Einordnung nach CO₂-Minderungskategorien

	Kat 1 -76 bis -100 %	Kat 2 -51 bis -75 %	Kat 3 -26 bis -50 %	Kat 4 0 bis -25 %	Zwischen- summe	Kat 5 25 bis 1%	Kat 6 50 bis 26 %	Kat 7 75 bis 51 %	Kat 8 mehr als 75 %	Summe
REF 1 AG KWK	-6,12	-12,59	-13,87	-3,15	-35,73	1,50	1,49	0,40	8,23	-24,11
davon: Dampft.	-3,99	-1,28	-8,51	-2,86	-16,65	1,47	1,49	0,40	8,23	-5,06
Gastur.	-0,24	-2,74	-3,52	-0,27	-6,78	0,02	0,00	0,00	0,00	-6,75
GuD	0,00	-4,50	-0,47	0,00	-4,96	0,00	0,00	0,00	0,00	-4,96
BHKW	-1,88	-4,08	-1,37	-0,01	-7,35	0,01	0,00	0,00	0,00	-7,34
REF 2 AG KWK	-4,95	-0,87	-8,99	-3,46	-18,27	1,83	5,92	2,42	11,03	2,94
davon: Dampft.	-3,30	-0,69	-1,06	-2,62	-7,67	1,73	5,88	2,42	11,03	13,39
Gastur.	-0,21	-0,16	-2,61	-0,56	-3,53	0,09	0,04	0,00	0,00	-3,40
GuD	0,00	0,00	-2,64	-0,10	-2,74	0,00	0,01	0,00	0,00	-2,73
BHKW	-1,44	-0,02	-2,68	-0,19	-4,33	0,01	0,00	0,00	0,00	-4,32
REF 3 AG KWK	-3,28	-1,38	-0,35	-2,37	-7,37	1,21	4,17	6,23	22,27	26,52
davon: Dampft.	-2,06	-1,38	-0,20	-0,19	-3,83	0,86	3,92	6,23	22,27	29,46
Gastur.	-0,17	0,00	-0,14	-0,62	-0,93	0,23	0,22	0,00	0,00	-0,48
GuD	0,00	0,00	0,00	-0,80	-0,80	0,01	0,01	0,00	0,00	-0,78
BHKW	-1,05	0,00	-0,01	-0,75	-1,81	0,11	0,02	0,00	0,00	-1,68
REF 1 AGFW	-6,58	-11,28	-6,92	-2,07	-26,85	1,92	2,17	3,27	4,98	-14,52
davon: Dampft.	-4,29	-0,69	-4,11	-1,57	-10,66	1,64	2,17	3,27	4,98	1,40
Gastur.	-0,41	-2,01	-0,98	-0,48	-3,88	0,27	0,00	0,00	0,00	-3,61
GuD	0,00	-4,50	-0,46	-0,01	-4,97	0,00	0,00	0,00	0,00	-4,97
BHKW	-1,88	-4,08	-1,37	-0,01	-7,35	0,01	0,00	0,00	0,00	-7,34
REF 2 AGFW	-2,81	-4,01	-7,34	-1,24	-15,40	1,82	1,88	3,64	8,50	0,45
davon: Dampft.	-1,37	-2,98	-1,40	-0,56	-6,30	1,39	1,88	3,64	8,50	9,10
Gastur.	0,00	-0,42	-1,21	-0,40	-2,03	0,42	0,00	0,00	0,00	-1,60
GuD	0,00	-0,59	-2,04	-0,10	-2,74	0,00	0,00	0,00	0,00	-2,74
BHKW	-1,44	-0,02	-2,68	-0,19	-4,33	0,01	0,00	0,00	0,00	-4,32
REF 3 AGFW	-1,63	-0,38	-0,17	-2,56	-4,74	1,68	3,48	2,62	10,45	13,49
davon: Dampft.	-0,58	-0,38	-0,09	-0,55	-1,61	1,41	3,12	2,44	10,45	15,81
Gastur.	0,00	0,00	-0,07	-0,45	-0,52	0,14	0,34	0,17	0,00	0,13
GuD	0,00	0,00	0,00	-0,80	-0,80	0,02	0,00	0,00	0,00	-0,78
BHKW	-1,05	0,00	-0,01	-0,75	-1,81	0,11	0,02	0,00	0,00	-1,68
REF 4 AGFW	-3,72	-0,93	-7,12	-3,72	-15,49	2,03	1,43	2,19	1,92	-7,92
davon: Dampft.	-2,02	-0,92	-3,73	-2,73	-9,41	1,98	1,15	2,17	1,92	-2,20
Gastur.	0,00	0,00	-0,64	-0,32	-0,96	0,03	0,29	0,02	0,00	-0,62
GuD	0,00	0,00	-1,34	-0,18	-1,52	0,01	0,00	0,00	0,00	-1,52
BHKW	-1,70	0,00	-1,40	-0,49	-3,59	0,01	0,00	0,00	0,00	-3,58

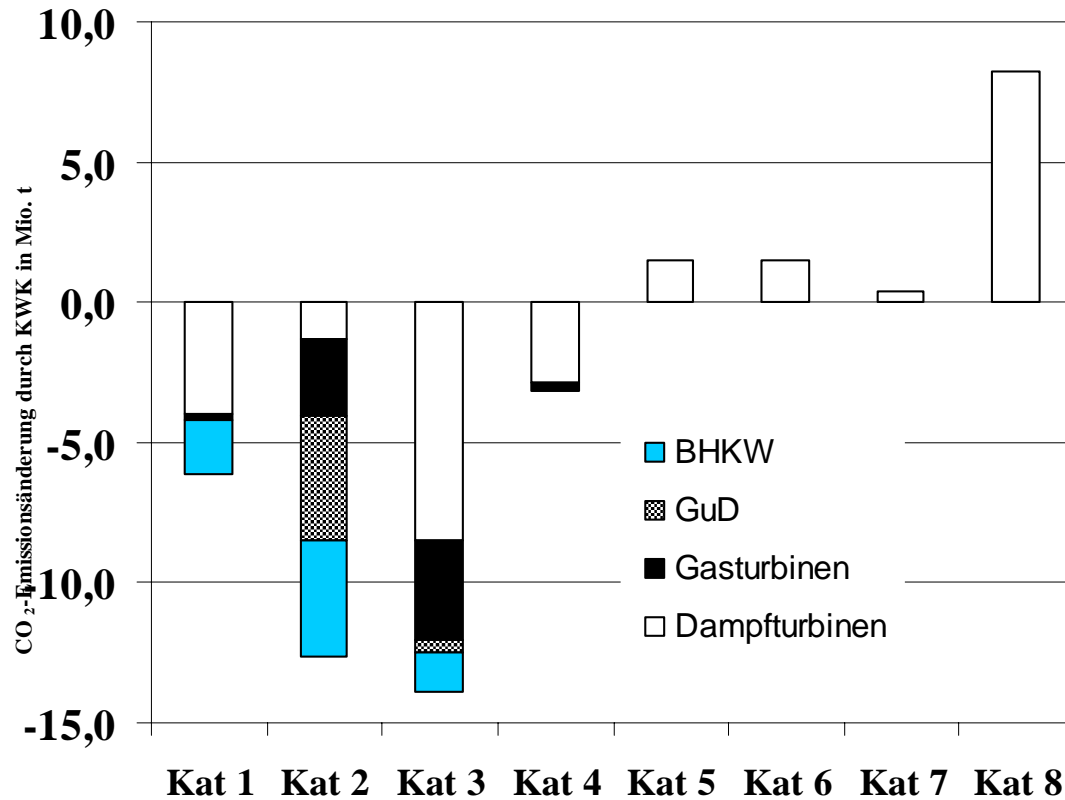


Abbildung 17: CO₂-Emissionsvergleich des Betriebs der KWK-Anlagen in 1999 nach dem AG KWK-Modell gegenüber dem Referenzsystem 1

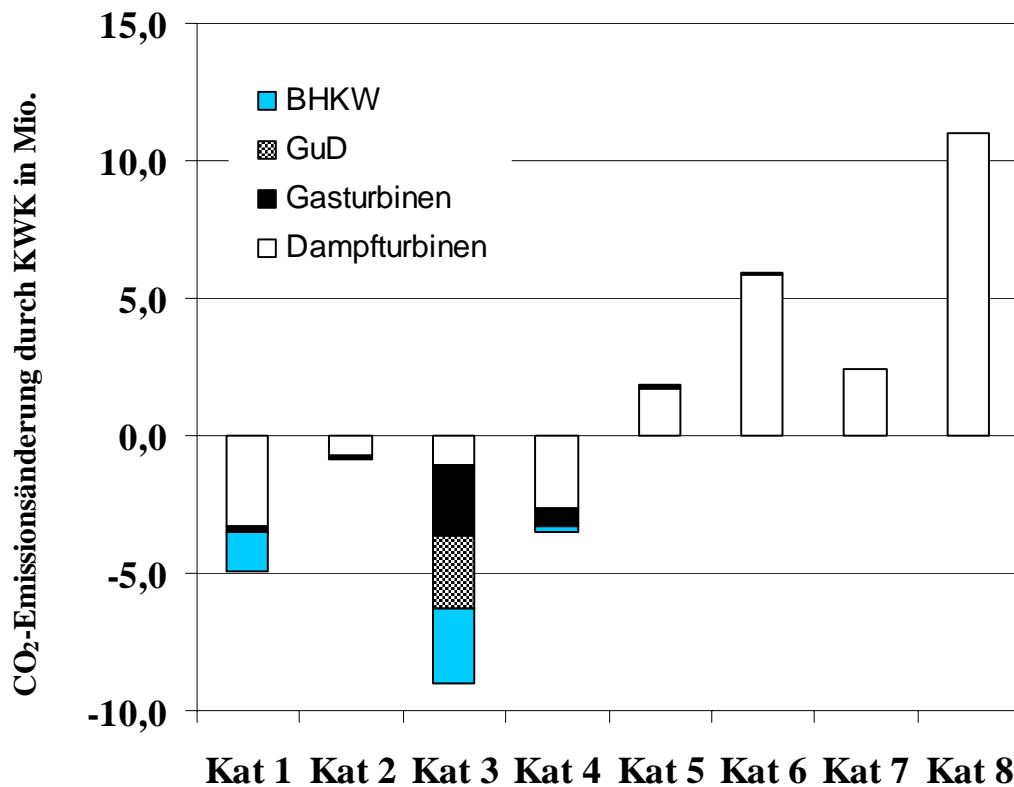


Abbildung 18: CO₂-Emissionsvergleich des Betriebs der KWK-Anlagen in 1999 nach dem AG KWK-Modell gegenüber dem Referenzsystem 2

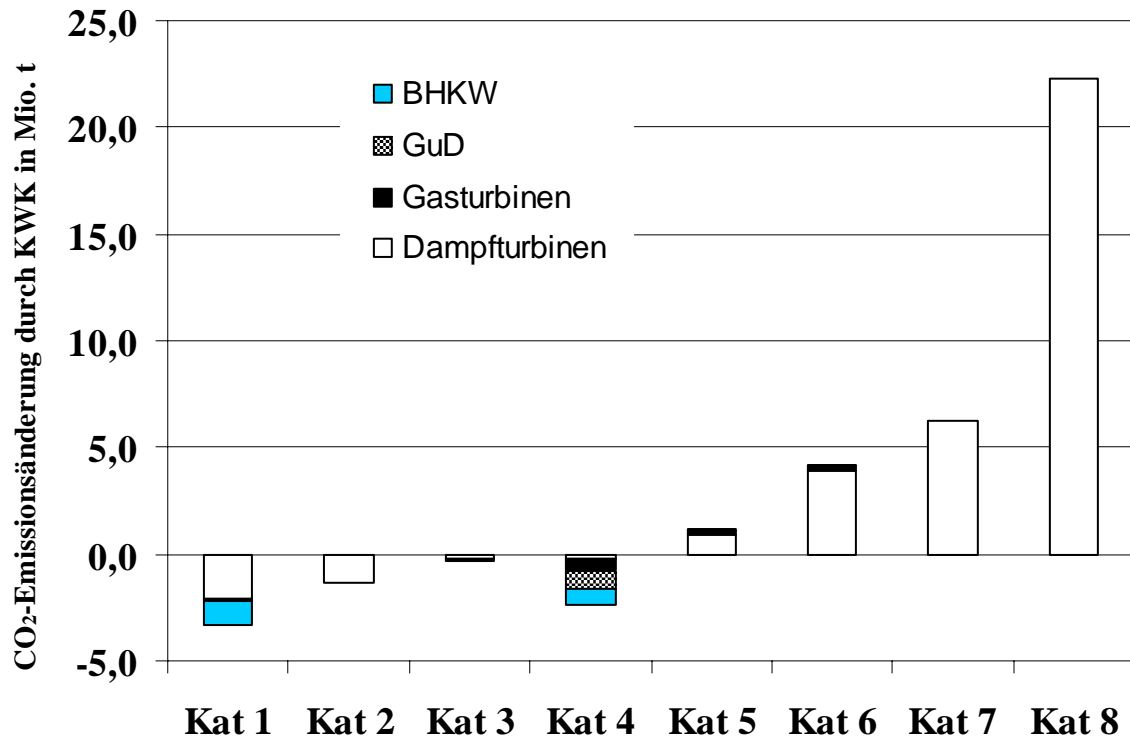


Abbildung 19: CO₂-Emissionsvergleich des Betriebs der KWK-Anlagen in 1999 nach dem AG KWK-Modell gegenüber dem Referenzsystem 3

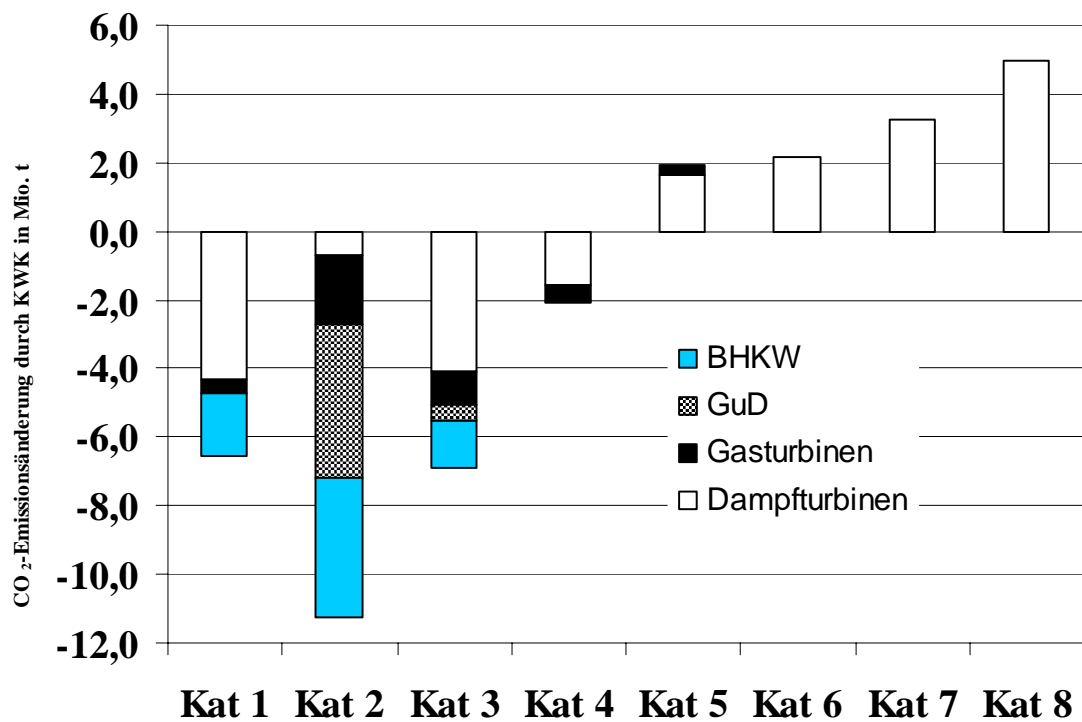


Abbildung 20: CO₂-Emissionsvergleich des Betriebs der KWK-Anlagen in 1999 nach dem AGFW-nahen Modell gegenüber dem Referenzsystem 1

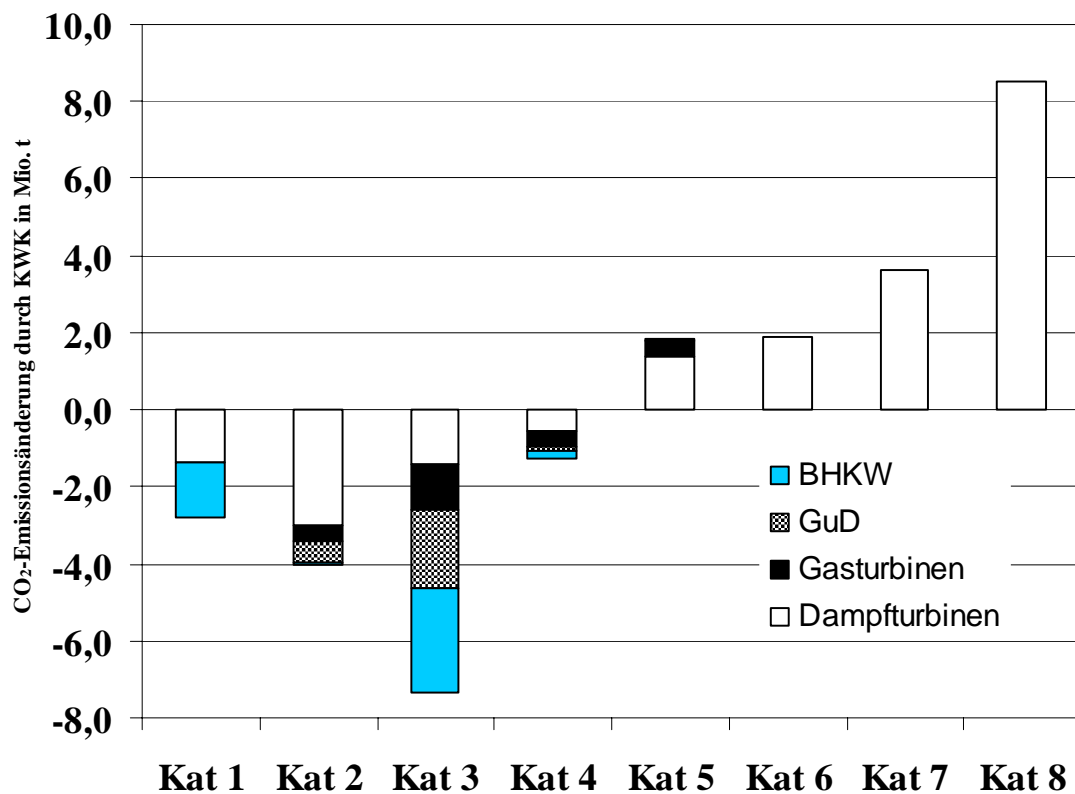


Abbildung 21: CO₂-Emissionsvergleich des Betriebs der KWK-Anlagen in 1999 nach dem AGFW-nahen Modell gegenüber dem Referenzsystem 2

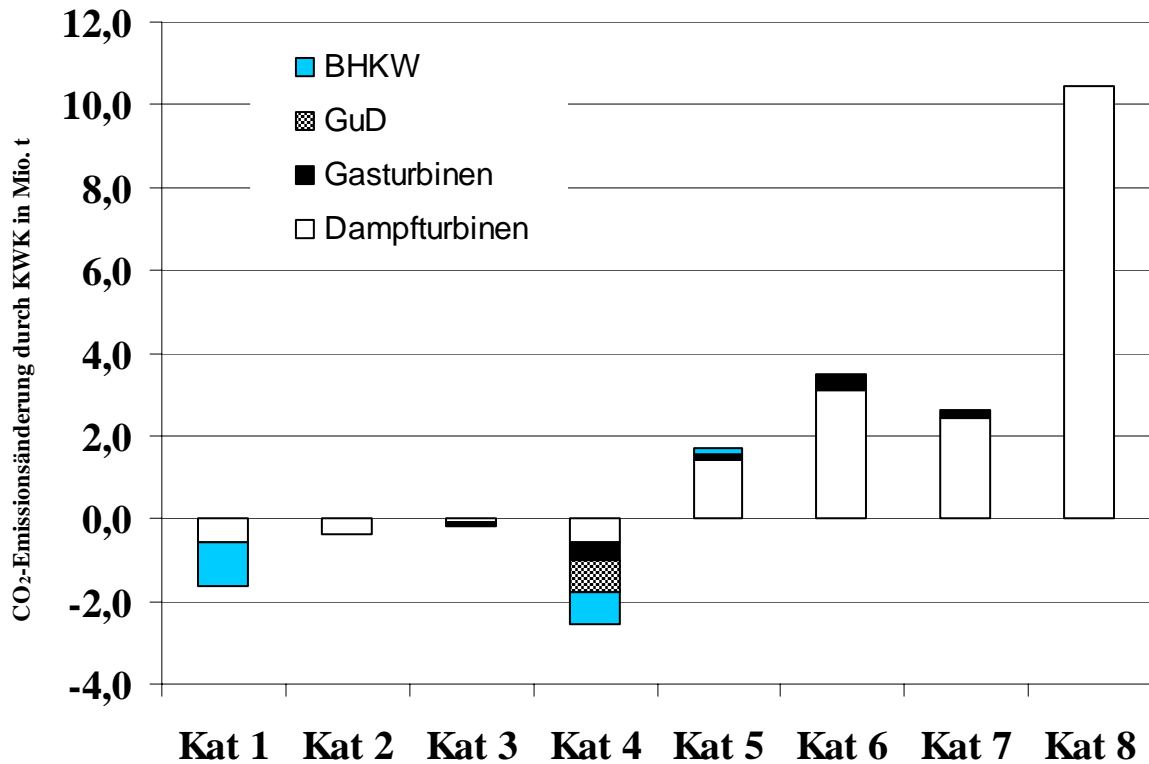


Abbildung 22: CO₂-Emissionsvergleich des Betriebs der KWK-Anlagen in 1999 nach dem AGFW-nahen Modell gegenüber dem Referenzsystem 3

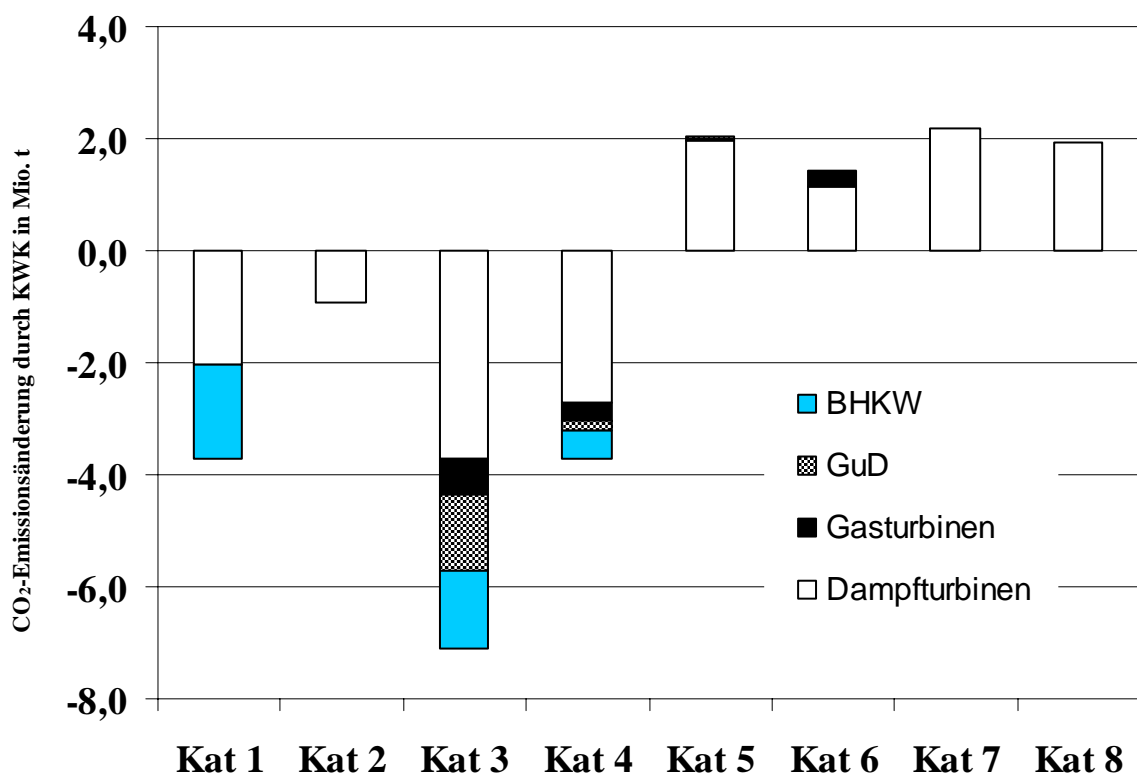


Abbildung 23: CO₂-Emissionsvergleich des Betriebs der KWK-Anlagen in 1999 nach dem AGFW-nahen Modell gegenüber dem Referenzsystem 4

Entsprechend der Abgrenzung der hier verwendeten CO₂-Minderungskategorien ergibt sich bei einer kumulierten Betrachtung das Maximum der CO₂-Einsparung durch die Summation über die Kategorien 1 bis 4. Hier führt die Aggregation in den Kategorien 1 bis 4 nach dem AG KWK-Modell zu kumulierten CO₂-Einsparungen zwischen 7,4 und 35,7 Mio. t CO₂ (vgl. Abbildung 24), nach dem AGFW-nahen Modell beträgt die Bandbreite der CO₂-Einsparung 4,7 bis 26,9 Mio. t CO₂.

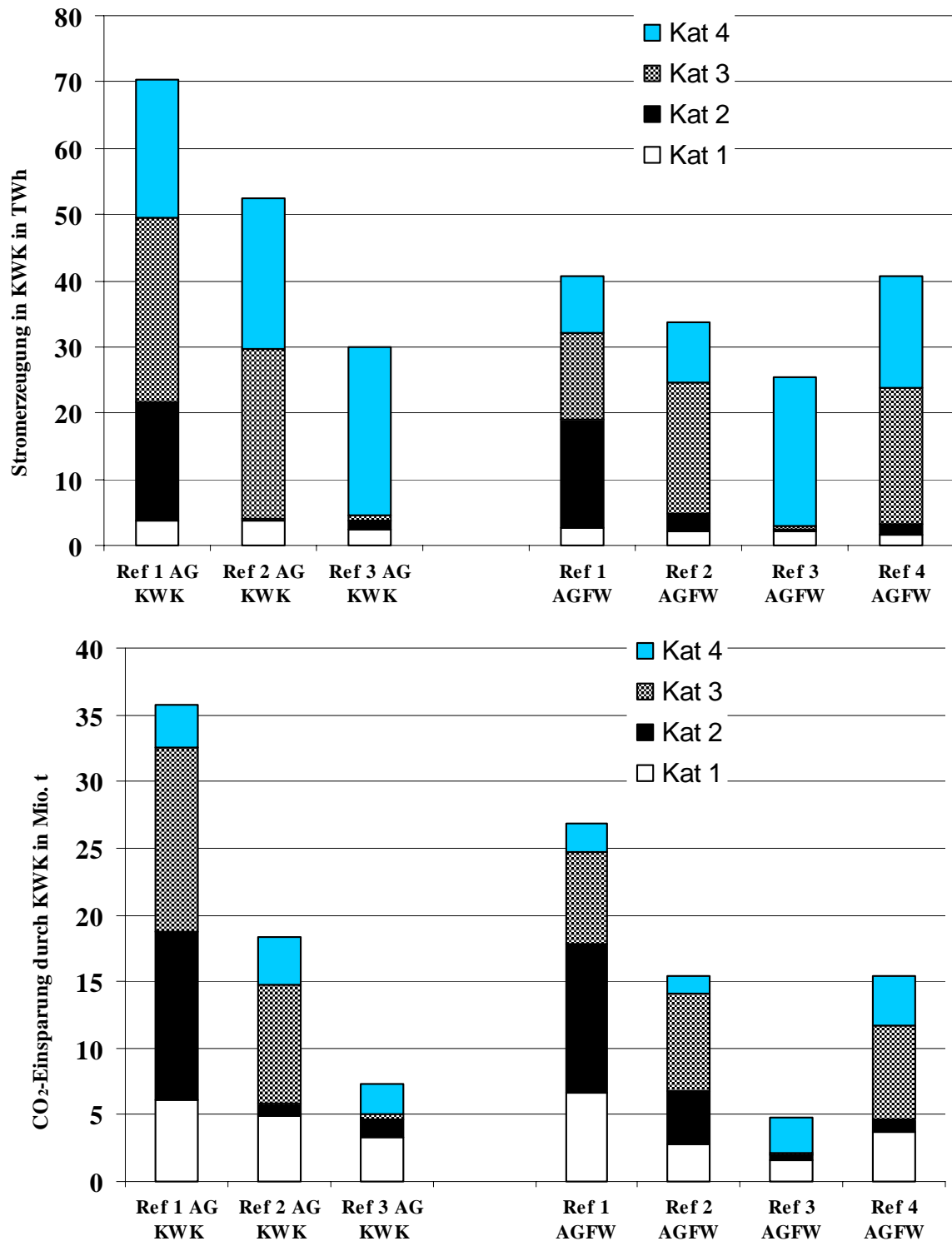


Abbildung 24: Einfluß der KWK-Definition und des Referenzsystems auf die CO₂-mindernde KWK-Stromerzeugung und den CO₂-Minderungsbeitrag

Bezieht man nun noch die Mehremissionen an CO₂ aus den Kategorien 5 bis 8 ein, so errechnen sich gegenüber der Referenz 1 CO₂-Einsparungen von 24,1 (AG KWK) bzw. 14,5 (AGFW-nahe) Mio. t CO₂. Gegenüber der Referenz 2 ergeben sich durch den KWK-Betrieb 1999 Mehremissionen von 2,9 bzw. 0,4 Mio. t CO₂ und gegenüber der Referenz 3 von 26,5 bzw. 13,5 Mio. t CO₂ (siehe auch Abbildung 25 und Abbildung 26). Die Berücksichtigung des Referenzsystems 4, dem eine brennstoffdifferenzierte Betrachtung der Stromerzeugung und der industriellen Wärmeerzeugung sowie die Betrachtung des Wärmemix für die öffentliche KWK und die BHKW zugrunde liegt, führt insgesamt für den Betrieb der KWK-Anlagen im Jahr 1999 zu einer CO₂-Einsparung von 7,9 Mio. t bei dem AGFW-nahen Modell.¹¹

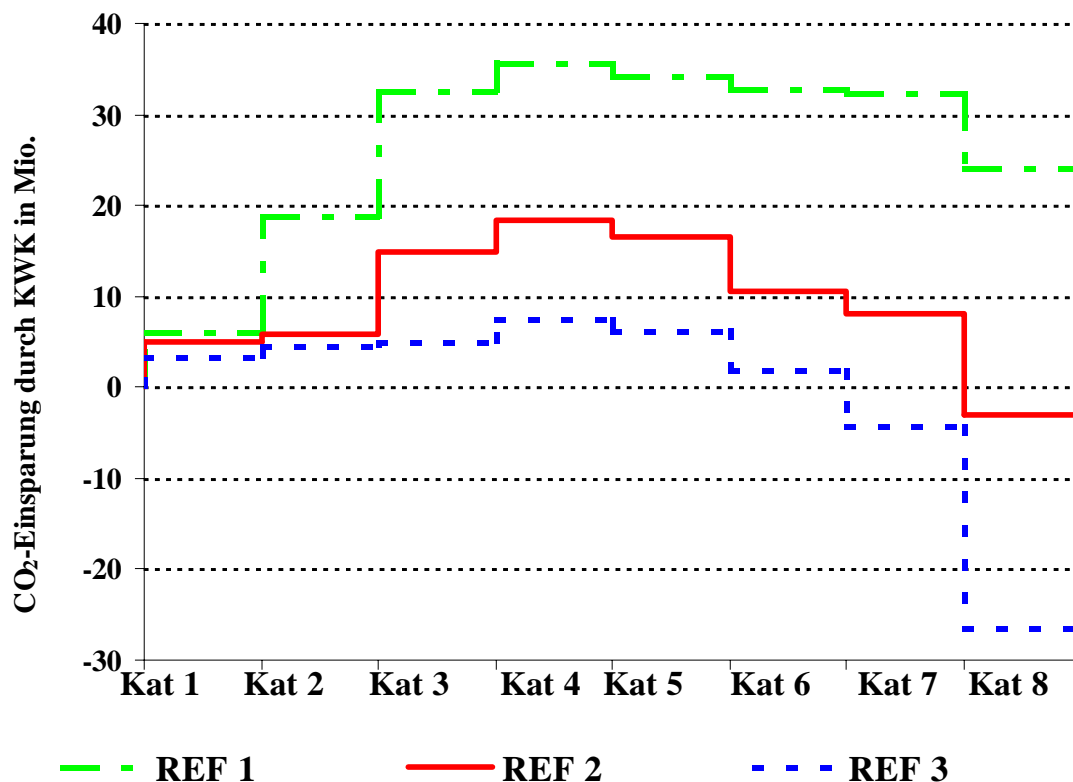


Abbildung 25: Kumulierte CO₂-Einsparung durch den Betrieb der KWK-Anlagen in 1999 nach dem AG KWK-Modell

Eine weitere Betrachtungsmöglichkeit ergibt sich, wenn weniger die KWK-Technologie im Vordergrund stehen soll, sondern ein gesamtsystemarer Ansatz Verwendung findet. Dann erfolgt eine Bilanzierung über die gesamte Erzeugung in der jeweiligen KWK-Anlage.

¹¹ Wird beim Referenzsystem 4 wärmeseitig generell mit dem Wärmemix 1999 bilanziert, ergibt sich im Saldo eine Differenz bei den CO₂-Emissionen von 1,00 Mio. t CO₂ zu Gunsten des Betriebs der KWK-Anlagen im Jahr 1999. Folglich ist die Differenz von 6,92 Mio. t CO₂ auf die unterschiedliche Festlegung des wärmeseitigen Referenzsystems zurückzuführen. Entsprechend kann dann z. B. für das Referenzsystem 2 festgestellt werden, dass die brennstoffdifferenzierte Betrachtung der industriellen Wärmeerzeugung zu einer CO₂-Einsparung von 6,47 Mio. t CO₂ durch den Betrieb der KWK-Anlagen im Jahr 1999 führt.

Es wird also auch die anteilige Stromerzeugung in der Kondensationsscheibe mit erfasst. Hier sind entsprechend Abschnitt 4 insgesamt 107,4 TWh an Nettostromerzeugung zu bilanzieren. Damit einher geht eine Wärmeerzeugung von 169,1 TWh bei gesamten CO₂-Emissionen von 118,6 Mio. t für den Betrieb der Anlagen im Jahr 1999. Das Referenzsystem 1 führt zu vergleichbaren CO₂-Emissionen von 143,0 Mio. t, das Referenzsystem 2 zu 111,1 Mio. t und das Referenzsystem 3 zu 83,3 Mio. t. Damit ergibt sich bei einer Gesamtbetrachtung der KWK-Anlagen eine CO₂-Einsparung von 24,5 Mio. t gegenüber dem Referenzsystem 1 und CO₂-Mehremissionen von 7,5 Mio. t gegenüber dem Referenzsystem 2 bzw. von 35,3 Mio. t gegenüber dem Referenzsystem 3.

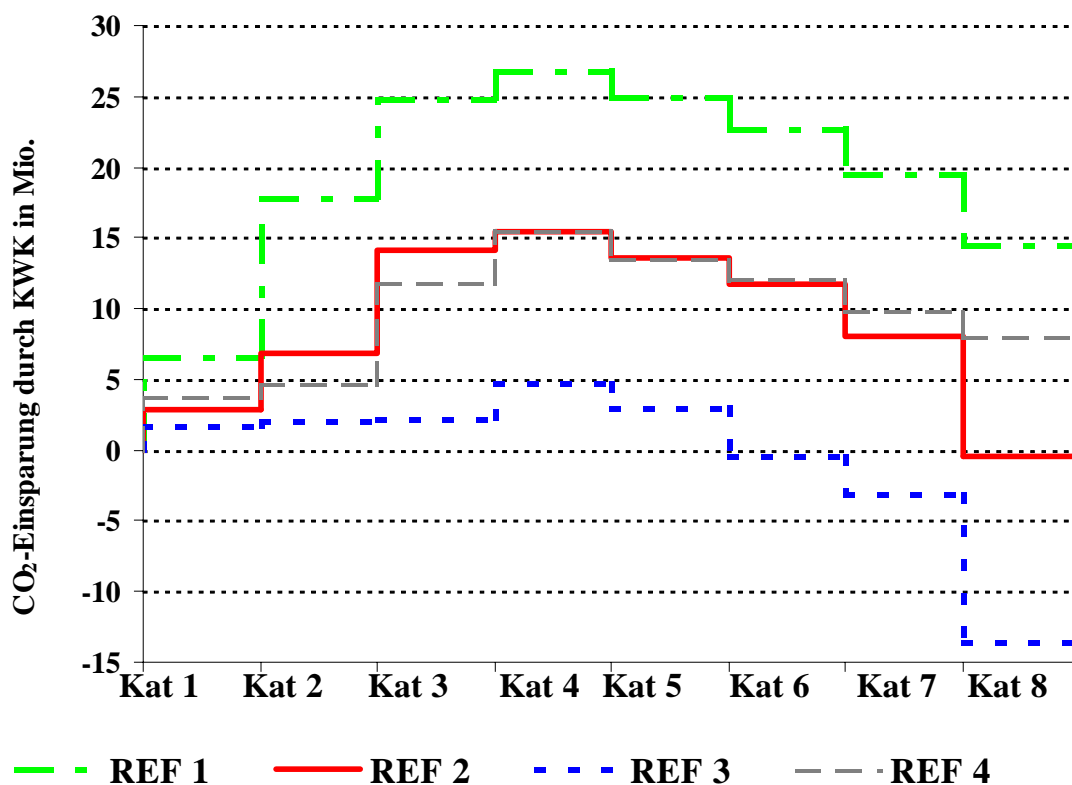


Abbildung 26: Kumulierte CO₂-Einsparung durch den Betrieb der KWK-Anlagen in 1999 nach dem AGFW-nahen Modell

Des Weiteren lassen sich - ähnlich wie bei der Energieträgereinsparung - bezüglich des CO₂-Effektes der KWK-Erzeugung des Jahres 1999 über konkrete Referenzsysteme der getrennten Erzeugung hinaus verallgemeinerte Aussagen machen, die sich ausrichten an den spezifischen CO₂-Emissionen der getrennten Strom- und Wärmeerzeugung. Ausgangspunkt einer derartigen parametrisierten Darstellung ist bei Zugrundelegung des AGFW-nahen Modells für den KWK-Strom eine KWK-Stromerzeugung von 50,4 TWh bzw. Wärmeerzeugung in KWK-Anlagen von 169,1 TWh im Jahr 1999. Bei dem damit verbundenen Brennstoffeinsatz in Höhe von 285,1 TWh (1026 PJ) errechnen sich unter Berücksichtigung der Struktur der eingesetzten Energieträger die der KWK-Erzeugung zuzurechnenden CO₂-Emissionen zu

rund 76,8 Mio. t CO₂. Dies entspricht ca. 9 % der energiebedingten CO₂-Emissionen in Deutschland im Jahr 1999. Vergleicht man nun die CO₂-Gesamtemissionen einer getrennten Erzeugung der selben Menge Strom und Wärme (zur Abgrenzung der Wärmeerzeugung siehe Anlage 1) mit den CO₂-Emissionen der KWK-Erzeugung, so lässt sich rechnerisch die jeweilige CO₂-Veränderung ermitteln. In Tabelle 17 ist diese in Abhängigkeit von den spezifischen CO₂-Emissionen einer getrennten Strom- und Wärmeerzeugung ausgewiesen. Im unteren Teil der Tabelle sind noch einmal die spezifischen CO₂-Emissionen der Stromerzeugung der Referenzsysteme 1 bis 3 aufgeführt.

Tabelle 17: CO₂-Veränderung durch den Betrieb der KWK-Anlagen in 1999 in Abhängigkeit von den spezifischen CO₂-Emissionen des Referenzsystems Strom und Wärme (schattierte Flächen zeigen eine CO₂-Einsparung durch den KWK-Betrieb 1999) (AGFW-nahes Modell)

Referenzsystem Strom in [g CO ₂ je kWh _{el}]	Referenzsystem Wärme in [g CO ₂ je kWh _{th}]									
	170	190	210	230	250	270	292,5	315	337,5	360
300	33,02	29,57	26,19	22,81	19,43	16,04	12,24	8,43	4,63	0,83
325	31,76	28,31	24,93	21,55	18,16	14,78	10,98	7,17	3,37	-0,43
350	30,49	27,05	23,67	20,29	16,90	13,52	9,72	5,91	2,11	-1,70
375	29,23	25,79	22,41	19,02	15,64	12,26	8,46	4,65	0,85	-2,96
400	27,97	24,53	21,15	17,76	14,38	11,00	7,20	3,39	-0,41	-4,22
425	26,71	23,27	19,88	16,50	13,12	9,74	5,94	2,13	-1,67	-5,48
450	25,45	22,01	18,62	15,24	11,86	8,48	4,67	0,87	-2,93	-6,74
475	24,19	20,74	17,36	13,98	10,60	7,22	3,41	-0,39	-4,19	-8,00
500	22,93	19,48	16,10	12,72	9,34	5,96	2,15	-1,65	-5,46	-9,26
525	21,67	18,22	14,84	11,46	8,08	4,70	0,89	-2,91	-6,72	-10,52
550	20,41	16,96	13,58	10,20	6,82	3,44	-0,37	-4,17	-7,98	-11,78
575	19,15	15,70	12,32	8,94	5,56	2,18	-1,63	-5,43	-9,24	-13,04
600	17,89	14,44	11,06	7,68	4,30	0,91	-2,89	-6,69	-10,50	-14,30
625	16,63	13,18	9,80	6,42	3,04	-0,35	-4,15	-7,95	-11,76	-15,56
650	15,37	11,92	8,54	5,16	1,77	-1,61	-5,41	-9,22	-13,02	-16,82
675	14,11	10,66	7,28	3,90	0,51	-2,87	-6,67	-10,48	-14,28	-18,09
700	12,84	9,40	6,02	2,63	-0,75	-4,13	-7,93	-11,74	-15,54	-19,35
725	11,58	8,14	4,76	1,37	-2,01	-5,39	-9,19	-13,00	-16,80	-20,61
750	10,32	6,88	3,49	0,11	-3,27	-6,65	-10,45	-14,26	-18,06	-21,87
775	9,06	5,62	2,23	-1,15	-4,53	-7,91	-11,72	-15,52	-19,32	-23,13
800	7,80	4,35	0,97	-2,41	-5,79	-9,17	-12,98	-16,78	-20,58	-24,39
825	6,54	3,09	-0,29	-3,67	-7,05	-10,43	-14,24	-18,04	-21,85	-25,65
850	5,28	1,83	-1,55	-4,93	-8,31	-11,69	-15,50	-19,30	-23,11	-26,91
875	4,02	0,57	-2,81	-6,19	-9,57	-12,95	-16,76	-20,56	-24,37	-28,17
900	2,76	-0,69	-4,07	-7,45	-10,83	-14,21	-18,02	-21,82	-25,63	-29,43
925	1,50	-1,95	-5,33	-8,71	-12,09	-15,48	-19,28	-23,08	-26,89	-30,69
950	0,24	-3,21	-6,59	-9,97	-13,35	-16,74	-20,54	-24,34	-28,15	-31,95
350,6	30,46	27,02	23,64	20,25	16,87	13,49	9,69	5,88	2,08	-1,73
609,3	17,42	13,97	10,59	7,21	3,83	0,45	-3,36	-7,16	-10,97	-14,77
783,0	8,66	5,21	1,83	-1,55	-4,93	-8,31	-12,12	-15,92	-19,73	-23,53
906,1	2,45	-1,00	-4,38	-7,76	-11,14	-14,52	-18,33	-22,13	-25,94	-29,74
Zusatzinformation:	CO ₂ -Emissionen in KWK-Anlagen					76,8 Mio. t				
	Stromerzeugung in KWK-Anlagen					50,4 TWh				
	Wärmeerzeugung in KWK-Anlagen					169,1 TWh				

Zur Einordnung der in Tabelle 17 aufgeführten Parameterwerte der spezifischen CO₂-Emissionen seien noch die folgenden Anhaltswerte genannt. Die Steinkohle-, Erdgas- und Heizölkraftwerke des Bestandes 1998 haben im Mittel eine CO₂-Emission von 783 g CO₂ je kWh_{el} (vgl. Tabelle 6). Ein neues Steinkohlekraftwerk mit einem Jahresnutzungsgrad von 44 % weist spezifische CO₂-Emissionen von 760,9 g CO₂ je kWh_{el} auf und ein Mischsystem, bestehend aus 50 % neuen Steinkohlekraftwerken und 50 % neuen Erdgas-GuD-Kraftwerken, führt zu CO₂-Emissionen von 555,8 g CO₂ je kWh_{el}. Auf der Wärmeseite führt ein Erdgas-Brennwertkessel mit einem Jahresnutzungsgrad von 104 % bei Berücksichtigung eines Verteilungsverlustes für die KWK-Wärme von 12,6 %, was nach Angaben der AGFW dem Mittelwert bei der heutigen Siedlungs-KWK entspricht, zu spezifischen CO₂-Emissionen von 169,3 g CO₂ je kWh_{th}. Ein Heizölkessel mit einem Jahresnutzungsgrad von 74 % weist demgegenüber – ohne Berücksichtigung weiterer Verluste – CO₂-Emissionen von 360,0 g CO₂ je kWh_{th} auf.

Die sich aus diesen Betrachtungen ergebende Grenze gleicher CO₂-Emissionen der KWK-Erzeugung in 1999 nach dem AGFW-nahen Modell im Vergleich zu einer getrennten Erzeugung der selben Menge Strom und Wärme ist in Abbildung 27 in Abhängigkeit von den spezifischen CO₂-Emissionen der Wärme- bzw. Stromerzeugung noch einmal dargestellt. Bei Kombinationen der spezifischen CO₂-Emissionen einer getrennten Erzeugung, die oberhalb der Geraden in Abbildung 27 liegen, weist die KWK-Erzeugung des Jahres 1999 nach dem AGFW-nahen Modell geringere CO₂-Emissionen auf.

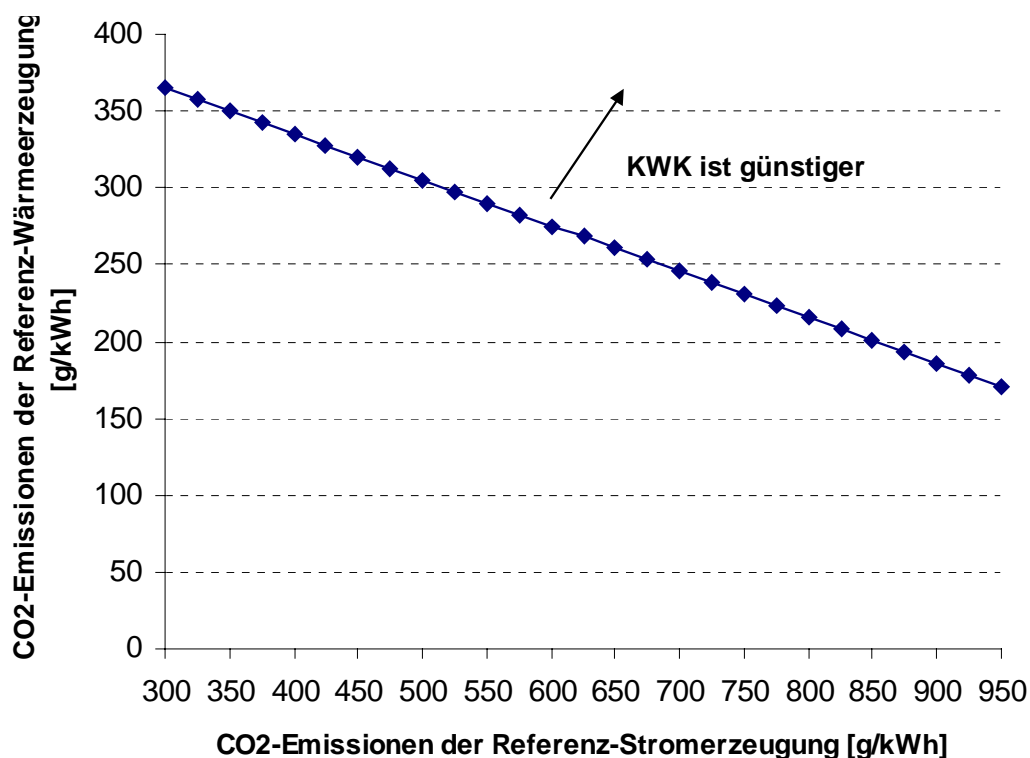


Abbildung 27: Grenzlinie gleicher CO₂-Emissionen durch den Betrieb der KWK-Anlagen im Bestand 1999 gegenüber unterschiedlichen Referenzsystemen der getrennten Strom- und Wärmeerzeugung (AGFW-nahes Modell)

Die entsprechenden absoluten CO₂-Emissionsänderungen bezogen auf die KWK-Erzeugung des Jahres 1999 nach dem AGFW-nahen Modell sind in Abbildung 28 dargestellt. Die Linien in Abbildung 28 entsprechen dabei Wärmeerzeugungssystemen mit unterschiedlichen anrechenbaren spezifischen CO₂-Emissionen. Darüber hinaus sind auch die drei Punkte für die Referenzsysteme 1 bis 3 (siehe Abschnitt 4.2) eingetragen.

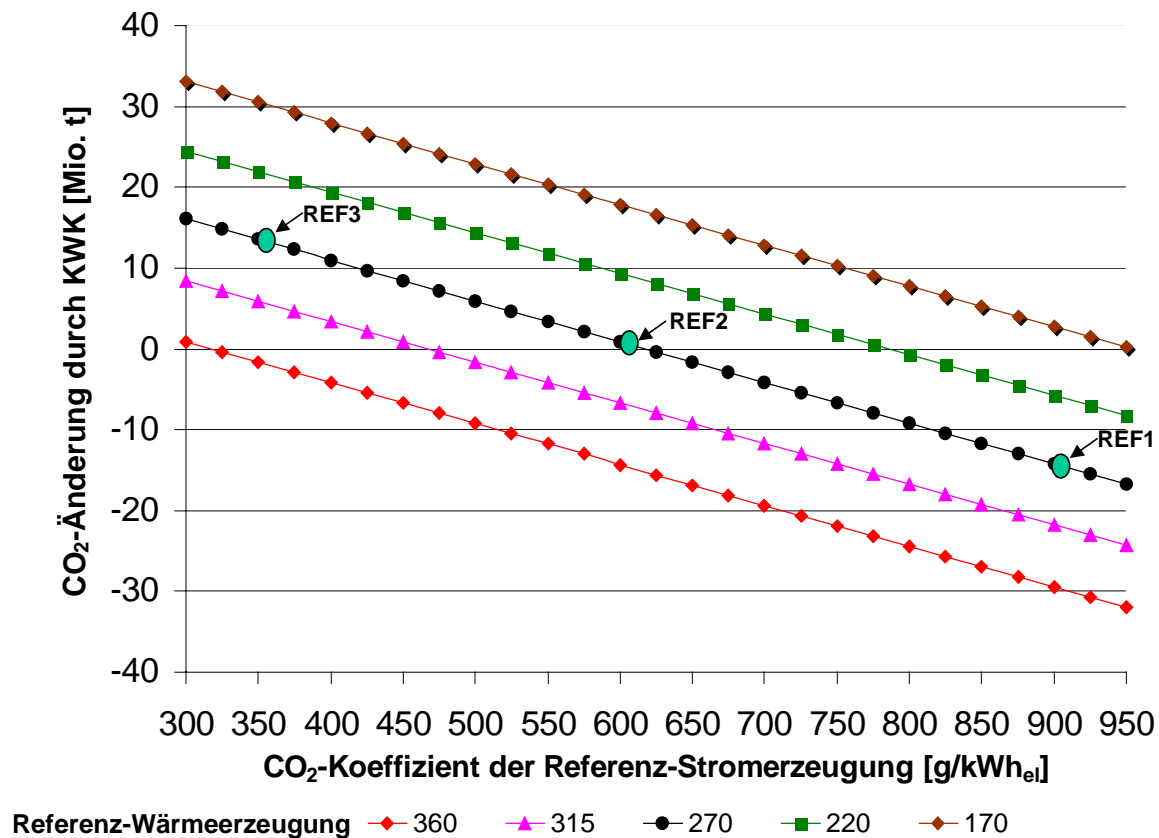


Abbildung 28: Veränderung der absoluten CO₂-Emissionen durch den Betrieb der KWK-Anlagen im Bestand 1999 in Abhängigkeit vom CO₂-Koeffizienten der Referenz-Strom- und Wärmeerzeugung (AGFW-nahes Modell)

Zur Einordnung der Ergebnisse soll noch kurz auf Aussagen zur CO₂-Minderung durch Kraft-Wärme-Kopplung in weiteren Veröffentlichungen eingegangen werden.¹² So weist die AGFW im Hauptbericht der Fernwärmeversorgung 1999 für die gesamte Fernwärme (inkl. Heizwerke) eine CO₂-Einsparung von 10,8 Mio. t CO₂ aus. Werden hier die Heizwerke herausgerechnet und der Mülleinsatz, wie in der vorliegenden Untersuchung, CO₂-mässig bewertet, so ergibt sich eine verbleibende CO₂-Einsparung von 8,1 Mio. t CO₂ bei einer bilanzierten Nettostromerzeugung (inkl. Fremdbezug) von 33,25 TWh. In der Abgrenzung, wie sie für das vorliegende Gutachten verwendet wurde, ergibt sich für die öffentliche Versor-

¹² Ziel der vorliegenden Untersuchung war eine konsistente Gesamtschau für den KWK-Anlagenbestand in Deutschland. Da jedoch der Großteil der vorliegenden Untersuchungen eine Unterscheidung zwischen öffentlicher und industrieller KWK vornimmt, sind in Anlage 4 entsprechende Zusatzinformationen aufgeführt. Da die Abgrenzung zwischen den beiden Gruppierungen zum Teil unscharf ist, wurde hierfür eine eigenständige Zuordnung vorgenommen.

gung eine KWK-Nettostromerzeugung nach dem AGFW-nahen Modell von 28,6 TWh und damit bei Verwendung des selben Referenzsystems der getrennten Erzeugung wie AGFW (595,5 g CO₂ je kWh_{el} und 336,8 g CO₂ je kWh_{Wärme}) eine CO₂-Einsparung von 8,3 Mio. t. Damit stimmen die Aussagen für diesen Bereich relativ gut miteinander überein.

Für die industrielle KWK hat das Fraunhofer-ISI Karlsruhe im Rahmen der AGFW-Hauptstudie „Pluralistische Wärmeversorgung“ eine Umfrage unter Betreibern industrieller KWK-Anlagen durchgeführt. In der Umfrage wurden 28,96 TWh Bruttostromerzeugung der industriellen KWK erfasst, 49,9 TWh Wärme und ein gesamter Brennstoffeinsatz von 106,6 TWh. Während der Stromerzeugungsteil noch relativ gut erhoben werden konnte, sind die Angaben bei der Wärmeerzeugung wesentlich unsicherer oder fehlen komplett, so dass die tatsächliche Wärmeerzeugung nach Einschätzung des ISI deutlich höher liegen dürfte. Auch die eingesetzten Brennstoffmengen konnten nicht für alle Anlagen erfasst werden und zusätzlich war bei einigen Anlagen der Brennstoffeinsatz zwar angegeben, jedoch nicht nach den einzelnen Brennstoffarten aufgeschlüsselt. Letztendlich wurde dann der Versuch unternommen, die KWK-Strommenge nach der AGFW-Abgrenzung zu ermitteln, jedoch erfolgt keine Aussage zur CO₂-Einsparung bei Berücksichtigung der gesamten KWK-Stromerzeugung nach dem AGFW-Modell.

Die KWK-Nettostrommenge nach der AGFW-Abgrenzung wird demnach für die industrielle KWK mit insgesamt 24,8 TWh abgeschätzt, was relativ gut mit der im Rahmen der IER-Kraftwerks-Bestands-Datenbank bilanzierten Nettostromerzeugung von 21,9 TWh übereinstimmt, wenn zusätzlich berücksichtigt wird, dass das ISI Karlsruhe pauschal mit einem Eigenbedarf der Anlagen von 5 % rechnet. Schließlich weist das ISI für die gesamte in der Umfrage erfasste Nettostromerzeugung (22,5 TWh), d. h. ohne Korrektur gemäß AGFW-Abgrenzung, und unter der Berücksichtigung des Abfalleinsatzes sowie der Annahme einer eher „konservativen“ Brennstoffaufteilung eine CO₂-Mehremission der industriellen KWK-Anlagen von 0,8 Mio. t CO₂ aus. Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung wird vergleichbar für den gesamten industriellen KWK-Anlagenbestand eine Nettostromerzeugung von 36,5 TWh bilanziert, wobei sich gegenüber dem selben Referenzsystem, wie es das ISI verwendet hat (609,3 g CO₂ je kWh_{el} und 300 g CO₂ je kWh_{Wärme}) eine CO₂-Mehremission von 2,7 Mio. t CO₂ ergibt. Wird berücksichtigt, dass bei einer derartigen Umfrage wohl eher die Betreiber von Anlagen mit günstigeren Parametern antworten werden, so sind auch diese Ergebnisse im Vergleich durchaus in einem plausiblen Bereich.

7 Wettbewerbsfähigkeit des KWK-Betriebs im Jahr 1999 im liberalisierten Strommarkt

In wettbewerblichen Strommärkten ohne Gebietsmonopole wird der Einsatz der unterschiedlichen Kraftwerke im Wesentlichen durch die am Markt erzielbaren Strompreise bestimmt, die, wie die Erfahrung in bereits liberalisierten Märkten zeigt, zeitlich stark variieren können. Un-

ter der idealisierenden Annahme eines vollständigen Wettbewerbs sowie der Vernachlässigung technischer Restriktionen werden in jedem Zeitabschnitt nur noch die Kraftwerke betrieben, deren kurzfristige Grenzkosten der Erzeugung (Betriebskosten) kleiner oder höchstens gleich dem am Markt erzielbaren Preis sind. Das bedeutet aber auch, daß in dem jeweiligen Zeitabschnitt mit den verschiedenen Anlagen aufgrund ihrer unterschiedlichen Betriebskosten unterschiedlich hohe Deckungsbeiträge für die Kapitalkosten bzw. Gewinnmargen erzielt werden können. Die derzeit in Deutschland zu beobachtenden Angebotspreise für Strom (3 bis 8 Pf/kWh_{el}) belegen diese Sichtweise.

Bei den KWK-Anlagen des Bestandes kommt hier eine Besonderheit hinzu. Aufgrund der Einordnung der KWK sowohl im Strom- als auch im Wärmemarkt sind die anzusetzenden betriebsseitigen Stromkosten auch abhängig von der Situation im Wärmemarkt (vgl. Abbildung 29). Um diesem Umstand Rechnung zu tragen, wurden für die KWK-Anlagen Gutschriften für die Wärmeerzeugung angesetzt. Dabei schließen die Wärmegutschriften immer noch einen Deckungsbeitrag für die Wärmenetze ein, obwohl auch diese nicht mehr variabel sind und in einer Extrembetrachtung für die ökonomische Positionierung ebenso außen vor bleiben könnten.

Markt

Anlegbarer Wärmepreis
- Verteilungskosten
= **Wärmegutschrift**

EVU

Erzeugungskosten KWK
- **Wärmegutschrift**
= **Restkosten Strom**

Strompreis Spotmarkt
+ ersparte Netzkosten
= **Anlegbarer Strompreis**

+ - ?

Abbildung 29: Positionierung der KWK im liberalisierten Markt

Für die KWK-Anlagen wurden Brennstoffpreise aus dem Jahr 1999 zugrunde gelegt, deren Durchschnittswerte und die zu beobachtenden Bandbreiten (Klammerwerte) in Tabelle 18 dargestellt sind. Hier unterscheiden sich die Preissetzungen in Abhängigkeit von den Abnahmemengen, von der regionalen Zuordnung (Transportkosten) und der Unternehmenssituation (Querverbundunternehmen) sowie der konkreten Brennstoffspezifikation. Entsprechend dieser Unterteilung wurden ebenfalls unterschiedlich hohe Wärmegutschriften unterstellt. Die

angesetzte Wärmegutschrift beträgt im Durchschnitt für die Industrie 15 DM/MWh (10 bis 25 DM/MWh), für die Öffentliche KWK 30 DM/MWh (15 bis 50 DM/MWh) und 60 DM/MWh (40 bis 90 DM/MWh) für den BHKW-Einsatz.

Tabelle 18: Durchschnittliche Brennstoffpreise und deren Bandbreiten (in Klammern) für den Einsatz in KWK-Anlagen im Jahr 1999 in [DM/MWh]

	Industrie	Öffentliche KWK	BHKW
Braunkohle	10,30 (9,00 / 30,00)	9,36 (8,23 / 28,97)	
Steinkohle	12,21 (9,33 / 17,67)	11,10 (8,22 / 16,56)	
Heizöl (schwer)	18,51 (15,68 / 34,78)	15,89 (14,26 / 31,58)	
Heizöl (leicht)	38,84 (31,33 / 53,58)	38,84 (31,33 / 53,58)	51,91 (39,00 / 72,00)
Erdgas	28,03 (19,09 / 41,37)	24,05 (16,38 / 35,50)	45,50 (32,00 / 65,00)

Ausgehend von den Wärmegutschriften lassen sich nun für die einzelnen KWK-Anlagen des Jahres 1999 die marginalen Grenzkosten der Stromerzeugung dieser Anlagen aufgrund der Betriebskosten (im Wesentlichen der Brennstoffkosten) ermitteln. In Abbildung 30 ist die sogenannte Merit Order des KWK-Anlagenbestandes für die AGFW-nahe Abgrenzung von KWK-Strom dargestellt. Es zeigt sich, dass gegenüber einem beispielhaft gewählten anlegbaren Strompreis von 6 Pf/kWh_{el} rund 18,7 TWh KWK-Strom wettbewerbsfähig angeboten werden können. Gegenüber der derzeitigen Mindest-Einspeisevergütung des KWK-Vorschaltgesetzes in Höhe von 9 Pf/kWh_{el} steigt diese Strommenge auf 29,4 TWh. Bei dem AG KWK-Modell der KWK-Strom-Definition werden hier Strommengen von bis zu 24,0 TWh (bei 6 Pf/kWh_{el}) bzw. 56,4 TWh (bei 9 Pf/kWh_{el}) erreicht. Dabei ist zu berücksichtigen, dass diese anlegbaren Strompreise bzw. Einspeisevergütungen nur eine Orientierung für die ökonomische Einordnung der KWK-Anlagen darstellen. So können z. T. die Anlagenbetreiber mit höheren Stromerlösen rechnen, wenn gegenüber dem Fremdstrombezug kalkuliert werden kann. In der tatsächlich anzusetzenden Höhe des anlegbaren Strompreises äußern sich die konkreten Bedingungen vor Ort, die in einer pauschalisierenden Betrachtung nicht berücksichtigt werden können.

Bezüglich eines möglichen Zertifikatspreises für Strom aus KWK-Anlagen, der sich auf einem vom Strommarkt getrennten Zertifikatsmarkt einstellen könnte und bei dem weitere Kriterien, z. B. hinsichtlich der Energie- oder der CO₂-Effizienz, unberücksichtigt bleiben, ist neben dieser Merit Order, die die potenzielle Bereitschaft der Betreiber der bestehenden KWK-Anlagen ausdrückt, im Zertifikatshandel aktiv zu werden, die Möglichkeit des Marktzutrittes durch Neuanlagen zu berücksichtigen. Nach den Untersuchungen des Bremer Energie-Institutes im Rahmen der AGFW-Vorstudie belaufen sich die Vollkosten, die für die Zubauentscheidung die relevante Größe darstellen, z. B. für neue Erdgas-GuD-KWK-Anlagen zwischen 10 und 12 Pf/kWh_{el}. Wird hiervon ein anlegbarer Strompreis, z. B. 6 Pf/kWh_{el}, in Abzug gebracht, so ergibt mit 4 bis 6 Pf/kWh_{el} auch eine Orientierung für eine mögliche

Obergrenze des Zertifikatspreises für KWK-Strom bei ausschließlicher Ausrichtung an der Stromerzeugung ohne Berücksichtigung weiter Kriterien.

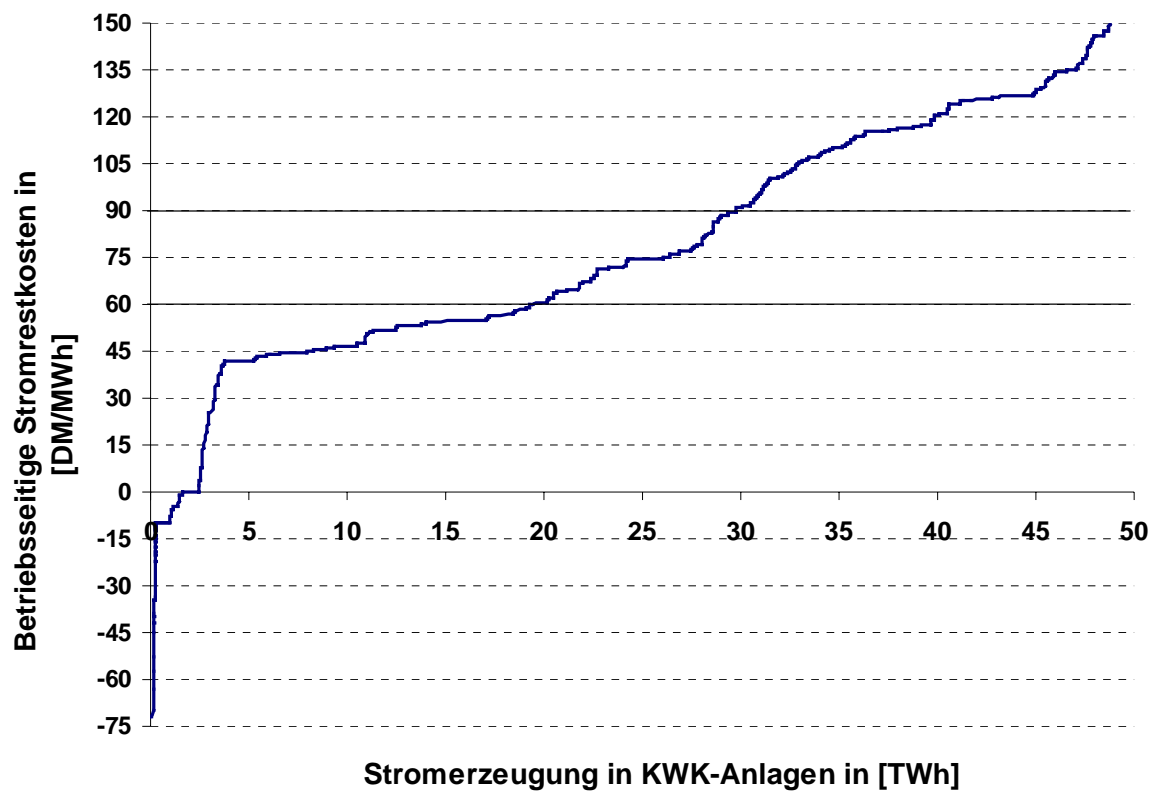


Abbildung 30: Merit Order des KWK-Anlagenbestandes bezüglich der betriebsseitigen Stromrestkosten (ohne Kapitalkosten) nach Wärmegutschrift (AGFW-nahes Modell)

Will man die KWK-Stromerzeugung in den bestehenden Anlagen nicht nur hinsichtlich der Energieeinsparung und der CO₂-Minderung sondern auch hinsichtlich ihrer marginalen Grenzkosten der Stromerzeugung, d. h. hinsichtlich ihrer Wettbewerbsfähigkeit im durch Überkapazitäten gekennzeichneten Strommarkt beurteilen, so bietet es sich an, die Anlagen nach Kategorien bezüglich der betriebsseitigen Stromrestkosten einzuteilen. Im Folgenden werden nun neben den acht CO₂-Minderungskategorien (siehe Abschnitt 4.3) auch acht Kategorien auf der Kostenseite gebildet, die gegenüber einem anlegbaren Strompreis von 6 Pf je kWh_{el} ermittelt werden. Betragen z. B. die betriebsseitigen Stromrestkosten einer KWK-Anlage im Jahr 1999 rund 7,8 Pf/kWh_{el}, so bedeutet dies eine Kostenspreizung gegenüber dem anlegbaren Strompreis von 30 %. Demgegenüber ergibt sich bei betriebsseitigen Stromrestkosten von 4,5 Pf/kWh_{el} eine Kostenspreizung von -25 %. Die entsprechenden Werte der zugehörigen Stromerzeugung in 1999 zeigt Tabelle 19 bis Tabelle 25 für die unterschiedlichen CO₂-Minderungskategorien, jeweils für die beiden KWK-Definitionen (AG KWK-Modell und AGFW-nahes Modell) und für die drei bzw. vier Referenzsysteme.

Tabelle 19: Struktur der Stromerzeugung in TWh im Bestand der KWK-Anlagen in 1999 gemäß dem AG KWK-Modell nach CO₂-Minderungskategorien gegenüber dem Referenzsystem 1 und nach Kategorien der Kostenabweichung gegenüber einem anlegbaren Strompreis von 6 Pf/kWh_{el}

		Kat 1 -76 bis - 100 %	Kat 2 -51 bis - 75 %	Kat 3 -26 bis - 50 %	Kat 4 0 bis -25 %	Zwischen- summe	Kat 5 25 bis 1%	Kat 6 50 bis 26 %	Kat 7 75 bis 51 %	Kat 8 100 bis 76 %	Summe
Kostenpreisung gg. anlegbarem Strompreis	weniger als -75%	1,66	0,05	0,04	0,19	1,94	0,09	0,00	0,00	0,05	2,08
	-50% bis -75%	0,04	0,00	0,00	0,08	0,11	0,57	0,42	0,08	0,00	1,17
	-25% bis -50%	0,12	3,82	0,11	0,59	4,65	0,63	0,80	0,06	0,00	6,14
	-0% bis -25%	0,07	5,81	3,89	3,56	13,33	1,20	0,07	0,01	0,01	14,63
	Zwischensumme	1,89	9,68	4,03	4,42	20,03	2,50	1,28	0,15	0,06	24,02
	25% bis 0%	0,13	2,46	4,95	1,00	8,55	2,24	0,79	0,04	2,45	14,07
	50% bis 25%	0,04	1,38	2,49	6,33	10,24	7,88	0,04	0,16	0,00	18,31
	75% bis 50%	0,26	1,53	2,89	1,18	5,86	0,01	0,00	0,00	0,04	5,91
	mehr als 75%	1,36	3,04	13,33	7,98	25,71	2,45	0,34	0,00	0,36	28,85
	Summe	3,69	18,09	27,69	20,91	70,38	15,08	2,44	0,35	2,92	91,16

Tabelle 20: Struktur der Stromerzeugung in TWh im Bestand der KWK-Anlagen in 1999 gemäß dem AG KWK-Modell nach CO₂-Minderungskategorien gegenüber dem Referenzsystem 2 und nach Kategorien der Kostenabweichung gegenüber einem anlegbaren Strompreis von 6 Pf/kWh_{el}

		Kat 1 -76 bis - 100 %	Kat 2 -51 bis - 75 %	Kat 3 -26 bis - 50 %	Kat 4 0 bis -25 %	Zwischen- summe	Kat 5 25 bis 1%	Kat 6 50 bis 26 %	Kat 7 75 bis 51 %	Kat 8 100 bis 76 %	Summe
Kostenpreisung gg. anlegbarem Strompreis	weniger als -75%	1,63	0,07	0,04	0,00	1,74	0,25	0,03	0,00	0,05	2,08
	-50% bis -75%	0,04	0,00	0,00	0,00	0,04	0,14	0,50	0,42	0,07	1,17
	-25% bis -50%	0,12	0,00	3,90	0,08	4,10	0,93	0,27	0,11	0,73	6,14
	-0% bis -25%	0,07	0,16	8,33	1,26	9,83	1,98	2,72	0,07	0,02	14,63
	Zwischensumme	1,87	0,24	12,27	1,34	15,71	3,31	3,52	0,61	0,88	24,02
	25% bis 0%	0,13	0,02	3,29	4,17	7,61	0,89	2,10	0,20	3,20	14,07
	50% bis 25%	0,00	0,06	1,95	3,76	5,77	0,24	7,32	4,83	0,15	18,31
	75% bis 50%	0,26	0,18	3,18	1,31	4,93	0,37	0,57	0,00	0,04	5,91
	mehr als 75%	1,36	0,00	4,87	12,11	18,35	7,07	2,84	0,03	0,55	28,85
	Summe	3,62	0,49	25,56	22,70	52,38	11,89	16,37	5,67	4,86	91,16

Tabelle 21: Struktur der Stromerzeugung in TWh im Bestand der KWK-Anlagen in 1999 gemäß dem AG KWK-Modell nach CO₂-Minderungskategorien gegenüber dem Referenzsystem 3 und nach Kategorien der Kostenabweichung gegenüber einem anlegbaren Strompreis von 6 Pf/kWh_{el}

		Kat 1 -76 bis - 100 %	Kat 2 -51 bis - 75 %	Kat 3 -26 bis - 50 %	Kat 4 0 bis -25 %	Zwischen- summe	Kat 5 25 bis 1%	Kat 6 50 bis 26 %	Kat 7 75 bis 51 %	Kat 8 100 bis 76 %	Summe
Kostenpreisung gg. anlegbarem Strompreis	weniger als -75%	1,63	0,07	0,00	0,04	1,74	0,00	0,25	0,03	0,05	2,08
	-50% bis -75%	0,00	0,04	0,00	0,00	0,04	0,08	0,07	0,10	0,89	1,17
	-25% bis -50%	0,06	0,06	0,00	3,94	4,06	0,07	0,48	0,59	0,93	6,14
	-0% bis -25%	0,04	0,04	0,04	8,56	8,67	0,21	1,73	3,38	0,65	14,63
	Zwischensumme	1,73	0,21	0,04	12,53	14,51	0,36	2,53	4,10	2,53	24,02
	25% bis 0%	0,04	0,09	0,32	3,35	3,80	3,03	1,12	2,63	3,49	14,07
	50% bis 25%	0,00	0,04	0,27	1,55	1,86	3,35	0,83	0,79	11,48	18,31
	75% bis 50%	0,09	0,17	0,25	2,46	2,98	1,58	0,63	0,13	0,60	5,91
	mehr als 75%	0,64	0,72	0,00	5,40	6,76	7,11	9,02	3,12	2,82	28,85
	Summe	2,51	1,23	0,88	25,29	29,91	15,43	14,14	10,76	20,91	91,16

Beim AG KWK-Modell sind im CO₂-Vergleich zum Referenzsystem 1 von den ca. 70,4 TWh, die zur CO₂-Minderung beitragen, rund 20 TWh und somit 28,5 % gegenüber dem anlegbaren Strompreis wettbewerbsfähig. Beim Referenzsystem 2, bei dem 52,4 TWh CO₂-mindernd wirken, beträgt der konkurrenzfähige und CO₂-mindernde Anteil 30,0 % entsprechend 15,7 TWh. Im Vergleich zum Referenzsystem 3, das rund 29,9 TWh mit einem CO₂-Minderungseffekt mit sich bringt, können ca. 14,5 TWh wettbewerbsfähig angeboten werden, d. h. rund 50 %. Wird für den anlegbaren Strompreis von 9 Pf/kWh_{el} ausgegangen, so erhöhen sich die damit verbundenen KWK-Strommengen, die gleichzeitig auch zur CO₂-Minderung beitragen, beim AG KWK-Modell auf 38,8 TWh (Referenz 1) bzw. 29,1 TWh (Referenz 2) bzw. 20,2 TWh (Referenz 3).

Tabelle 22: Struktur der Stromerzeugung in TWh im Bestand der KWK-Anlagen in 1999 gemäß dem AGFW-nahen Modell nach CO₂-Minderungskategorien gegenüber dem Referenzsystem 1 und nach Kategorien der Kostenabweichung gegenüber einem anlegbaren Strompreis von 6 Pf/kWh_{el}

	Kat 1 -76 bis -100 %	Kat 2 -51 bis -75 %	Kat 3 -26 bis -50 %	Kat 4 0 bis -25 %	Zwischen- summe	Kat 5 25 bis 1%	Kat 6 50 bis 26 %	Kat 7 75 bis 51 %	Kat 8 mehr als 75 %	Summe	
Kostenspreizung gg. anlegbarem Strompreis	weniger als -75%	1,43	0,00	0,02	0,01	1,46	0,50	0,10	0,06	0,00	2,11
	-50% bis -75%	0,02	0,00	0,00	0,22	0,24	0,00	0,08	0,02	0,20	0,54
	-25% bis -50%	0,00	3,83	0,14	0,01	3,98	0,35	0,19	0,17	0,07	4,77
	-0% bis -25%	0,02	6,78	2,73	0,48	10,02	0,63	0,15	0,10	0,34	11,24
	Zwischensumme	1,48	10,61	2,89	0,72	15,70	1,49	0,52	0,35	0,61	18,66
	25% bis 0%	0,22	1,04	3,07	0,55	4,88	1,37	0,00	0,65	0,06	6,96
	50% bis 25%	0,03	0,06	1,21	0,79	2,10	1,45	0,02	0,13	0,05	3,74
	75% bis 50%	0,12	1,68	0,72	0,62	3,14	0,14	0,06	0,00	0,03	3,36
	mehr als 75%	0,74	3,03	5,19	5,99	14,95	0,98	1,57	0,05	0,15	17,70
	Summe	2,58	16,42	13,09	8,67	40,76	5,44	2,15	1,19	0,89	50,43

Tabelle 23: Struktur der Stromerzeugung in TWh im Bestand der KWK-Anlagen in 1999 gemäß dem AGFW-nahen Modell nach CO₂-Minderungskategorien gegenüber dem Referenzsystem 2 und nach Kategorien der Kostenabweichung gegenüber einem anlegbaren Strompreis von 6 Pf/kWh_{el}

	Kat 1 -76 bis - 100 %	Kat 2 -51 bis - 75 %	Kat 3 -26 bis - 50 %	Kat 4 0 bis -25 %	Zwischen- summe	Kat 5 25 bis 1%	Kat 6 50 bis 26 %	Kat 7 75 bis 51 %	Kat 8 mehr als 75 %	Summe	
Kostenspreizung gg. anlegbarem Strompreis	weniger als -75%	1,16	0,26	0,00	0,03	1,45	0,47	0,00	0,11	0,07	2,11
	-50% bis -75%	0,02	0,00	0,00	0,00	0,03	0,22	0,00	0,08	0,22	0,54
	-25% bis -50%	0,00	1,50	2,47	0,00	3,97	0,12	0,28	0,32	0,07	4,77
	-0% bis -25%	0,02	0,07	7,47	2,01	9,57	0,49	0,27	0,50	0,42	11,24
	Zwischensumme	1,21	1,83	9,94	2,04	15,02	1,29	0,56	1,01	0,78	18,66
	25% bis 0%	0,19	0,25	3,55	0,47	4,46	0,60	0,42	0,78	0,70	6,96
	50% bis 25%	0,03	0,01	0,76	0,78	1,59	0,62	1,23	0,13	0,17	3,74
	75% bis 50%	0,12	0,24	1,49	1,14	2,98	0,26	0,09	0,02	0,03	3,36
	mehr als 75%	0,73	0,18	4,01	4,74	9,66	6,24	0,65	0,96	0,20	17,70
	Summe	2,28	2,52	19,75	9,16	33,71	8,98	2,96	2,90	1,88	50,43

Tabelle 24: Struktur der Stromerzeugung in TWh im Bestand der KWK-Anlagen in 1999 gemäß dem AGFW-nahen Modell nach CO₂-Minderungskategorien gegenüber dem Referenzsystem 3 und nach Kategorien der Kostenabweichung gegenüber einem anlegbaren Strompreis von 6 Pf/kWh_{el}

		Kat 1 -76 bis - 100 %	Kat 2 -51 bis - 75 %	Kat 3 -26 bis - 50 %	Kat 4 0 bis -25 %	Zwischen- summe	Kat 5 25 bis 1%	Kat 6 50 bis 26 %	Kat 7 75 bis 51 %	Kat 8 mehr als 75 %	Summe
Kostenspreizung gg. anlegbarem Strompreis	weniger als -75%	1,14	0,22	0,06	0,02	1,44	0,46	0,03	0,00	0,19	2,11
	-50% bis -75%	0,02	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,04	0,24	0,24	0,54
	-25% bis -50%	0,00	0,01	0,00	3,91	3,92	0,06	0,08	0,05	0,65	4,77
	-0% bis -25%	0,00	0,03	0,04	7,41	7,47	2,19	0,38	0,20	1,00	11,24
	Zwischensumme	1,17	0,26	0,10	11,34	12,86	2,71	0,52	0,49	2,08	18,66
	25% bis 0%	0,18	0,04	0,01	3,98	4,21	0,30	0,39	0,23	1,83	6,96
	50% bis 25%	0,03	0,00	0,01	0,56	0,60	1,36	0,42	0,18	1,19	3,74
	75% bis 50%	0,12	0,00	0,19	1,58	1,89	1,26	0,12	0,04	0,06	3,36
	mehr als 75%	0,62	0,09	0,16	4,93	5,80	2,35	7,54	1,31	0,69	17,70
	Summe	2,11	0,39	0,47	22,39	25,36	7,98	8,99	2,25	5,85	50,43

Tabelle 25: Struktur der Stromerzeugung in TWh im Bestand der KWK-Anlagen in 1999 gemäß dem AGFW-nahen Modell nach CO₂-Minderungskategorien gegenüber dem Referenzsystem 4 und nach Kategorien der Kostenabweichung gegenüber einem anlegbaren Strompreis von 6 Pf/kWh_{el}

		Kat 1 -76 bis - 100 %	Kat 2 -51 bis - 75 %	Kat 3 -26 bis - 50 %	Kat 4 0 bis - 25 %	Zwischen- summe	Kat 5 25 bis 1%	Kat 6 50 bis 26 %	Kat 7 75 bis 51 %	Kat 8 mehr als 75 %	Summe
Kostenspreizung gg. anlegbarem Strompreis	weniger als -75%	1,47	0,30	0,00	0,14	1,91	0,12	0,05	0,03	0,00	2,11
	-50% bis -75%	0,00	0,03	0,00	0,22	0,25	0,10	0,06	0,06	0,07	0,54
	-25% bis -50%	0,00	0,04	3,71	0,36	4,11	0,45	0,08	0,10	0,03	4,77
	-0% bis -25%	0,00	0,11	8,65	1,34	10,10	0,63	0,23	0,13	0,15	11,24
	Zwischensumme	1,47	0,48	12,36	2,06	16,37	1,30	0,42	0,32	0,25	18,66
	25% bis 0%	0,16	0,08	1,20	3,24	4,67	1,82	0,14	0,29	0,03	6,96
	50% bis 25%	0,00	0,04	0,76	1,47	2,27	1,24	0,15	0,07	0,02	3,74
	75% bis 50%	0,00	0,14	1,99	0,69	2,82	0,47	0,04	0,01	0,02	3,36
	mehr als 75%	0,01	0,77	4,45	9,25	14,47	1,98	0,34	0,63	0,28	17,70
	Summe	1,63	1,51	20,76	16,71	40,61	6,81	1,09	1,32	0,60	50,43

Nach dem AGFW-nahen Modell sind im Vergleich zum Referenzsystem 1 von den ca. 40,8 TWh, die zur CO₂-Minderung beitragen, rund 15,7 TWh und somit 38,5 % gegenüber dem anlegbaren Strompreis wettbewerbsfähig (vgl. Abbildung 31). Beim Referenzsystem 2, bei dem 33,7 TWh CO₂-mindernd wirken, beträgt der konkurrenzfähige Anteil 44,6 % entsprechend 15,0 TWh. Im Vergleich zum Referenzsystem 3, das rund 25,4 TWh mit einem CO₂-Minderungseffekt mit sich bringt, können ca. 12,9 TWh wettbewerbsfähig angeboten werden, d. h. rund 50,7 %. Schließlich ist beim Referenzsystem 4 von den 40,6 TWh, die auch eine CO₂-Minderung bewirken, ein Anteil von 40,3 %, d. h. 16,4 TWh, gleichzeitig auch konkurrenzfähig. Wird von einem anlegbaren Strompreis von 9 Pf/kWh_{el} ausgegangen, so erhöhen sich die wettbewerbsfähigen KWK-Strommengen, die gleichzeitig auch zur CO₂-Minderung beitragen, beim AGFW-nahen Modell auf 22,7 TWh (Referenz 1) bzw. 21,1 TWh (Referenz 2) bzw. 17,7 TWh (Referenz 3) bzw. 23,3 TWh (Referenz 4).

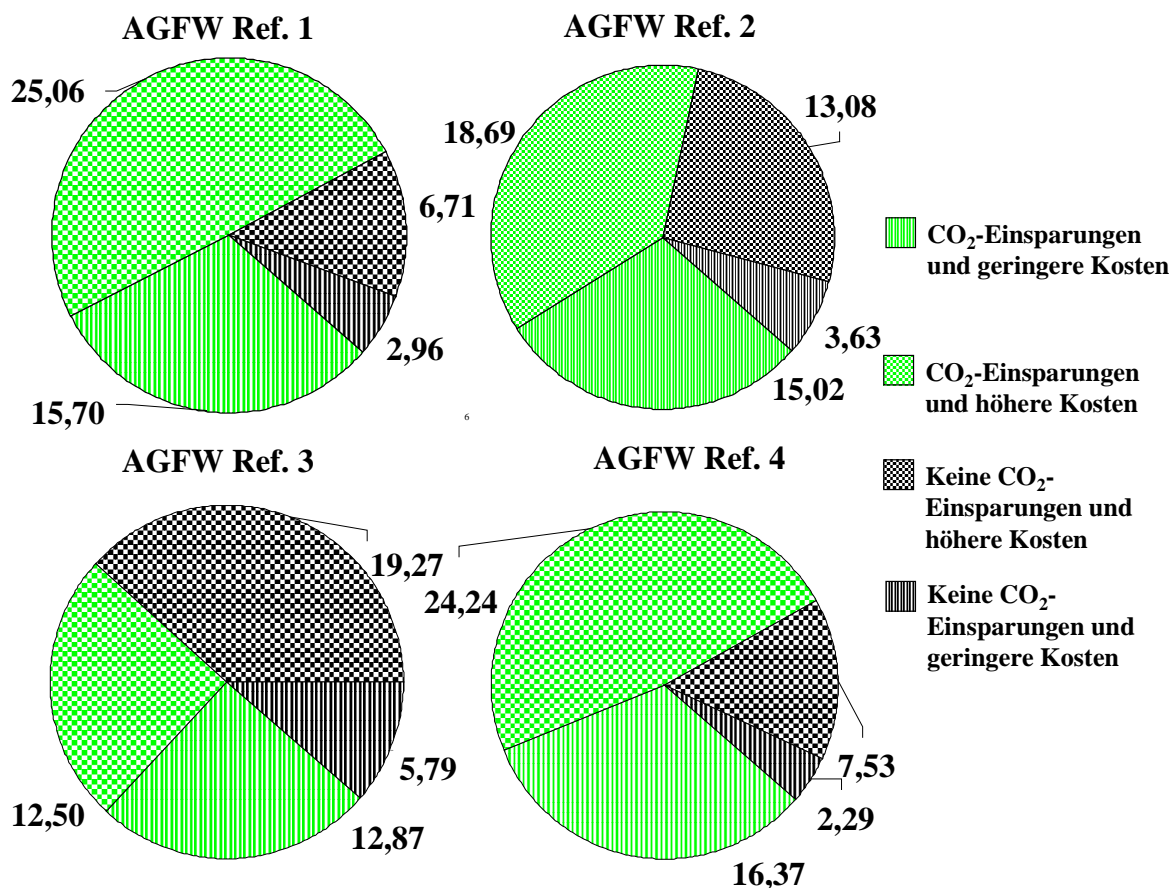


Abbildung 31: Aufteilung der KWK-Stromerzeugung entsprechend ihrem CO₂-Effekt und ihrer Grenzerzeugungskosten (Bezugspunkt 6 Pf/kWh) für AGFW-nahe Modell (Angaben in TWh)

8 Schlußbetrachtung

Der heute in Deutschland vorhandene Bestand an KWK-Anlagen wurde in der Vergangenheit vor dem Hintergrund der Gewährleistung der Versorgungssicherheit angesichts zweier Ölpreiskrisen sowie einer Sicherung von Absatzchancen für die heimischen Kohlen errichtet. Mit der Liberalisierung der Energiemärkte und einer damit einhergehenden Wettbewerbsorientierung in der Stromerzeugung sowie mit dem Ziel der Minderung der CO₂-Emissionen ist es notwendig, den Einsatz der bestehenden KWK-Anlagen hinsichtlich der Kompatibilität mit diesen veränderten Rahmenbedingungen zu überprüfen. Hierzu wurde eine am Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER) der Universität Stuttgart entwickelte Kraftwerks-Bestands-Datenbank genutzt, die Informationen sowohl für die industrielle KWK, die öffentliche KWK als auch für die BHKW beinhaltet.

In diesem Zusammenhang ist es notwendig, sowohl eine genauere Abgrenzung von KWK-Strom vorzunehmen als auch die Energieeinsparung und die CO₂-Minderung gegenüber unterschiedlichen Referenzsystemen zu ermitteln. Für die Abgrenzung von KWK-Strom wurden zwei Modelle verwendet, die auf Arbeiten der Arbeitsgruppe KWK und der Arbeitsgemein-

schaft Fernwärme e. V. (AGFW) zurückgehen. Bezüglich der Referenzsysteme wurden vom Auftraggeber vier Varianten vorgegeben. Mit dem Wärmeerzeugungsmix des Jahres 1999 wurden jeweils ein neues Braunkohlekraftwerk (Referenz 1), der Stromerzeugungsmix 1998 (Referenz 2) sowie ein neues Erdgas-GuD-Kraftwerk (Referenz 3) kombiniert. Als Referenzsystem 4 ist die Stromerzeugung im energieträgerspezifischen Vergleichkraftwerk und die Wärmeerzeugung in energieträgerspezifischen Wärmeerzeugungsanlagen für industrielle KWK-Anlagen bzw. der Wärmemix 1999 für die öffentlichen KWK-Anlagen und die BHKW angesetzt. Die wesentlichen Ergebnisse der Auswertung des KWK-Anlagenbestandes und dessen Betrieb im Jahr 1999 sind im Folgenden noch einmal in aller Kürze zusammengefasst.

Auf der Basis der KWK-Definition nach dem AGFW-nahen Modell, die nur die tatsächlich gekoppelte Erzeugung von Strom und Wärme erfasst, erzeugten in Deutschland in 1999 rund 5700 KWK-Anlagen etwa 50 TWh/a wärmegekoppelten Strom (10 % der deutschen Nettostromerzeugung von 510 TWh/a) und etwa 169 TWh/a Wärme. Die rund 5000 BHKW stellen mit 86,9 % den Großteil der Anlagen, sie sind aber an der gesamten KWK-Stromerzeugung nur zu reichlich 1/5 beteiligt. Dagegen entfällt auf die 553 Dampfturbinenanlagen ein Stromerzeugungsanteil von 51,4 %. Die 23 explizit erfassten GuD-Anlagen tragen mit 14,9 % und die Gasturbinenanlagen mit 13,4 % zur gesamten Stromerzeugung in KWK-Anlagen im Jahr 1999 bei.

Mit der Strom- und Wärmeerzeugung in KWK-Anlagen ist in der Abgrenzung des AGFW-nahen Modells in 1999 ein Energieeinsatz von rund 285 TWh bzw. ca. 1030 PJ sowie eine CO₂-Emission von ca. 76,8 Mio. t verbunden. Dies sind rund 7 % des Primärenergieverbrauchs in Deutschland und ca. 9 % der energiebedingten CO₂-Emissionen. Damit weisen die bestehenden KWK-Anlagen in Deutschland im Jahr 1999 bei einer arbeitsbezogenen Stromkennziffer von 0,30 einen mittleren Jahresnutzungsgrad von 77 % auf. Die auf den Brennstoffeinsatz bezogenen CO₂-Emissionen der KWK-Anlagen beliefen sich in 1999 auf 74,8 g CO₂ je MJ.

Die Energieeinsparung und CO₂-Vermeidung durch KWK hängt von dem jeweils gewählten Referenzsystem der ungekoppelten Erzeugung ab. Verglichen mit der Referenz „Stromerzeugungsmix 1998/Wärmeerzeugungsmix 1999“ sind derzeit rund 34 TWh/a KWK-Strom, d. h. 66,8 %, in fast 5200 Anlagen als CO₂-einsparend (mindern 15,4 Mio. t CO₂) anzusehen, davon ca. 31 TWh/a als gleichzeitig energie- und CO₂-sparend. Diese Reduktion wurde jedoch durch die emissionssteigernden Wirkungen von 530 Anlagen mit einer KWK-Stromerzeugung von 16,7 TWh und einer um nahezu 16 Mio. t höheren Emission wieder ausgeglichen. Per saldo hätten demnach die KWK-Anlagen des heutigen Bestandes gegenüber der getrennten Strom- und Wärmeerzeugung mit dem heutigen Anlagenmix eine Erhöhung der CO₂-Emissionen um 0,4 Mio. t bewirkt. An der Emissionserhöhung sind fast ausschließlich Dampfturbinenanlagen und Gasturbinenanlagen beteiligt, während alle GuD-Anlagen und die BHKW zur CO₂-Vermeidung beitragen. Aber auch ein Teil der Dampfturbinenanlagen trägt mit 6,3 Mio. t zur Emissionsminderung bei. In Bezug auf die CO₂-Minderung ist der eingesetzte Brennstoff von besonderer Bedeutung. Hinsichtlich des Energieeinsatzes fällt der

Vergleich wesentlich günstiger für die KWK aus. Hier würden im Jahr 1999 bei Verwendung des Referenzsystems „Stromerzeugungsmix/Wärmeerzeugungsmix“ durch den Betrieb der KWK-Anlagen rechnerisch rund 46 TWh an Brennstoff eingespart.

Wird stromseitig ein energieträgerspezifisches Referenzsystem gewählt und wärmeseitig ein energieträgerspezifischer Wärmeerzeuger bzw. der Wärmemix 1999 (Referenz 4), so sind 41 TWh/a aus KWK auch CO₂-einsparend mit einer Minderung von ca. 15,5 Mio. t CO₂. Dieser CO₂-Minderung steht in den übrigen Anlagen bei der Betriebsweise des Jahres 1999 ein Mehrermission von rund 7,6 Mio. t gegenüber, so dass sich im Vergleich zu diesem Referenzsystem insgesamt eine Reduktion der CO₂-Emissionen um 7,9 Mio. t durch den KWK-Betrieb in 1999 ergeben würde. Hier liegt die Energieeinsparung durch den Betrieb der KWK-Anlagen im Jahr 1999 bei rund 49 TWh.

Von den 50 TWh/a KWK-Strom können bei anlegbaren Stromerlösen von 6 Pf/kWh 19 TWh/a wettbewerbsfähig (ohne Berücksichtigung der Kapitalkosten) erzeugt werden, davon sind gegenüber der Referenz „Stromerzeugungsmix 1998/Wärmeerzeugungsmix 1999“ 15 TWh/a zugleich CO₂-sparend. Bei Berücksichtigung des Referenzsystems 4 sind von den 19 TWh/a ca. 16,4 TWh/a zugleich CO₂-mindernd und konkurrenzfähig. Wird der anlegbare Strompreis auf 9 Pf/kWh erhöht, so sind dann auch bei den beiden hier näher betrachteten Referenzsystemen mit 21,1 TWh/a bzw. 23,3 TWh/a entsprechende Zuwächse bei den KWK-Stromerzeugungsmengen festzustellen, die sowohl wettbewerbsfähig als auch CO₂-reduzierend wären.

Literatur

AGFW 2000:

AGFW Arbeitsgemeinschaft Fernwärme e. V. bei der Vereinigung Deutscher Elektrizitätswerke: Strategien und Technologien einer pluralistischen Fern- und Nahwärmeversorgung in einem liberalisierten Energiemarkt unter besonderer Berücksichtigung der Kraft-Wärme-Kopplung und erneuerbarer Energien, Schlussbericht, AGFW-Studie „Pluralistische Wärmeversorgung – Zeithorizont 2005 –“, Frankfurt, 2000

AGFW 2000:

AGFW Arbeitsgemeinschaft Fernwärme e. V. bei der Vereinigung Deutscher Elektrizitätswerke: Hauptbericht der Fernwärmeversorgung 1999, Frankfurt, 2000

AG KWK 2000:

Arbeitsgruppe KWK (VKU, VIK, VDMA, BUND, FG-BHKW, e5, IPP's, AGFW, ÖTV): Grundsatzpapier zur Kraft-Wärme-Kopplung in Deutschland, verabschiedete Endfassung, 01.09.2000

Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen 2000:

Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen: Auswertungstabellen zur Energiebilanz für die Bundesrepublik Deutschland 1990 bis 1999 – Berechnungen auf Basis des Wirkungsgradansatzes -, Stand: 31. Juli 2000, Berlin, 2000

Fraunhofer-ISI 2001:

Fraunhofer Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung (ISI): Überschlägige Ermittlung der KWK-Strommenge nach Zertifizierungskriterien – industrielle KWK, Kapitel 4.6.2 von Band 1: Grundlagen der Kraft-Wärme-Kopplung, Zertifizierungsverfahren und Fördermodelle zur AGFW-Hauptstudie „Pluralistische Wärmeversorgung – Strategien und Technologien einer pluralistischen Fern- und Nahwärmeversorgung in einem liberalisierten Energiemarkt unter besonderer Berücksichtigung der Kraft-Wärme-Kopplung und regenerativer Energien“, Frankfurt, 2001

Glückauf 2000:

Jahrbuch Bergbau, Erdöl und Erdgas, Petrochemie, Elektrizität, Umweltschutz, 107. Jahrgang, Verlag Glückauf GmbH, Essen, 2000

VDEW 1999:

Strommarkt Deutschland 1998, Frankfurt, 1999

VIK 2000:

VIK Verband der Industriellen Energie- und Kraftwirtschaft e. V.: Stand der Überlegungen zum Entwurf eines Modells zur Zertifizierung bzw. Klassifizierung von KWK-Strom anlässlich der politischen Diskussion zur Erarbeitung eines KWK-Ausbaugesetzes, Essen, 14. November 2000

VIK 2001:

VIK Verband der Industriellen Energie- und Kraftwirtschaft e. V.: Statistik der Energiewirtschaft 1999/2000, Verlag Energieberatung GmbH, Essen, 2001

Anhang 1: Ermittlung der Nutzungsgrade und der spezifischen CO₂-Emissionen für den Kraftwerksmix 1998 und den Wärmeerzeugungsmix 1999

Die aus den Grunddaten zur Struktur der Netto-Stromerzeugung in Deutschland nach den Angaben der VDEW und dem Brennstoffeinsatz in den Kraftwerken nach den Werten der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen vom Juli 2000 sowie der Energieträgerstruktur zwischen Erdgas und leichtem Heizöl im Sektor der Kleinverbraucher und der Haushalte resultierenden Bewertungen der Stromerzeugung und der Wärmeerzeugung zeigt Tabelle 26.

Tabelle 26: Angaben zur Ermittlung des Stromerzeugungs- und Wärmeerzeugungsmix

Kraftwerksmix 1998								
	Stromerzeugung ¹⁾	Energieeinsatz ²⁾		Spez. CO ₂ -Emissionen	CO ₂ -Emissionen	Spez. CO ₂ -Emissionen	Nettonutzungsgrad der Stromerzeugung	
	GWh _{netto}	Mio. t SKE	PJ	t CO ₂ /TJ	1000 t	g CO ₂ /kWh _{output,ne}	%	
Wasserkraft	22602	2,8	82	0,0	0	0	99,2	
Kernenergie	153024	60,2	1764	0,0	0	0	31,2	
Braunkohle	127790	45,9	1345	112,0	150667	1179	34,2	
Steinkohle (SK)	140000	46,5	1363	93,0	126742	905	37,0	
Heizöl (Hö)	4725	1,6	47	76,0	3564	754	36,3	
Erdgas (Eg)	55150	13,4	393	56,0	21993	399	50,6	
sonstige Gase	10211	3,7	108	104,5	11332	1110	33,9	
übrige	6848	2,7	79	35,0	2770	404	31,2	
Summe	520350	176,8	5182	61,2	317067	609,3	36,2	
Summe Fossil	344724	113,8	3335	95,1	317067	919,8	37,2	
Summe SK/Hö/Eg	199875	61,5	1802	84,5	152299	762,0	39,9	
¹⁾ Angaben zur Stromerzeugung wie VDEW								
²⁾ Angaben zum Energieeinsatz in Mio. t SKE wie Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen 7/00								
Annahmen für den Wärmemix (Mischung aus 44,3 % Heizöl (HEL) und 55,7 % Erdgas für Siedlungs-KWK)								
	Nutzungsgrad		Brennstoffeinsatz		spez. CO ₂ -Emissionen			
	mit Netz	Kessel	kWh	kJ	t CO ₂ /TJ _{Brennst.}	g CO ₂ /kWh _{Brennst.}	g CO ₂ /kWh _{output}	g CO ₂ /kWh _{Erzeug.}
Heizölkessel	84,4	75,5	1,32	4,77	74,0	266	353	315
Erdgaskessel	86,2	77,1	1,30	4,67	56,0	202	261	234
Mix Heizöl-/Erdgaskessel	85,4	76,4	1,31	4,71	64,1	231	302	270
Mix Industrie (nach VIK)	90,0	90,0	1,11	4,00	67,5	243	270	270
Mix Siedlung (43 %) und Industrie (57 %)	88,4	84,0	1,19	4,31	65,8	238,6	284,1	270,0

Zusätzlich ist hier die Aufteilung zwischen der Wärmeerzeugung in industriellen KWK-Anlagen (ohne BHKW) (57,1 %), in Anlagen der Siedlungs-KWK (ohne BHKW) (33,3 %) und in BHKW (9,6 %) zu berücksichtigen. Dabei gehen bei der Siedlungs-KWK nach Angaben der AGFW noch Verteilungsverluste von 12,7 % mit in die Kalkulation ein, bei den BHKW wurden mittlere Verteilungsverluste von 1 % angesetzt, während bei den übrigen industriellen KWK-Anlagen keine Verteilungsverluste berücksichtigt sind. Des Wei-

teren wurden für die energetische und CO₂-seitige Bewertung der industriellen KWK-Wärmeerzeugung die Angaben aus /Wuppertal u. a. 2000/ übernommen, die auch der Verband der Industriellen Energie- und Kraftwirtschaft e. V. (VIK) als Referenzsystem vorschlägt.

Nach Tabelle 26 ergibt sich insgesamt für den Stromerzeugungsmix ein Jahresnutzungsgrad von 36,2 % und eine spezifische CO₂-Emission von 609,3 g CO₂ je kWh_{el} sowie für die KWK-Wärmeerzeugung auf der Seite der getrennten Erzeugung im Mix ein anzurechnender mittlerer Jahresnutzungsgrad von 88,4 % und eine spezifische CO₂-Emission von 270 g CO₂ je kWh Wärmeerzeugung. Alternativ könnten für die Siedlungs-KWK auch die Verhältnisse berücksichtigt werden, die im Jahr 1999 in den von den Versorgungsunternehmen betriebenen Heizwerken aufgetreten sind. Hier ergeben sich bei einem Jahresnutzungsgrad von 88,1 % spezifische CO₂-Emissionen von rund 254 g CO₂ je kWh Wärmeerzeugung. Die geringfügigen Unterschiede lassen die gewählten Werte für den Wärmemix als relativ plausibel erscheinen.

Anhang 2: CO₂-Emissionen der Gegendruckscheibe aus dem AGFW-Beispiel

Für die CO₂-mäßige Einordnung der Gegendruckscheibe aus dem AGFW-Beispiel (vgl. Abbildung 5), die mit einem Jahresnutzungsgrad von 88,3 % und einer Stromkennziffer von 0,29 als sehr energieeffiziente KWK-Anlage einzuordnen ist, ist zu berücksichtigen, dass die CO₂-Intensität des verwendeten Energieträgers das Ergebnis des CO₂-Vergleichs mit den in Abschnitt 4.2 definierten Referenzsystemen maßgeblich mit beeinflusst. Die Gegendruckscheibe aus Abbildung 5 könnte mit den fossilen Energieträgern Erdgas, Heizöl EL, Steinkohle oder Braunkohle aber auch mit der CO₂-neutralen Biomasse befeuert werden. Entsprechend ergeben sich CO₂-Emissionen für die Gegendruckscheibe aus dem AGFW-Beispiel zwischen 195 und 390 kt/a bei den fossilen Energieträgern und von 0 kt/a bei der Biomasse (vgl. Tabelle 27).

Tabelle 27: CO₂-Emissionsbewertung der Gegendruckscheibe aus dem AGFW-Beispiel in Abhängigkeit vom eingesetzten Energieträger und vom Referenzsystem (öffentliche Versorgung)

	KWK-Anlage Energieeinsatz	CO ₂ -Emissionen des Referenzsystems			
		1	2	3	4
Wärmeerzeugung	660,0 GW h	178,20 kt	178,20 kt	178,20 kt	178,20 kt
Stromerzeugung	193,9 GW h	175,69 kt	118,14 kt	67,98 kt	151,82 kt
					86,67 kt
					147,56 kt
					174,51 kt
					229,19 kt
Sonstige Verluste	113,0 GW h				
Brennstoffeinsatz bzw. CO₂-Emission	966,9 GW h	353,89 kt	296,34 kt	246,18 kt	330,02 kt
					264,87 kt
					325,76 kt
					352,71 kt
					407,39 kt
	CO ₂ -Emissionen	CO ₂ -Veränderung durch KWK gegenüber dem Referenzsystem			
CO₂ Biomasse	0,00 kt	-353,89 kt	-296,34 kt	-246,18 kt	-330,02 kt
CO₂ Erdgas	194,93 kt	-158,96 kt	-101,41 kt	-51,25 kt	-69,94 kt
CO₂ Heizöl EL	257,59 kt	-96,30 kt	-38,75 kt	11,41 kt	-68,17 kt
CO₂ Steinkohle	320,25 kt	-33,64 kt	23,91 kt	74,07 kt	-32,46 kt
CO₂ Braunkohle	389,87 kt	35,98 kt	93,53 kt	143,69 kt	-17,52 kt

Gegenüber den in Abschnitt 4.2 definierten Referenzsystemen 1 bis 4 für die öffentliche Versorgung resultiert bei einer Erdgasfeuerung damit immer eine Verbesserung der CO₂-Emissionssituation. Die Minderung beläuft sich zwischen 51 und 159 kt. Bei einer Nutzung von Heizöl EL kann auch bezüglich der Referenzsysteme 1 und 2 sowie 4 eine CO₂-Emissionsreduktion erreicht werden. Gegenüber dem Referenzsystem 3 wären hier schon Mehremis-

sionen durch die Gegendruckscheibe verbunden. Beim Steinkohleeinsatz ist noch eine CO₂-Einsparung gegenüber den Referenzsystemen 1 und 4 zu erzielen, während gegenüber den Referenzsystemen 2 und 3 Mehremissionen der Gegendruckscheibe von 24 bzw. 74 kt resultieren. Schließlich wäre eine Braunkohleverwendung in der Gegendruckscheibe mit Mehremissionen gegenüber den Referenzsystemen 1 bis 3 verbunden, während gegenüber dem Referenzsystem 4 noch 18 kt CO₂ gemindert werden. Demgegenüber würden bei einem Biomasseeinsatz 100 % der CO₂-Emissionen gegenüber der getrennten Erzeugung bei allen vier Referenzsystemen vermieden werden können.

Anhang 3: Notwendige Kennwerte für KWK-Anlagen zur Einordnung in die unterschiedlichen CO₂-Minderungskategorien

Für die CO₂-mäßige Einordnung der unterschiedlichen Heizkraftwerke des KWK-Anlagenbestandes in Deutschland in die in Abschnitt 4.3 definierten CO₂-Minderungskategorien kann auch in Abhängigkeit vom eingesetzten Brennstoff eine Grenzlinie festgelegt werden, für die dann zwingenderweise eine entsprechende Zuordnung zu einzelnen Kategorien auftritt. Als Parameter können hierzu entweder Kombinationen von Jahresnutzungsgrad und Stromkennzahl (vgl. Tabelle 28 und Abbildung 32) oder von Jahresnutzungsgrad und elektrischem Nutzungsgrad (vgl. Tabelle 29 und Abbildung 33) verwendet werden. Anhand des markierten Wertes von 0,35 in Tabelle 28 unter der Kategorie 7 und dem Jahresnutzungsgrad von 75 % eines Braunkohle-Heizkraftwerkes soll die Interpretation erläutert werden. Ein Braunkohle-Heizkraftwerk, das bei einem Jahresnutzungsgrad von 75 % eine Stromkennzahl zwischen 0,35 und 0,12 aufweist, wird im Vergleich zum Referenzsystem 2 der CO₂-Minderungskategorie 7 zugeordnet.

Tabelle 28: Notwendige Stromkennzahl in Abhängigkeit vom Jahresnutzungsgrad und vom eingesetzten Brennstoff zur Einordnung in die CO₂-Minderungskategorien gegenüber dem Referenzsystem 2

		Jahresnutzungsgrad						
		60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%
		Braunkohle						
Kategorie 8		0,51	0,33	0,21	0,12	0,06	0,00	
Kategorie 7		1,10	0,73	0,51	0,35	0,24	0,16	0,09
Kategorie 6				1,29	0,89	0,65	0,48	0,35
Kategorie 5								
		Steinkohle						
Kategorie 8		0,17	0,08	0,01				
Kategorie 7		0,43	0,28	0,17	0,09	0,03		
Kategorie 6		1,08	0,72	0,50	0,35	0,24	0,15	0,09
Kategorie 5					1,08	0,78	0,58	0,43
		Heizöl S						
Kategorie 7		0,16	0,07	0,00				
Kategorie 6		0,48	0,31	0,19	0,11	0,04		
Kategorie 5		1,51	0,98	0,67	0,47	0,34	0,24	0,16
		Heizöl EL						
Kategorie 6		0,34	0,21	0,11	0,04			
Kategorie 5		1,05	0,70	0,48	0,34	0,23	0,15	0,08
		Erdgas						
Kategorie 5		0,24	0,13	0,06				

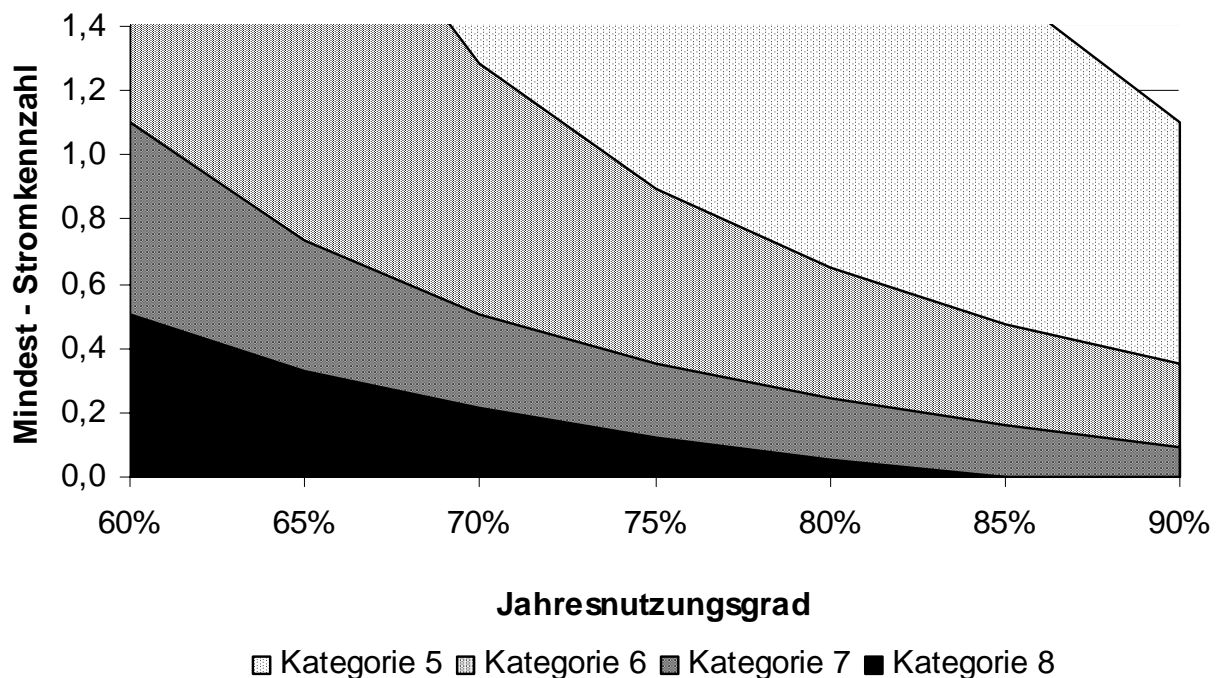


Abbildung 32: Notwendige Stromkennzahl eines Braunkohle-HKW in Abhängigkeit vom Jahresnutzungsgrad zur Einordnung in die CO₂-Minderungskategorien gegenüber dem Referenzsystem 2

Tabelle 29: Notwendiger elektrischer Nutzungsgrad in Abhängigkeit vom Jahresnutzungsgrad und vom eingesetzten Brennstoff zur Einordnung in die CO₂-Minderungskategorien gegenüber dem Referenzsystem 2

		Jahresnutzungsgrad						
		60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%
		Braunkohle						
Kategorie 8		20,2%	16,2%	12,2%	8,2%	4,3%	0,3%	
Kategorie 7		31,5%	27,5%	23,5%	19,5%	15,6%	11,6%	7,6%
Kategorie 6				39,4%	35,4%	31,4%	27,4%	23,5%
Kategorie 5								
		Steinkohle						
Kategorie 8		8,7%	4,7%	0,7%				
Kategorie 7		18,0%	14,1%	10,1%	6,1%	2,1%		
Kategorie 6		31,2%	27,2%	23,2%	19,3%	15,3%	11,3%	7,3%
Kategorie 5					39,0%	35,0%	31,1%	27,1%
		Heizöl S						
Kategorie 7		8,1%	4,2%	0,2%				
Kategorie 6		19,3%	15,4%	11,4%	7,4%	3,4%		
Kategorie 5		36,1%	32,1%	28,1%	24,1%	20,2%	16,2%	12,2%
		Heizöl EL						
Kategorie 6		15,1%	11,1%	7,1%	3,1%			
Kategorie 5		30,8%	26,8%	22,8%	18,8%	14,8%	10,9%	6,9%
		Erdgas						
Kategorie 5		11,7%	7,7%	3,7%				

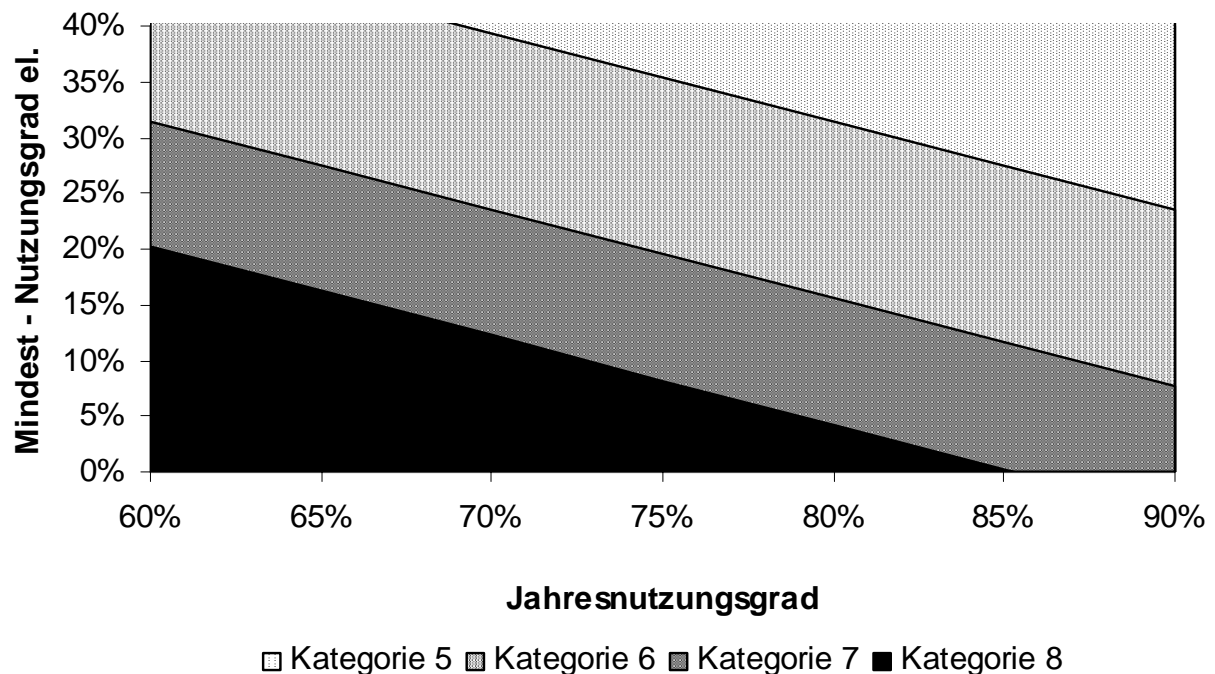


Abbildung 33: Notwendiger elektrischer Nutzungsgrad eines Braunkohle-HKW in Abhängigkeit vom Jahresnutzungsgrad zur Einordnung in die CO₂-Minderungskategorien gegenüber dem Referenzsystem 2

Anhang 4: Differenzierung zwischen öffentlicher und industrieller KWK

Ziel des Gutachtens ist eine Gesamtschau für den KWK-Anlagenbestand in Deutschland im Jahr 1999. Zur Einordnung der Ergebnisse sind in den beiden folgenden Tabellen ausgewählte Kennzahlen für den Bereich der industriellen und der öffentlichen KWK getrennt dargestellt. Aufgrund der damit notwendigerweise vorzunehmenden Abgrenzung handelt es sich dabei um eine eigenständige Zuordnung der einzeln erfassten KWK-Anlagen zu den beiden Bereichen, die entsprechend von den gängigen Veröffentlichungen der AGFW, des VIK oder des Statistischen Bundesamtes abweicht.

Tabelle 30: Übersicht zum KWK-Anlagenbestand in 1999 in der öffentlichen und in der industriellen Versorgung und CO₂-Emissionsvergleich gegenüber dem Referenzsystem 2

1999	KWK-Strom nach AGFW-nahem Modell	Gesamte Stromerzeugung berücksichtigt
Öffentliche KWK		
Anzahl berücksichtigter Anlagen	n=4060	n=4060
Netto-Stromerzeugung	28,5 TWh	70,9 TWh
Netto-Wärmeerzeugung	65,7 TWh	65,7 TWh
Brennstoffeinsatz	117,1 TWh	227,7 TWh
CO ₂ -Emissionen der betrachteten Anlagen	30,8 Mio. t CO ₂	62,7 Mio. t CO ₂
CO ₂ -Emissionen bei einer äquivalenten Erzeugung mittels Referenzsystem 2	35,1 Mio. t CO ₂	60,9 Mio. t CO ₂
CO ₂ -Veränderung durch KWK-Anlagen	-4,3 Mio. t CO ₂	+1,8 Mio. t CO ₂
in Prozent	-12,2 %	+3,0 %
Industrielle KWK		
Anzahl berücksichtigter Anlagen	n=1661	n=1661
Netto-Stromerzeugung	21,9 TWh	36,5 TWh
Netto-Wärmeerzeugung	103,4 TWh	103,4 TWh
Brennstoffeinsatz	168,0 TWh	207,3 TWh
CO ₂ -Emissionen der betrachteten Anlagen	46,0 Mio. t CO ₂	55,9 Mio. t CO ₂
CO ₂ -Emissionen bei einer äquivalenten Erzeugung mittels Referenzsystem 2	41,3 Mio. t CO ₂	50,2 Mio. t CO ₂
CO ₂ -Veränderung durch KWK-Anlagen	+4,7 Mio. t CO ₂	+5,7 Mio. t CO ₂
in Prozent	+11,3 %	+11,3 %
Insgesamt		
Anzahl berücksichtigter Anlagen	n=5721	n=5721
Netto-Stromerzeugung	50,4 TWh	107,4 TWh
Netto-Wärmeerzeugung	169,1 TWh	169,1 TWh
Brennstoffeinsatz	285,1 TWh	435,0 TWh
CO ₂ -Emissionen der betrachteten Anlagen	76,8 Mio. t CO ₂	118,6 Mio. t CO ₂
CO ₂ -Emissionen bei einer äquivalenten Erzeugung mittels Referenzsystem 2	76,4 Mio. t CO ₂	111,1 Mio. t CO ₂
CO ₂ -Veränderung durch KWK-Anlagen	+0,4 Mio. t CO ₂	+7,5 Mio. t CO ₂
in Prozent	+0,6 %	+6,8 %

Tabelle 31: Anlagenanzahl, KWK-Stromerzeugung gemäß dem AGFW-nahen Modell in TWh und Gesamtstromerzeugung in TWh im Bestand der öffentlichen und der industriellen KWK-Anlagen in 1999 nach CO₂-Minderungskategorien gegenüber dem Referenzsystem 2

	Kat 1 + 2 -51 bis -100 %	Kat 3 + 4 0 bis -50 %	Zwischen- summe	Kat 5 + 6 50 bis 1%	Kat 7 + 8 mehr als 50 %	Summe
Anzahl	941	4250	5191	334	196	5721
davon: öffentl.	887	2949	3836	151	73	4060
industr.	54	1301	1355	183	123	1661
KWK-Strom	4,80	28,91	33,71	11,94	4,78	50,43
davon: öffentl.	3,23	16,95	20,18	6,35	2,04	28,57
industr.	1,57	11,96	13,53	5,59	2,74	21,86
Gesamtstrom	6,31	39,56	45,87	40,64	20,88	107,39
davon: öffentl.	3,79	23,31	27,10	29,66	14,16	70,92
industr.	2,52	16,25	18,77	10,98	6,72	36,47