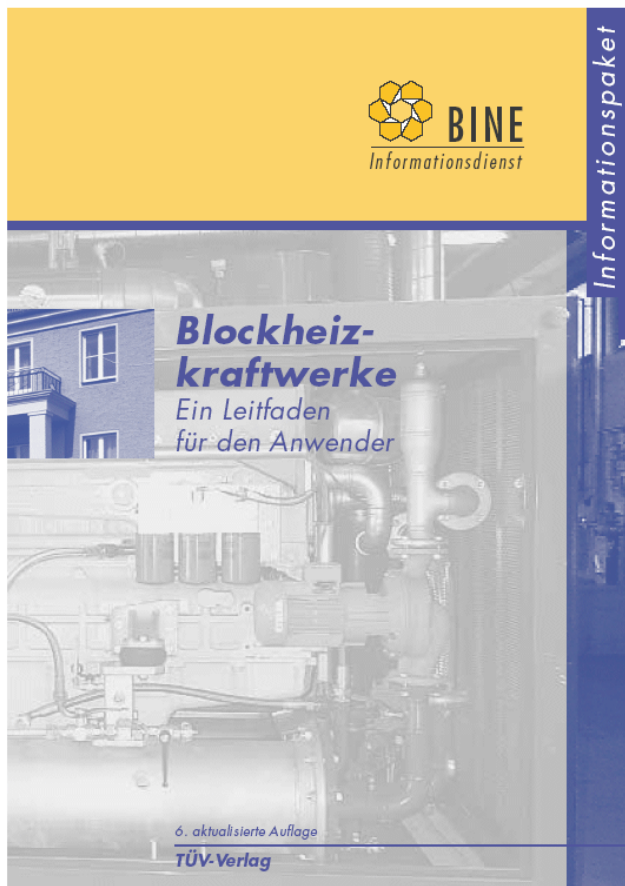


Leseprobe

Mit

[Inhaltsverzeichnis + Vorwort + Ausgewählte Themen](#)

Die Graphiken sind in reduzierter Auflösung
und der Text ist nicht ausdrückbar



BINE-Informationspaket

Blockheiz- kraftwerke

Ein Leitfaden für den
Anwender

Wolfgang Suttor

6., aktualisierte Auflage

ISBN 3-8249-0939-1

© TÜV-Verlag GmbH, TÜV Rheinland Group

Köln 2005

Hat Sie die Leseprobe überzeugt?

Dann profitieren Sie vom kompletten Buch
für nur 16,80 Euro zzgl. Versand.

Eine Bestellmöglichkeit finden Sie [hier](#).

| | |
|--|-----|
| Vorwort | 5 |
| 1 Energiepolitische Zielsetzung und Rahmenbedingungen | 6 |
| 1.1 Energieeinsparung und Umweltschutz | 7 |
| 1.2 Einsatzbereiche und Perspektiven | 9 |
| 1.3 Gesetzliche Rahmenbedingungen | 13 |
| 1.4 Förderprogramme | 25 |
| 1.5 Hemmnisse | 26 |
| 2 Von der KWK zum BHKW | 31 |
| 2.1 Die Grundidee der Kraft-Wärme-Kopplung | 31 |
| 2.2 Die wichtigsten Techniken für die KWK | 33 |
| 2.3 Bewertungszahlen für KWK-Anlagen | 41 |
| 3 Einsatzbedingungen und Umweltauswirkungen | 43 |
| 3.1 Strom- und Wärmebedarf | 43 |
| 3.2 Flächenbedarf und Gewicht | 49 |
| 3.3 Umweltauswirkungen | 51 |
| 4 BHKW-Technik | 53 |
| 4.1 Anlagenkomponenten | 53 |
| 4.2 Brennstoffe und Wärmeauskopplung | 62 |
| 4.3 Einsatzfelder | 64 |
| 4.4 Hydraulische Integration in die Heizungsanlage | 69 |
| 4.5 Steuer- und regelungstechnische Einbindung | 73 |
| 4.6 Betriebskonzepte | 76 |
| 4.7 Wartungs- und Überwachungskonzepte | 83 |
| 5 Wirtschaftlichkeit | 89 |
| 5.1 Grundlagen | 89 |
| 5.2 Kostenermittlung | 91 |
| 5.3 Erlöse, Einsparungen | 98 |
| 5.4 Beispiele | 100 |
| 6 Organisatorische Konzepte und Vertragsmodelle | 106 |
| 6.1 Typische Anwendungsfälle | 106 |
| 6.2 Vertragsmodelle | 110 |

| | | |
|-----------|--|-----|
| 7 | Genehmigung | 113 |
| 7.1 | Antrag | 113 |
| 7.2 | Steuern, Zuschläge, Vergütungen | 117 |
| 7.3 | Versicherungen | 117 |
| 8 | Planungsschritte | 119 |
| 8.1 | BHKW-Größe | 120 |
| 8.2 | Pflichtenheft für den Anwender | 121 |
| 8.3 | Bedarfsprofile | 122 |
| 8.4 | Ausschreibung und Lieferumfang | 122 |
| 8.5 | Beteiligung des Handwerks | 124 |
| 8.6 | Pflichtenheft für den Projektbeauftragten | 124 |
| 9 | Serviceteil | 126 |
| 9.1 | Mineralölsteueranmeldung und -erstattung | 126 |
| 9.2 | Genehmigung und Meldung nach dem KWK-Gesetz | 131 |
| 9.3 | Bauantrag | 135 |
| 9.4 | Muster für Anzeige beim örtlichen Stromversorger | 140 |
| 9.5 | Ausschreibungsbeispiel für ein Energieliefer-Contracting | 141 |
| 10 | Zitierte Literatur und Abbildungsverzeichnis | 142 |
| 10.1 | Zitierte Literatur | 142 |
| 10.2 | Abbildungsverzeichnis | 142 |
| 11 | Laufende und abgeschlossene Forschungsvorhaben aus der Energieforschung der Bundesregierung | 144 |
| 11.1 | Laufende und kürzlich abgeschlossene Forschungsvorhaben | 144 |
| 11.2 | Forschungsberichte | 145 |
| 12 | Weiterführende Literatur | 147 |
| 12.1 | Kraft-Wärme-Kopplung, Blockheizkraftwerke, Mini-Blockheizkraftwerke ... | 147 |
| 12.2 | Stirling-Motoren | 157 |
| 12.3 | Brennstoffzellen | 158 |
| 12.4 | Zeitschriften | 160 |
| 12.5 | Internet | 161 |
| 13 | Zum Autor | 164 |

Vorwort

Auch wenn sich die Versorgung mittels Kraft-Wärme-Kopplung in den letzten Jahrzehnten rasant ausgebreitet hat, deckt sie aus der Sicht der gesamten Stromerzeugung nur einen bescheidenen Anteil von rund 10 % ab. Das KWK-Gesetz konnte daran nur wenig ändern. Für die weitere Stärkung der dezentralen KWK kann das neue – noch für 2005 erwartete – Energiewirtschaftsgesetz (EnWG) die Weichen stellen. Denn für diese Technologie sprechen auch nachgewiesene Kostenvorteile.

Die sechste, überarbeitete Auflage dieses BINE-Informationspakets – entstanden auf Grundlage der von Horst Meixner und Rudolf Stein verfassten 5. Auflage – konzentriert sich auf Fragen der praktischen Anwendung von Blockheizkraftwerken. Aktualisiert wurde insbesondere der energiewirtschaftliche und -rechtliche Kontext von KWK-Anwendungen. Schließlich soll dieser Leitfaden für den Anwender helfen, die Hemmnisse bei der Umsetzung der Kraft-Wärme-Kopplung zu überwinden und einen einfachen und kostengünstigen Stromnetzzugang und eine -nutzung zu ermöglichen.

Den thematischen Schwerpunkt bilden somit technische und Betriebskonzepte, die Wirtschaftlichkeitsermittlung von BHKW-Anlagen sowie Organisations-, Finanzierungs- und Genehmigungsfragen. Der Serviceteil bietet in übersichtlicher Form neben Literaturangaben und Internetadressen vor allem Antrags- und Vertragsmuster für notwendige Genehmigungsschritte, für Betrieb und Wartung.

Fachinformationszentrum (FIZ) Karlsruhe,
Gesellschaft für wissenschaftlich-technische Information mbH
BINE Informationsdienst

1.3 Gesetzliche Rahmenbedingungen

Der Klimaschutz als politische Zielsetzung ist wirkungslos, wenn nicht konkrete Rahmenbedingungen geschaffen werden, um auch die KWK zu fördern. Dies wurde bis 1998 weitgehend unterlassen, so dass die industrielle KWK seit 1970 kontinuierlich abnahm. In der gleichen Zeit verzeichneten die motorbetriebenen KWK-Anlagen (Blockheizkraftwerke – BHKW) vorwiegend im gewerblichen und kommunalen Bereich einen rasanten Anstieg, weil dort die wirtschaftlichen Rahmenbedingungen besser waren. Es konnte allerdings trotz steigender Fernwärmeversorgung aus KWK-Anlagen nicht verhindert werden, dass insgesamt der in KWK erzeugte Strom als Anteil an der gesamten Stromerzeugung allein in der Zeit von 1990 bis 2001 mangels geeigneter Förderinstrumente von 21 auf 14 % zurückging. Der Stromverbrauch stieg dagegen in dieser Zeit um 47 % (Abb. 8).

Länder mit ähnlicher Bevölkerungs- und Wirtschaftsstruktur in Europa konnten deutlich höhere Anteile vorweisen: So lag 1998 der KWK-Anteil zum Beispiel in Österreich bei rd. 24 %, in den Niederlanden über 50 % und in Dänemark über 60 %. Der Anteil der KWK an der deutschen Stromerzeugung ist somit eher bescheiden und bleibt weit hinter den technischen und ökonomischen Möglichkeiten zurück.

Erst seit 1998 wurde versucht, durch gesetzliche Bestimmungen die KWK stärker zu begünstigen und dieser Technik mit ihren Vorzügen zum Durchbruch zu verhelfen. Dies betraf folgende Gesetze und Regelwerke:

- Energiewirtschaftsgesetz (EnWG)
- Ökosteuer (Strom- und Mineralölsteuer)
- Kraft-Wärme-Kopplungs-Gesetz (KWKMod-Gesetz)
- Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG)
- Energieeinsparverordnung (EnEV)

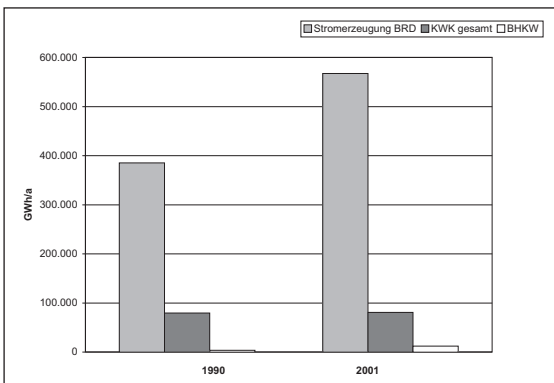


Abb. 8: Stromerzeugung

- Treibhausgas-Emissionshandels-Gesetz (TEHG)
- TA Luft
- EU-Richtlinien
- Förderprogramme

Außer dem KWKMod-Gesetz betreffen die genannten Gesetze die KWK nur indirekt, aber mit der Absicht, ihr eine Sonderstellung bei der Förderung zukommen zu lassen.

Bei so vielen Bestimmungen, Einschränkungen, Ausnahmen und zeitlichen Eingrenzungen ist es für einen Anwender der KWK extrem schwierig, den Überblick zu wahren und den konkreten wirtschaftlichen Vorteil zu sehen, der ihn von der bewährten und gewohnten Strom- und Wärmeversorgung abbringen soll. Zumal sich einzelne Bestimmungen im Nachhinein nicht als Förderung, sondern als Hemmnis für die KWK herausstellten. Fazit: Bis 2005 lässt der KWK-Ausbau zu wünschen übrig, obwohl die ökonomischen Voraussetzungen in den letzten Jahren günstiger sind als 1998 bis 2002.

1.3.1 Energiewirtschaftsgesetz (EnWG)

Durch das Energiewirtschaftsgesetz (EnWG) von 1998 wurde in Deutschland eine Öffnung der Strommärkte (Liberalisierung) für den Wettbewerb eingeleitet. Der Gesetzgeber wollte die Gebietsmonopole der Verbundunternehmen aufbrechen und dem Stromabnehmer die freie Wahl zwischen mehreren Stromanbietern sowie eine leichte Netzeinspeisung z. B. aus KWK-Anlagen bis 30 kW_{el} ermöglichen. Die Liberalisierung führte zu einem unerwartet raschen und starken Rückgang der Strompreise vor allem für Weiterverteiler und industrielle Großabnehmer (Abb. 7).

Von 1998 auf 1999 sanken die Stromerlöse aus der Belieferung der Industrie und von großen Gewerbekunden bei stagnierenden Absatzmengen von 18 auf 13 Mrd. EUR (30 %) und im Bereich der Tarifkunden von 22 auf 20 Mrd. EUR (10 %), was einer Erlösminderung von 20 % im Durchschnitt über alle Kundengruppen entsprach (Angaben nach VDEW, März 2000). Dieser Preisverfall war das Ergebnis der einsetzenden Preiskonkurrenz zwischen den großen Verbundgesellschaften, die unter dem Druck erheblicher Überkapazitäten in ihrer Stromerzeugung standen.

Die großen Verbundunternehmen sind Eigentümer von etwa vier Fünfteln der vorhandenen Stromerzeugungskapazität, die vorwiegend aus ungekoppelten Großkraftwerken besteht. Sie haben von daher ein vitales Interesse an der Auslastung ihrer verbrauchsfernen Kondensationskraftwerke. Zur Sicherung des eigenen Stromabsatzes haben sie deshalb in der Vergangenheit versucht, Investitionen in neue BHKW-Anlagen bei ihren nachgelagerten Abnehmern auf der regionalen und kommunalen Ebene durch gezieltes Unterbieten oder auch mittels strategischer Kapitalbeteiligungen zu verhindern.

Hinzugekommen ist der Druck durch die allgemein gesunkenen Strompreise, die sich verheerend auf die Wirtschaftlichkeit der KWK auswirkten. Die KWK-Anlagen in der Industrie

| Problem | Lösungsansatz |
|---|---|
| Klärung der Netznutzungsentgelte erst nach Einsprüchen | Vorabgenehmigung der Netznutzungsentgelte |
| Probleme der Arealnetzversorgung | Netzanschluss von Arealnetzen an das vorgelagerte Netz festlegen |
| Regelungen zum Reserve- und Zusatzstrombezug | Anspruch für Klein-KWK-Betreiber auf Zusatz- und Reservestrom zu allgemeinen Tarifen bis zu einer Anlagengröße von 150 kW _{el} |
| Leistungspreisanteil der Netznutzungsentgelte wird auf das Jahr bezogen | Leistungspreise mindestens auf monatlicher Basis |

Abb. 9: Probleme und Lösungsansätze kleiner KWK-Anlagen im Entwurf der EnWG-Novelle

und vor allem im kommunalen Bereich (Nah- und Fernwärme) gerieten damit in eine äußerst schwierige Wettbewerbssituation, weil sie mit ihren Stromgestehungskosten gegen ungewöhnlich niedrige Preise für den Strombezug bestehen mussten. Vorhandene KWK-Anlagen in der Industrie sowie bei kommunalen Stromversorgern wurden in erheblichem Umfang stillgelegt und zum Teil bereits dauerhaft aus dem Markt genommen.

Die Strompreise erreichten 2004 zwar wieder das Niveau vor der Liberalisierung, aber die für die Netzeinspeisung z. B. aus KWK-Anlagen wichtigen Netzgebühren wurden zu einem Hauptbestandteil der Strompreise. Eine wirtschaftlich attraktive Netzdurchleitung von KWK-Strom zu einem beliebigen Abnehmer wurde durch überhöhte Netzgebühren von oft über 8 Cent/kWh unterbunden.

Diese KWK-Verhinderungspraxis war einer der Auslöser der Reform des EnWG im Jahr 2005. Entscheidende Neuerung und Ziel ist es nun, die überhöhten Netzgebühren von einer Regulierungsbehörde kontrollieren und überprüfen zu lassen, um dadurch die Konkurrenzfähigkeit von KWK-Strom zu erhöhen.

Problematisch jedoch: Den hohen Netzgebühren für den Fall der Stromdurchleitung stehen extrem niedrige vermiedene Netznutzungsentgelte von 0,15 bis 0,55 Cent/kWh gegenüber. Sie werden an den KWK-Betreiber bezahlt, weil er bei einer Niederspannungseinspeisung die Netze der höheren Spannungsebenen nicht beansprucht.

Der umfangreiche Entwurf der EnWG-Novelle enthält noch weitere Problempunkte, die im Laufe des Gesetzgebungsverfahrens einer Klärung bedürfen, weil sie sonst zu langen gerichtlichen Auseinandersetzungen führen. In der Abb. 9 sind die Probleme und die Lösungsansätze im Sinne der KWK aufgeführt.

1.3.2 Ökosteuern (Strom- und Mineralölsteuer)

Das im April 1999 in Kraft getretene „Gesetz zum Einstieg in die ökologische Steuerreform“ (sog. „Ökosteuergesetz“) und das „Gesetz zur Fortführung der ökologischen Steuerreform“

| | | Ab 2003 in Cent/kWh | | | |
|------------------------------------|------|--------------------------|--------------------|-------------------------|-------------------|
| | | Nicht Gewerbe unter 2 MW | Gewerbe unter 2 MW | Nicht Gewerbe über 2 MW | Gewerbe über 2 MW |
| Elektrischer Wirkungsgrad des BHKW | 20 % | 5,1 | 3,1 | 3,0 | 1,8 |
| | 25 % | 4,5 | 2,7 | 2,4 | 1,5 |
| | 30 % | 4,1 | 2,4 | 2,0 | 1,2 |
| | 35 % | 3,8 | 2,3 | 1,7 | 1,0 |
| | 40 % | 3,6 | 2,1 | 1,5 | 0,9 |
| | 45 % | 3,4 | 2,0 | 1,4 | 0,8 |

Abb. 10: Minderung der Stromgestehungskosten durch die Ökosteuern bei einem Erdgas-BHKW in Cent/kWh

vom Dezember 1999 sehen für BHKW bei Einhaltung bestimmter Bedingungen Vergünstigungen bei der Mineralölsteuer und der Stromsteuer vor, wodurch sich die Wirtschaftlichkeit dieser BHKW erheblich verbessert.

Das Mineralölsteuergesetz führt für BHKW mit einem Gesamt-Jahresnutzungsgrad (Strom plus Nutzwärmeerzeugung im Verhältnis zum Brennstoffeinsatz) von mindestens 60 % zu einer Befreiung von der (seit April 1999 erhobenen) zusätzlichen Mineralölsteuer auf den eingesetzten Brennstoff. BHKW mit einem Jahres- oder Monatsnutzungsgrad von mindestens 70 % sind zusätzlich für das gesamte Jahr bzw. für die Monate, in denen dieser Nutzungsgrad erreicht wird, von der „alten“ Mineralölsteuer befreit. Die mit der Gas- bzw. Ölrechnung gezahlte „alte“ Mineralölsteuer und die „neue“ Mineralölsteuer werden für den gesamten Brennstoffeinsatz zur Erzeugung von Strom und Wärme auf Antrag vom zuständigen Hauptzollamt erstattet. Für Erdgas liegt die erstattungsfähige Belastung seit 2003 aus der Mineralölsteuer insgesamt bei 0,55 Cent je kWh.

Nach dem Stromsteuergesetz sind Betreiber von BHKW mit einer elektrischen Nennleistung von jeweils bis zu 2.000 kW_{el} von der Stromsteuer auf den BHKW-Strom befreit, den sie selbst verbrauchen. Darüber hinaus ist der Strom aus BHKW bis 2.000 kW_{el} von der Stromsteuer befreit, der „in räumlichem Zusammenhang“ zwischen Einspeiser und Abnehmer steht. Der räumliche Zusammenhang ist auch dann gegeben, wenn z. B. aus einem BHKW in einer Schule noch eine Hausmeisterwohnung, eine Turnhalle sowie über das öffentliche Stromnetz das Rathaus, die kommunale Straßenbeleuchtung und eine 4,5 km entfernte Kläranlage mit Strom versorgt werden. Die Einspeisung in das öffentliche Stromnetz bedeutet nicht zwangsläufig, dass eine Stromsteuer anfällt. Die Befreiung von der Stromsteuer gilt auch für Strom aus solchen BHKW, die von Dritten (z. B. per Contracting) für den Nutzer betrieben werden.

Der Regelsatz der Stromsteuer liegt seit 2003 bei 2 Cent/kWh. Die im Vergleich zum Strombezug erzielbare Steuerersparnis fällt allerdings geringer aus, wenn der BHKW-Betreiber auf-

grund der Ausnahmeregelungen des Stromsteuergesetzes den geringeren Stromsteuersatz von 60 % zu entrichten hat: So zahlen Unternehmen des produzierenden Gewerbes einen verminderten Satz von 1,2 Cent/kWh für die den Sockelbetrag von 500 EUR Steuerschuld übersteigende Strommenge.

Die gesamte Ersparnis an Mineralöl- und Stromsteuer geht aus der Abb. 10 hervor und beträgt für ein Erdgas-BHKW mit 50 kW_{el} bei einer Betriebsstundenzahl von 5.500 Stunden und einem elektrischen Wirkungsgrad von 30 % im Jahr 11.000 EUR. Damit wird die Verschlechterung der Wirtschaftlichkeit, die sich durch den starken Anstieg der Öl- und Gaspreise in 1999/2000 und 2004 für BHKW ergeben hat, weitgehend wettgemacht. Darüber hinaus konnte die Steuerentlastung jedoch keinen Investitionsschub für die KWK auslösen.

1.3.3 Gesetz für die Erhaltung, die Modernisierung und den Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung (KWKMod-Gesetz [2])

Die Ziele des Gesetzes, das seit dem 1. 4. 2002 in Kraft ist, sind der „befristete Schutz und die Modernisierung von Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen sowie der Ausbau der Stromerzeugung in kleinen KWK-Anlagen und die Markteinführung der Brennstoffzelle im Interesse der Energieeinsparung, des Umweltschutzes und der Erreichung der Klimaschutzziele der Bundesregierung“ (§ 1 Abs. 1 KWKMod-Gesetz). So sollte bis zum Jahr 2005 im Vergleich zum Basisjahr 1998 durch die Nutzung der Kraft-Wärme-Kopplung eine Minderung der jährlichen Kohlendioxid-Emissionen in einer Größenordnung von 10 Mio. Tonnen und bis zum Jahre 2010 von insgesamt 23 Mio. Tonnen, mindestens 20 Mio. Tonnen, erzielt werden.

Die Betreiber begünstigter Anlagen erhalten Zuschlagszahlungen für jede in Kraft-Wärme-Kopplung erzeugte Kilowattstunde Elektrizität, die in ein Netz der allgemeinen Versorgung (früher: „öffentliches Netz“) eingespeist wird, bis eine Summe von 4,448 Mrd. EUR erreicht ist. Davon sind rund 358 Mio. EUR speziell für den Zubau bei kleinen KWK-Anlagen bis zu einer Leistung von 2 MW_{el} und für Brennstoffzellen-Anlagen vorgesehen. Der Zuschlag für neue BHKW wird im Übrigen durch eine Deckelung begrenzt, da der Anspruch auf Zahlung entfällt, sobald solche BHKW-Anlagen insgesamt 14 Terawattstunden an begünstigtem BHKW-Strom erzeugt haben. Wenn sich an der Zahl der jährlichen Neuinstallationen nichts ändert, werden neue kleine KWK-Anlagen bis 2010 circa 1,1 TWh einspeisen, den Deckel also nur zu 8 % ausschöpfen.

Die gezahlten Zuschläge werden zwischen den Netzbetreibern verrechnet und ausgeglichen, sie sind also keine Steuersubventionen. Sie werden auf die den Stromkunden berechneten Netznutzungsentgelte aufgeschlagen, wobei kleinere Abnehmer je Kilowattstunde Strombezug stärker und größere weniger belastet werden.

Unter das Gesetz fallen alle KWK-Anlagen auf Basis fossiler Brennstoffe. Einbezogen sind auch Anlagen, die Abfall und Biomasse (z. B. Biodiesel) verwerten, soweit der erzeugte KWK-Strom nicht nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) vergütet wird. Von der gesetz-

| | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 |
|---|------|------|------|------|------|------|
| Alte Bestandsanlagen Inbetriebnahme bis 31. 12. 1989 | 1,38 | 0,97 | – | – | – | – |
| Neue Bestandsanlagen Inbetriebnahme ab 1. 1. 1990 | 1,38 | 1,23 | 1,23 | 0,82 | 0,56 | – |
| Modernisierte Anlagen zwischen 1. 1. 1990 und 31. 12. 2005 wieder in Dauerbetrieb | 1,69 | 1,69 | 1,64 | 1,64 | 1,59 | 1,59 |
| Neue kleine KWK-Anlagen bis 2 MW nach 1. 4. 2002 | 2,40 | 2,25 | 2,25 | 2,10 | 2,10 | 1,94 |
| Neue KWK-Anlagen bis 50 kW (spätestens bis 31. 12. 2005 in Betrieb) für 10 Jahre nach Inbetriebnahme | 5,11 | | | | | |
| Neue Brennstoffzellen nach 1. 4. 2002 für 10 Jahre nach Inbetriebnahme | 5,11 | | | | | |

Abb. 11: Gesetzlich geregelter Zuschlag für KWK-Strom (Cent/kWh)

lichen Regelung werden sämtliche KWK-Technologien erfasst: alle Arten der Dampfturbinen- und Gasturbinen-Anlagen, Verbrennungsmotor-Anlagen, Stirling-Motor-, Dampf-Motor- und ORC(Organic-Rankine-Cycle)-Anlagen sowie Brennstoffzellen. Besondere Regelungen gelten für „kleine KWK-Anlagen“, worunter das KWKMod-Gesetz in Übereinstimmung mit dem Mineralölsteuergesetz „KWK-Anlagen (...) mit Ausnahme von Brennstoffzellen-Anlagen, mit einer elektrischen Leistung bis zu 2 MW_{el}“ versteht. Die Leistungsgrenze bezieht sich dabei auf die gesamte Anlage, die aus mehreren Modulen bestehen kann.

Als Betreiber einer KWK-Anlage gilt, wer den erzeugten Strom in ein Netz der allgemeinen Versorgung einspeist. Die Betreibereigenschaft ist dabei nicht an die Stellung des Eigentümers der Anlage gebunden. Bei KWK-Anlagen, die im Wege des Contractings bzw. mit einem Fonds- oder Leasingmodell finanziert und/oder als Gemeinschaftskraftwerk betrieben werden, ist derjenige zuschlagsberechtigt und nachweispflichtig, der den Strom in das Netz der allgemeinen Versorgung liefert.

Durch das KWKMod-Gesetz werden die Betreiber von Netzen der allgemeinen Versorgung verpflichtet, KWK-Anlagen an ihr Netz anzuschließen und den in diesen Anlagen erzeugten KWK-Strom abzunehmen.

„Für den aufgenommenen KWK-Strom sind der Preis, den der Betreiber der KWK-Anlage und der Netzbetreiber vereinbaren, und ein Zuschlag zu entrichten“ (§ 4 Abs. 3). Die Höhe des Zuschlags wird im KWKMod-Gesetz (§ 7) differenziert nach Alter, technischem Zustand und Leistungsgröße der Erzeugungsanlagen geregelt (Abb. 11), nicht jedoch der Preis selbst für den eingespeisten Strom und die vermiedene Netznutzung. Falls keine Vereinbarung zwi-

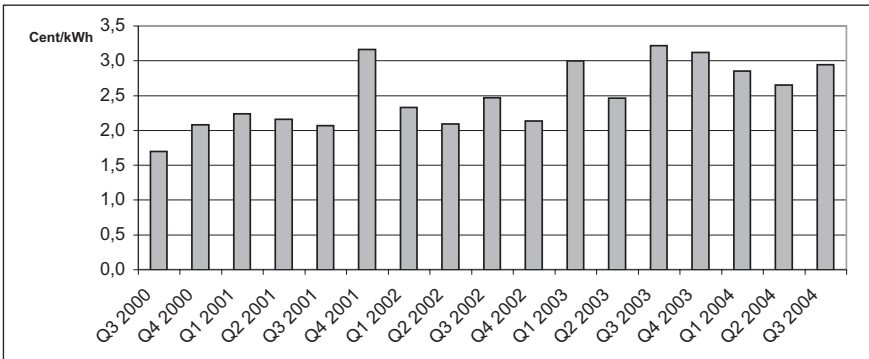


Abb. 12: Quartalspreise für Baseload-Strom an der EEX

schen dem vorgelagerten Netzbetreiber und dem Einspeiser von KWK-Strom hinsichtlich des Preises zustande kommen sollte, gilt der „übliche Preis“ als vereinbart, zuzüglich dem nach den anerkannten Regeln der Technik berechneten Teil der Netznutzungsentgelte, der durch die dezentrale Einspeisung durch diese KWK-Anlage vermieden wird. Diese vom Gesetzgeber nicht festgelegten Preisbestandteile wurden von den Netzbetreibern und den Versorgern dahingehend ausgenutzt, dass dem KWK-Betreiber z. T. nicht einmal 2 Cent/kWh angeboten wurden. Inzwischen ist der „übliche Preis“ auch per Gesetz festgelegt: Als üblicher Preis gilt der durchschnittliche Preis für Baseload-Strom an der Strombörse EEX in Leipzig im jeweils vorangegangenen Quartal. Dieser Preis betrug z. B. im 3. Quartal 2004 2,9 Cent/kWh (Abb. 12). Ein Entgelt für die vermiedene Netznutzung ist dabei nicht enthalten. Dieses beläuft sich zwar auf nur 0,15 bis 0,55 Cent/kWh, aber verzichten sollte man darauf auch nicht.

Ein Anreiz durch das KWKMod-Gesetz besteht eigentlich nur für große Anlagen, die bis Ende 2005 (ohnehin) modernisiert werden. Bei kleinen BHKW und bei künftigen Brennstoffzellen für den stationären Einsatz beruht die Wirtschaftlichkeit vorwiegend auf der Verdrängung des (in kleineren Objekten vergleichsweise teuren) Strombezugs. Durch die Beschränkung des Bonus bzw. Zuschlags auf den Teil der Stromerzeugung, der in das Netz der allgemeinen Versorgung eingespeist wird, ändert sich an dieser für die Wirtschaftlichkeit zentralen Komponente nichts. Vorrangig auf die Deckung des Wärmebedarfs im jeweiligen Objekt ausgelegte kleine BHKW-Anlagen speisen vielleicht 10 bis 20 % ihrer Erzeugung in das vorgelagerte Netz der allgemeinen Versorgung ein. Bei einem 5-kW_{el}-BHKW geht es dabei um rd. 200 EUR, für die es sich oft nicht lohnt, einen kostenpflichtigen Antrag zu stellen.

Die Beschränkung der Bonusregelung ausschließlich auf den in das Netz der allgemeinen Versorgung eingespeisten Strom unterstellt, dass die Eigenbedarfsdeckung wegen der Begünstigung der KWK-Eigenerzeugung durch die Öko-Steuer hinreichend ist. Dies trifft jedoch für alle größeren Stromkunden in der Industrie, im produzierenden Gewerbe und selbst im

Dienstleistungsbereich nicht zu. Mit einem raschen Zubau ist in diesem Bereich ohne zusätzliche Anreize somit nicht zu rechnen.

Vom Standpunkt des Umweltschutzes ist es nicht einzusehen, dass der eingespeiste KWK-Strom durch den Bonus eine andere Qualität haben soll als der selbst verbrauchte Strom.

Im Anschluss an das EnWG soll auch das KWKMod-Gesetz noch novelliert werden. Es ist vorgesehen, die drei Vergütungsbestandteile „üblicher Preis“, „vermiedenes Netznutzungs-entgelt“ und „gesetzlicher Zuschlag“ in einem Entgelt zusammenzufassen, und zwar für den gesamten erzeugten KWK-Strom.

1.3.4 Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG)

Das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) ist nach einer grundlegenden Überarbeitung seit dem 1. 8. 2004 in Kraft. Es regelt den vorrangigen Anschluss von Anlagen zur Erzeugung von Strom aus Erneuerbaren Energien und aus Grubengas. Das EEG hat ein übergeordnetes politisches Ziel, das in § 1 festgelegt ist: „Zweck dieses Gesetzes ist es, insbesondere im Interesse des Klima-, Natur- und Umweltschutzes eine nachhaltige Entwicklung der Energieversorgung zu ermöglichen, die volkswirtschaftlichen Kosten der Energieversorgung auch durch die Einbeziehung langfristiger externer Effekte zu verringern, Natur und Umwelt zu schützen, einen Beitrag zur Vermeidung von Konflikten um fossile Energieressourcen zu leisten und die Weiterentwicklung von Technologien zur Erzeugung von Strom aus Erneuerbaren Energien zu fördern.“

Die Mehrkosten durch das EEG werden nicht vom Staat, sondern von der Gesamtheit der Stromverbraucher getragen. Der Anteil des EEG-Stroms lag 2003 bei rund 6%, der durchschnittliche Wert bei 9 Cent/kWh.

Das EEG sieht für die KWK **zusätzliche** Vergütungen vor. Es gibt einen Bonus von

| Elektrische Nennleistung | Garantierte Einspeisevergütung |
|---|---------------------------------------|
| bis 150 kW | 11,5 Cent/kWh _{el} |
| bis 500 kW | 9,9 Cent/kWh _{el} |
| bis 5 MW | 8,9 Cent/kWh _{el} |
| ab 5 MW | 8,4 Cent/kWh _{el} |
| Alt- und Neuanlagen | NaWaRo-Bonus¹⁾ |
| bis 500 kW | 6,0 Cent/kWh _{el} |
| bis 5 MW | 4,0 Cent/kWh _{el} |
| ab 5 MW | 0 Cent/kWh _{el} |
| Neuanlagen | KWK-Bonus²⁾ |
| nicht begrenzt | 2,0 Cent/kWh _{el} |
| Neuanlagen | Technologie-Bonus³⁾ |
| bis 5 MW | 2,0 Cent/kWh _{el} |
| ab 5 MW | 0 Cent/kWh _{el} |
| ¹⁾ z. B. Pflanzen, Gülle oder Schlempe aus landwirtschaftlichen Brennereien; | |
| ²⁾ Strom im Sinne von § 3 Abs. 4 des KWK-Gesetzes; | |
| ³⁾ Einsatz spezifischer Technologien wie z. B. Gas-aufbereitung, Trockenfermentation oder Strom-gewinnung durch Brennstoffzellen, ORC-An-lagen, Stirling-Motoren etc., weitere Technologien können durch das BMU benannt werden. | |

Abb. 13: Vergütungssätze nach dem EEG für die Verstromung von Biogas und Biomasse in KWK-Anlagen

2 Cent/kWh, wenn die KWK mit Biomasse oder Biogas betrieben und die Wärme genutzt wird. Letzteres ist bei einer KWK-Anlage immer gegeben. Zusätzlich gibt es noch einen Technologie-Bonus von ebenfalls 2 Cent/kWh, wenn spezielle Technologien wie z. B. Gasaufbereitung, Trockenfermentation oder Stromgewinnung durch Brennstoffzellen, ORC-Anlagen, Stirling-Motoren zum Einsatz kommen. Die Vergütungssätze für eine Verstromung von Biogas und Biomasse in KWK-Anlagen sind in der Abb. 13 zusammengefasst. Danach kann die Vergütung für eine KWK-Anlage maximal 21,5 Cent/kWh ausmachen (Gasaufbereitung in Verbindung mit einem BHKW, Biogas-Gasturbine oder Biogas-Stirlingmotor bis 150 kW_{el}).

Die Auswirkungen dieser im Vergleich zu den Bonuszahlungen nach dem KWKMod-Gesetz deutlich höheren Vergütungen können gegenwärtig nur schwer abgeschätzt werden. Es ist jedoch damit zu rechnen, dass es zu einem deutlichen Ausbau speziell von Biogasanlagen mit BHKW kommen wird. Im Jahr 2003 wurden ca. 19 MW_{el} an Biogas-BHKW installiert. Nach dem Inkrafttreten des EEG kam eine starke Belebung des Biogasmarktes in Gang. Für 2005 werden bis zu 50 % Umsatzsteigerungen erwartet. Wenn die höchste Vergütung ausgeschöpft werden soll, dann muss ein entsprechender Wärmeabnehmer z. B. in Form eines Nahwärmenetzes oder ein gewerblicher Abnehmer vorhanden sein.

Außer den Biogasanlagen sind in der Abb. 4 noch weitere aussichtsreiche KWK-Anwendungen aufgeführt, die unter das EEG fallen. Durch das EEG werden diese Anlagen seit dem 1. 8. 2004 deutlich besser gestellt.

1.3.5 Energieeinsparverordnung (EnEV)

Die seit 1. 2. 2002 geltende „Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden“ (EnEV) ersetzt zwei bis dahin getrennte Verordnungen für energetische Mindeststandards von Gebäuden: die Wärmeschutz-Verordnung sowie die Heizanlagen-Verordnung. Die EnEV enthält komplizierte Rechenverfahren und läuft auf eine Verschärfung der Anforderungen bzw. eine Reduzierung des Wärmebedarfes um 20 bis 30 % hinaus.

Wenn KWK-Systeme oder regenerative Energien zu mehr als 70 % eingesetzt werden, gelten viel einfachere Rechenvorschriften und geringere Anforderungen. Die geringere Anforderung besteht darin, dass nur bestimmte U-Werte (früher k-Werte) für das gesamte Gebäude einzuhalten sind. Es entfällt die Begrenzung des Primärenergiebedarfes, der auch die Heiztechnik und die Art der Brennstoffe berücksichtigt. Je nach Gebäudegeometrie muss der U-Wert zwischen 1,05 und 0,44 W/m²K liegen.

Die EnEV mit der Vergünstigungsklausel für KWK-Systeme hat bisher nicht dazu geführt, dass Bauherren sich vermehrt für BHKW entschieden haben. Dazu ist der Vorteil für die KWK auch viel zu gering. Der nahe liegende Gedanke, ein BHKW auf Kosten eines geringeren Wärmeschutzes einzusetzen, ist nicht zielführend und auch nicht wirtschaftlich.

1.3.6 Treibhausgas-Emissionshandels-Gesetz (TEHG)

Der Emissionshandel – festgelegt durch das Treibhausgas-Emissionshandels-Gesetz (TEHG) – geht auf eine EU-Richtlinie zurück und begann am 1. 1. 2005. Ziel ist es, den Ausstoß der Industrie an Kohlendioxid so zu senken, dass die Gemeinschaft bis 2012 ihren Gesamtausstoß an Treibhausgasen um 8 % gegenüber 1990 senken kann. Denn dazu hat sich die EU im Kyoto-Protokoll verpflichtet. Deutschland muss den Ausstoß von Treibhausgas bis 2012 um 21 % senken. Derzeit sind 19 Prozentpunkte erreicht. Die Idee des Emissionshandels: Wer umweltfreundlich produziert, kann Emissionsrechte verkaufen, wer stärker verschmutzt, muss zukaufen. Am Emissionshandel müssen sich ca. 2.600 „energieintensive“ Betriebe beteiligen. Dazu zählen alle Betriebe mit KWK-Anlagen über 20 MW Feuerungswärmeleistung, was einer elektrischen Leistung zwischen ca. 4 und 10 MW entspricht. Für motorbetriebene BHKW wird die Grenze bei 8 MW liegen.

Die KWK stellt hinsichtlich Kosten und Minderungsvolumen eine wichtige Option der CO₂-Vermeidung dar. Damit kommt den KWK-Anlagen im EU-Emissionshandelssystem eine besondere Bedeutung zu. Dies gilt sowohl für die KWK in der öffentlichen Fernwärmeversorgung als auch für die industrielle KWK.

Ein spezielles Problem besteht darin, dass der CO₂-Ausstoß bei gleichzeitiger Produktion von Strom und Wärme höher sein kann als bei reiner Stromerzeugung. Daher müssen negative Anreize für eine Wärmeauskoppelung vermieden werden.

Negativanreize für bestehende KWK-Anlagen werden kompensiert, indem den Betreibern von KWK-Anlagen zusätzliche Emissionsberechtigungen zugeteilt werden, die an die Realisierung der KWK gebunden sind. Die Effizienz der KWK-Anlagen soll dabei angemessen berücksichtigt werden, was in einem Anrechnungsverfahren geschieht. Diese Sonderzuteilung für KWK-Anlagen beträgt 27 t CO₂-Äquivalent je GWh_{el}. Setzt man einen Börsenpreis von 8 EUR je t CO₂ an, so bedeutet dies 0,02 Cent/kWh. Es ist nicht zu erwarten, dass dadurch ein besonderer Anreiz gegeben ist, vermehrt in KWK-Anlagen oder speziell in große BHKW zu investieren oder aber die bestehenden Anlagen besser auszulasten.

1.3.7 TA Luft

Die neue Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA Luft) ist seit dem 1. 10. 2002 in Kraft. Sie löst die aus dem Jahre 1986 stammende TA Luft ab. Mit der TA Luft 2002 [3] wird den Behörden wieder ein modernes Instrument zur Luftreinhaltung an die Hand gegeben, welches zugleich zu mehr Rechtssicherheit und damit Planungssicherheit bei der Genehmigung von Anlagen führt. Sie konkretisiert die Anforderungen, die bei der Genehmigung von industriellen und gewerblichen Anlagen von den zuständigen Vollzugsbehörden zu beachten sind.

Mit der neuen TA Luft wird eine bundeseinheitliche Praxis bei Genehmigung, wesentlichen Änderungen und Sanierung genehmigungsbedürftiger Anlagen sichergestellt. Die Emissionsgrenzwerte für Motor-BHKW sind in der Abb. 14 enthalten. Die Grenzwerte bei den Motor-

anlagen gelten ab einer Feuerungswärmeleistung von 1 MW, was in etwa einer elektrischen Leistung von 300 bis 400 kW_{el} entspricht. Klärgasanlagen – früher grundsätzlich genehmigungsbedürftig – benötigen nun erst ab einer Feuerungswärmeleistung von über 1 MW eine Genehmigung nach der TA Luft. Bei Biogasanlagen wurde die Grenze von 350 auf 1.000 kW Feuerungswärmeleistung angehoben, was den zu erwartenden Boom in der Landwirtschaft beschleunigen wird.

Mit der neuen TA Luft wurden die NO_x-Grenzwerte bei Dieselmotoren auf ein Viertel abgesenkt. Schon vor 2002 waren die Hersteller von BHKW bemüht, entsprechend dem Stand der Technik die Emissionen zu senken. Oft sind Fördermaßnahmen an niedrigere Grenzwerte, z. B. „1/2-Ta Luft“, gebunden gewesen. Mit den heutigen Motortechniken und Abgasreinigungssystemen bereitet es keine Schwierigkeiten, alle Grenzwerte einzuhalten. Ein Hemmnis oder gar eine Behinderung der BHKW-Markteinführung bestand nicht und wird auch nicht erwartet. Die Grenzwerte folgen mehr dem Stand der Technik, als dass sie neue Technologien anregen. Bei der Diskussion um Grenzwerte muss immer berücksichtigt werden, dass BHKW deutlich niedrigere Emissionen haben als die ungekoppelte Strom- und Wärmeerzeugung.

1.3.8 TA Lärm

Die Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm (TA Lärm) ist wie die TA Luft eine Verwaltungsvorschrift nach dem Bundesimmissionsschutzgesetz (BImSchG). Die Grenzwerte der Abb. 15 gelten auch für nichtgenehmigungsbedürftige Anlagen wie z. B. kleine BHKW, wobei

| Gasmotoren | |
|-------------------------------------|-------------------------|
| NO_x-Grenzwert | |
| für Magermotoren | 500 mg/m ³ |
| für sonstige 4-Takt-Motoren | 250 mg/m ³ |
| bei Zweitaktmotoren | 80 mg/m ³ |
| CO-Grenzwert | |
| Erdgas und andere Gase | 300 mg/m ³ |
| für Bio- und Klärgas | |
| ≥ 3 MW | 650 mg/m ³ |
| < 3 MW | 1.000 mg/m ³ |
| Grubengas | 650 mg/m ³ |
| Dieselmotoren | |
| NO_x-Grenzwert | |
| für Selbstzündungsmotoren ≥ 3 MW | 500 mg/m ³ |
| für Selbstzündungsmotoren < 3 MW | 1.000 mg/m ³ |
| CO-Grenzwert | |
| für Selbstzündungsmotoren | 300 mg/m ³ |
| Staub-/Partikelgrenzwert | |
| für Selbstzündungsmotoren | 20 mg/m ³ |
| Zündstrahlmotoren | |
| CO-Grenzwert | |
| ≥ 3 MW | 650 mg/m ³ |
| < 3 MW | 2.000 mg/m ³ |
| NO_x-Grenzwert | |
| für Bio- und Klärgas | |
| ≥ 3 MW | 500 mg/m ³ |
| < 3 MW | 1.000 mg/m ³ |

Abb. 14: Grenzwerte der TA Luft seit dem 1. 10. 2002

die „Vorbelastung“ berücksichtigt werden muss. Die TA Lärm gilt seit dem 1. 11. 1998.

Wichtig für den BHKW-Betreiber ist die Unterscheidung zwischen der Geräuschemission des BHKW von z. B. 65 dB(A) in 1 m Abstand (im Heizungskeller) und dem für die TA Lärm maßgeblichen maximalen Immissionsrichtwert von 40 dB(A) im Einwirkungsbereich (also z. B. an der Grenze zum Nachbargrundstück). Die meisten BHKW-Kompaktmodule mit einer Schallschutzkapsel und einem zusätzlichen Abgasrohrschalldämpfer halten die o. g. Grenzwerte für den Außenbereich ein. Den Geräuschübertragungen und Körperschallübertragungen innerhalb von Gebäuden ist ein besonderer Stellenwert beizumessen. Da es sich bei BHKW mit Verbrennungsmaschinen um Hubkolbenmotoren handelt, sollten Beeinträchtigungen durch Lärm und Körperschall innerhalb des Gebäudes (u. a. in den Räumen direkt über dem BHKW-Aufstellungsraum) ausgeschlossen werden.

Dass es sich bei der TA Lärm um eine die BHKW-Entwicklung hemmende Vorschrift handelt, ist nicht zu erkennen. Auch die Kosten für den Schallschutz halten sich in Grenzen.

Außerhalb von Gebäuden

| | | |
|----|--|----------------------------------|
| a) | in Industriegebieten | 70 dB(A) |
| b) | in Gewerbegebieten | tags 65 dB(A) nachts 50 dB(A) |
| c) | in Kerngebieten, Dorfgebieten und Mischgebieten | tags 60 dB(A) nachts 45 dB(A) |
| d) | in allgemeinen Wohngebieten und Kleinsiedlungsgebieten | tags 55 dB(A) nachts 40 dB(A) |
| e) | in reinen Wohngebieten | tags 50 dB(A) nachts 35 dB(A) |
| f) | in Kurgebieten, für Krankenhäuser und Pflegeanstalten | tags 45 dB(A) nachts 35 dB(A) |

Innerhalb von Gebäuden

Bei Geräuschübertragungen innerhalb von Gebäuden oder bei Körperschallübertragung betragen die Immissionsrichtwerte für den Beurteilungspegel für betriebsfremde schutzbedürftige Räume nach DIN 4109, Ausgabe November 1989, unabhängig von der Lage des Gebäudes in einem der in a bis f genannten Gebiete:
tags 35 dB(A)
nachts 25 dB(A).

Abb. 15: Immissionsrichtwerte für Lärm nach der TA Lärm vom 1. 11. 1998

1.3.9 EU-Gebäuderichtlinie und KWK-Richtlinie

Die EU sieht die KWK zwar als Mittel zur Energieeinsparung, bemerkt aber auch, dass das KWK-Potenzial in der Gemeinschaft nicht voll genutzt wird. Die EU versucht daher, durch verschiedene Richtlinien die Rahmenbedingungen für die KWK zu verbessern und den Wettbewerb auf dem Strombinnenmarkt zu stärken.

Seit dem 1. 1. 2003 ist die EU-Richtlinie 2002[91]EG zur Energieeffizienz von Gebäuden in Kraft. Sie muss bis 2006 in nationales Recht umgesetzt werden. Neben den von den Mitgliedstaaten zu konkretisierenden Mindestanforderungen an Gebäude ist bei neuen Gebäuden mit einer Gesamtnutzfläche von mehr als 1.000 m² zu gewährleisten, dass die technische, wirtschaftliche und ökologische Einsetzbarkeit alternativer Systeme, wie u. a. die KWK, vor

Baubeginn zu berücksichtigen ist. Ebenso muss der positive Einfluss der „Elektrizitätsgewinnung durch die KWK“ berücksichtigt werden. Hier bietet sich vor allem für Planungsbüros die Chance, das KWK-Potenzial im Wohnungsbereich auszuschöpfen.

In einer zweiten Richtlinie kommt die Zielsetzung bereits deutlich im Titel zum Ausdruck: Richtlinie über die Förderung einer am Nutzwärmebedarf orientierten KWK im Energiebinnenmarkt. Diese Richtlinie muss die Bundesregierung bis 21. 2. 2006 in nationales Recht umsetzen. Bereits das KWKMod-Gesetz wird dieser Forderung weitgehend gerecht. Eine Ausnahme bildet der Bericht an die EU mit einer detaillierten Analyse über das KWK-Potenzial, die Hemmnisse und die Fortschritte im Hinblick auf einen höheren Anteil der „hocheffizienten“ KWK. Als hocheffizient gilt eine KWK-Anlage über 1 MW_{el} laut der EU-Richtlinie, wenn sie mindestens eine Primärenergieeinsparung von 10 % gegenüber den Werten einer getrennten Strom- und Wärmeerzeugung ergibt. Anlagen unter 1 MW_{el} gelten ebenfalls als hocheffizient, wenn sie überhaupt eine Primärenergieeinsparung bringen. Geht man von durchschnittlichen Verhältnissen in Deutschland aus, so liegen die Einsparungen durch den Einsatz von BHKW zwischen 25 und 40 % (Abb. 2), sie sind also alle „hocheffizient“.

1.4 Förderprogramme

Bis auf das KWKMod-Gesetz wird in allen genannten rechtlichen Rahmenbedingungen die KWK nur „unter anderem“ genannt. Dennoch wollen sie die KWK auf unterschiedliche Weise finanziell fördern bzw. ihr einen wirtschaftlichen Vorteil verschaffen. Das KWKMod-Gesetz befasst sich speziell mit der Förderung der KWK durch die Bonuszahlungen für den Strom, der in das Netz der allgemeinen Versorgung eingespeist wird (Abb. 11). Leider gibt es keine „KWK-Förderstelle“, die alle Vergünstigungen bündelt und veranschaulicht.

Zu den für die KWK günstigen rechtlichen Rahmenbedingungen kommen noch die Förderprogramme, die Zuschüsse oder zinsgünstige Darlehen u. a. auch für KWK-Anlagen vergeben. Das KfW-Programm zur CO_2 -Minderung bietet zinsgünstige Darlehen um 3 % [4], falls u. a. in KWK-Anlagen investiert wird. Die Kreditsumme ist auf 30.000 EUR je Wohneinheit begrenzt.

Ein noch günstigeres Darlehen mit einem 15%igen Teilschulderlass wird über das KfW- CO_2 -Gebäudesanierungsprogramm auch für KWK-Anlagen gewährt, wenn das Gebäude (Baujahr vor 1979) nach der EnEV auf den Neubaustandard gebracht wird. Die maximale Kreditsumme beträgt 250 EUR/ m^2 Wohnfläche bei einem Zins um 2 % [4]. Der Teilschulderlass, der einem Investitionszuschuss für eine KWK-Anlage und Dämmmaßnahmen gleichkommt, macht dann z. B. bei einem Mehrfamilienhaus mit 1.000 m^2 Wohnfläche 37.500 EUR aus. Oft sind so günstige Programme nur zeitlich befristet und wenig beworben.

Außer den Förderprogrammen des Bundes gibt es auch Programme auf Landesebene. Z. B. bezuschusst das Land Thüringen BHKW-Anlagen bis 100 kW mit 200 EUR je kW und Anlagen über 100 kW mit 150 EUR je kW bis maximal 100.000 EUR.

2 Von der KWK zum BHKW

2.1 Die Grundidee der Kraft-Wärme-Kopplung

90 % der Stromerzeugung in Deutschland kommen auch heute noch aus großen Wärmekraftwerken, die den Dampfkraftprozess nutzen. Aus der Brennstoff- oder der Kernenergie wird Dampf erzeugt, der eine Dampfturbine mit einem Generator zur Stromerzeugung antreibt.

Seit dem Beginn der Stromerzeugung wurde schon immer versucht, aus dem Brennstoff möglichst viel Strom zu gewinnen. Dem sind jedoch durch den Carnot-Wirkungsgrad ($\eta_C = 1 - T_u/T_o$ untere und obere Temperatur des Kreisprozesses) physikalische Grenzen gesetzt. Es können in der Praxis nur etwa 40 % Strom aus 100 % Brennstoffenergie gewonnen werden. Bei Kernkraftwerken sind es sogar nur 33 %. Der Rest von 60 bzw. 67 % ist Abwärme, die nutzlos die Flüsse und die Atmosphäre erwärmen. Es liegt daher nahe, diese Abwärme, die etwa dem gesamten Energiebedarf der deutschen Haushalte entspricht, irgendwie zu nutzen. Dem stehen aber vier entscheidende Hemmnisse gegenüber:

- Die Abwärme fällt bei einer für die Raumheizung nicht nutzbaren Temperatur von ca. 10 bis 35 °C an.
- Die Abwärme fällt konzentriert in mehreren 100 MW oder sogar tausenden MW am Kraftwerksstandort an, wo nicht genügend oder gar kein Wärmebedarf in dieser Größenordnung vorhanden ist.
- Ein Transport von Wärme in Form von Heißwasser (Fernwärme) stößt rasch an wirtschaftliche Grenzen. Transportwege über 10 km sind sehr selten.



Abb. 17: Braunkohlenkraftwerk Frimmersdorf

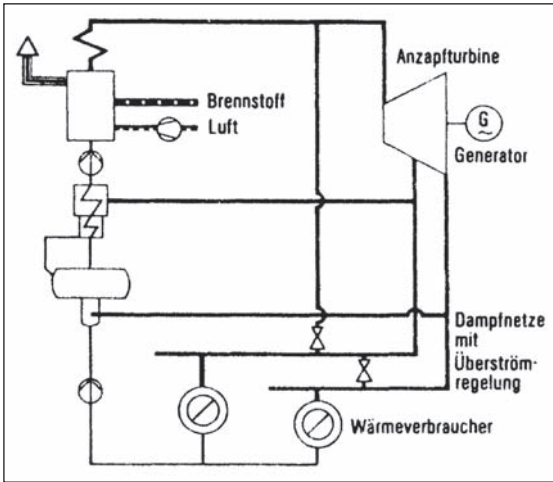


Abb. 18: Prozessschema eines Dampf-Heizkraftwerkes

- Der Dampfkraftprozess verspricht eine deutlich geringere Stromausbeute als z. B. die Auskoppelung der Wärme aus einem Motor-Generator-Prozess.

Um die Abwärme eines Dampfkraftprozesses zu nutzen, muss der Dampf bei höheren Temperaturen entnommen oder kondensiert werden, wobei der elektrische Wirkungsgrad schlechter wird. Die Abwärme wird zur Nutzwärme und kann zu Heizzwecken verwendet werden. Zu der Nutzung der Brennstoffenergie in Form der Kraft (elektrischer Strom) tritt damit die Nutzung von Wärme hinzu. Man spricht in solchen Fällen von Kraft-Wärme-Kopplung bzw. von KWK (Abb. 18). Der erzeugte KWK-Strom muss an anderer Stelle nicht in Kraftwerken erzeugt werden, und die KWK-Wärme nicht in Heizkesseln. Dies führt zu den bekannten Vorteilen der Energieeinsparung und der Umweltentlastung.

So einfach und sinnvoll die Idee der Kraft-Wärme-Kopplung zunächst erscheint, so schwierig ist ihre Realisierung in Verbindung mit dem Dampfkraftprozess. Der Dampfkraftprozess wird sowohl aus technischen als auch aus wirtschaftlichen Gründen in Großanlagen durchgeführt. Daher fällt auch die Abwärme in riesiger Menge konzentriert am Kraftwerkstandort an.

Während elektrische Energie durch Hochspannungsleitungen auch über hunderte von Kilometern einfach und mit hohem Wirkungsgrad zum Verbraucher transportiert werden kann, gelingt das bei der Abwärme über Fernwärmeleitungen nur im Umkreis von maximal 10 km. Ein Transport der Wärme über längere Strecken kommt aus wirtschaftlichen Gründen nicht in Frage. So beschränkt sich die Abwärmenutzung auf einige wenige Fernwärmegebiete und wenige industrielle Abwärmenutzer in unmittelbarer Nachbarschaft der Kraftwerke. Es gab immer wieder Fälle, bei denen die Wärme am Standort der KWK-Anlage kostenlos angeboten wurde. Der Bau von Leitungen für den Transport und die Verteilung der Wärme wäre aber teurer gewesen als individuelle Einzelheizungen.

Um die mit dem Dampfkraftprozess verbundenen Nachteile für die KWK zu vermeiden, mussten folgende Bedingungen erfüllt werden:

- Wärmebedarf und Wärmekoppelung müssen örtlich und in der Leistung eng beieinander liegen,
- Leistungsangebot über mehrere Größenordnungen,
- Leistungsanpassung während des Betriebs,
- höhere Stromausbeute als beim Dampfkraftprozess,
- umweltfreundlichere und leichter verfügbare und handhabbare Brennstoffe als Kohle.

Die Entwicklung von Motor-Generator-Einheiten für die KWK zielte in den 60er Jahren darauf, die genannten Bedingungen weitgehend zu erfüllen. Dies war die Geburtsstunde für die Blockheizkraftwerke (siehe Abb. 5), die man heute als kompakte Energieerzeugungsanlagen mit hohem Wirkungsgrad versteht.

2.2 Die wichtigsten Techniken für die KWK

Die in der Abb. 19 aufgeführten KWK-Systeme decken das gesamte Leistungsspektrum von 1 kW bis zu mehreren 100 MW ab. Es gibt kaum einen Wärmebedarf innerhalb dieser sechs Größenordnungen, zu dem es nicht eine geeignete KWK-Anlage gibt. Für die Deckung des Heizwärmebedarfes in Gebäuden sowie im Gewerbe sind die Blockheizkraftwerke aus den

| | | Dampf-HKW | Gasturbinen-HKW | GuD-HKW | BHKW (Otto-Motoren) | BHKW (Dieselmotoren) | Stirling-Motor | Brennstoffzelle |
|---------------------------|----|---------------|-----------------|----------------|---------------------|----------------------|----------------|-----------------|
| Elektrische Leistung | kW | 5.000–250.000 | 50–250.000 | 20.000–240.000 | 1–5.000 | 5–20.000 | 1–40 | 1–250 |
| Gesamtwirkungsgrad | % | bis 90 | bis 85 | bis 90 | bis 90 | bis 90 | bis 85 | bis 90 |
| Elektrischer Wirkungsgrad | % | 15–25 | 25–30 | 30–45 | 25–42 | 28–44 | 10–30 | 30–47 |
| Stromkennzahl | – | 0,1–0,4 | 0,3–0,6 | 0,4–1,0 | 0,4–1,1 | 0,5–1,1 | 0,4 | 0,3–0,7 |
| Teillastverhalten | | gut | weniger gut | weniger gut | gut | gut | weniger gut | sehr gut |
| Stand der Technologie | | bewährt | bewährt | bewährt | bewährt | bewährt | Kleinserien | Pilotanlagen |
| Üblicher Brennstoff | | Kohle, Müll | Gas, Diesel | Gas (Kohle) | Gas | Diesel (Gas) | Gas, Holz | Gas |

Abb. 19: Wichtige Merkmale von KWK-Systemen

oben genannten Gründen am besten geeignet. So weit gefächert das Leistungsspektrum, so unterschiedlich sind der technologische Stand und die Erfahrungen mit den einzelnen KWK-Systemen. Während bei den Dampfkraftanlagen gut 100 Jahre Erfahrung vorliegen, befinden sich die Stirling-Motoren am Rande der Markteinführung und die Brennstoffzellen erst im Stadium der ersten Pilotanlagen. Die KWK hat daher in manchen Bereichen noch ein enormes Entwicklungspotenzial vor sich.

2.2.1 Heizkraftwerke

Heizkraftwerke (HKW) arbeiten mit dem klassischen Dampfkraftprozess, wobei die Kondensationsturbinen oft durch die preiswerteren Gegendruckturbinen ersetzt werden. Dieser Prozess ist für alle Brennstoffarten geeignet und seit Jahrzehnten erprobt und optimiert. Sogar die Verwendung von Müll oder Biomasse in Form von Holz kann heute als Standard angesehen werden.

Um bei den gegenwärtig üblichen Rahmenbedingungen in die Nähe der Wirtschaftlichkeit zu kommen, beginnen solche Heizkraftanlagen bei elektrischen Leistungen von etwa 5 bis 10 MW und reichen bis in den Bereich von 100 bis 200 MW hinein. Bei größeren Leistungen nimmt der Anteil an Wärmenutzung mangels örtlicher Wärmeverbraucher meist ab und der Nutzungsgrad sinkt dann auf den der reinen Dampfkraftwerke ab.

Die Einsatzgebiete sind meist Industriekraftwerke oder größere Fernwärmezentralen, oft mit einem industriellen Hauptabnehmer für Wärme. Reine Dampf-HKW werden heute nicht mehr gebaut. Entweder entscheidet man sich für Gasturbinen mit einer Abwärmenutzung oder Gas-Dampf-Anlagen (GuD).

2.2.2 Gasturbinen mit Abhitzenutzung

Gasturbinen sind Verbrennungskraftmaschinen, bei der die Energie direkt in drehende Bewegung umgesetzt wird. Nach der Arbeitsleistung in der Turbine erzeugen die expandierten heißen Rauchgase Nutzwärme. Sie verlassen die Turbine mit einem sehr hohen Luftüberschuss und einer Temperatur zwischen 450–600 °C. Der wesentliche Vorteil der Gasturbine für die Kraft-Wärme-Kopplung ist die Wärmeabfuhr über das Abgas auf hohem Temperaturniveau.

Die Gasturbinen-Abgase können direkt zur Trocknung oder Wärmevergütung von Produkten (Ziegeleien oder sonstige Ofenprozesse) verwendet werden, oder indirekt, indem man sie einem Abhitzeessel zuführt, der Heißwasser oder Dampf erzeugt (Abb. 20).

Die Gasturbinen holten durch die Erhöhung der Eintrittstemperatur von 600 auf 1.100 °C in den letzten 30 Jahren gegenüber Dampfkraftmaschinen auf, weil das Temperaturgefälle zur Stromerzeugung höher ist. Die spezifische Stromausbeute ist höher als bei Dampf-HKW, aber noch niedriger als bei Verbrennungsmotoren. Der Gesamtnutzungsgrad der Gasturbinen ist kleiner als bei Dampf-HKW und Motor-BHKW (Abb. 19). Da sie den Umweg über den Wär-

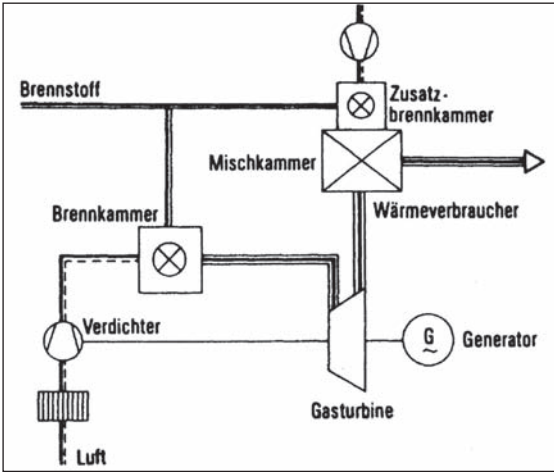


Abb. 20: Gasturbine mit Abwärmenutzung

meträger Wasser vermeiden, sind sie kompakter gebaut und einfacher im Aufbau als Dampf-HKW. Deshalb werden die Gasturbinen ihr Vordringen am Markt verstärken, auch wenn sich ihr elektrischer Wirkungsgrad bei Großanlagen kaum noch erhöhen lässt.

Bei den hohen Rauchgastemperaturen sind sehr einfache Abhitze-Kesselkonstruktionen möglich, wobei die Heizflächen zum Verdampfen des Wassers oder zur Erwärmung des Heizwassers in einfacher Weise in den Rauchgasstrom eingehängt sind. Durch einen Zusatzbrenner im Abhitze-Kessel kann ein höherer Wärmebedarf gedeckt werden, ohne dass die Stromerzeugung beeinflusst wird. Wegen der geringen Baugröße und des problemlosen Einsatzes von Erdgas eroberten die Gasturbinen folgende Anwendungsbereiche:

- verbrauchernahe dezentrale Heizkraftwerke für die Kommunen,
- Kraft-Wärme-Kopplung in der mittelständischen Industrie,
- Vorschaltgasturbinen vor vorhandene Dampf-HKW zur Anpassung an den geänderten Strom-Wärme-Bedarf, d. h. eine höhere Stromausbeute.

Gasturbinen gibt es in Leistungsgrößen von 0,5 bis 150 MW_{el}. Anlagen über 5 MW_{el} erreichen einen elektrischen Wirkungsgrad von 30 bis 35 %. Nur bei Leistungen unter 1 MW sinkt der Wirkungsgrad auf 20 %.

Seit einigen Jahren werden auch kompakte Gasturbinen bis herunter zu 30 kW_{el} angeboten. Sie stehen in direkter Konkurrenz zu den Motor-BHKW. Der elektrische und der Gesamtwirkungsgrad sowie die Stromausbeute sind bei den Motor-BHKW jedoch höher.

2.2.3 GuD-Anlagen

Gasturbinen-Dampfturbinen-Heizkraftwerke oder Kombianlagen sind die gebräuchliche Bezeichnung für Wärmekraftwerke, bei denen ein offener Kreisprozess mit Gas als Energie-

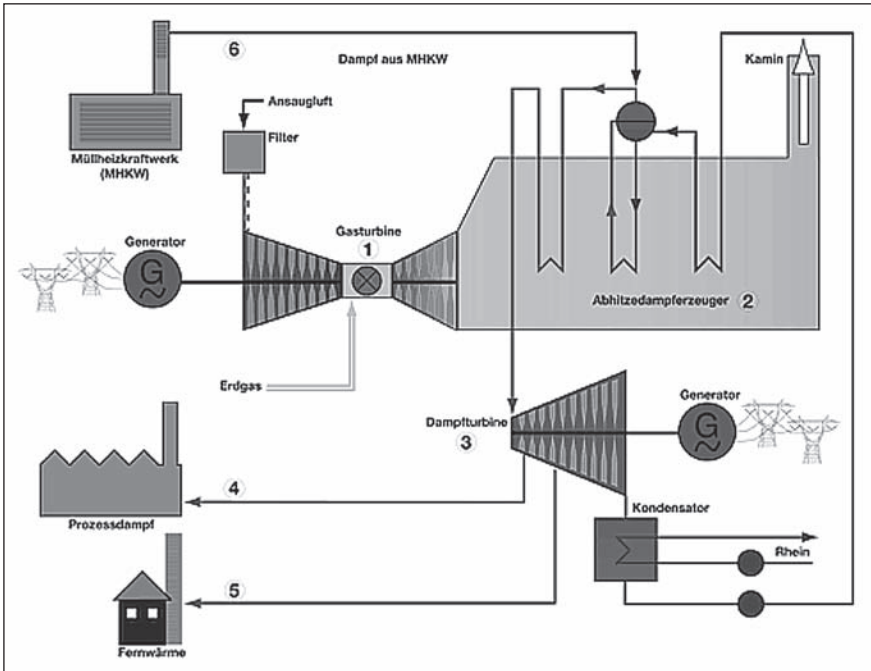


Abb. 21: KWK in einer Kombianlage

träger und ein Kreisprozess mit Dampf als Energieträger kombiniert sind (Abb. 21). Deshalb werden sie Gas-Dampf-Anlagen (abgekürzt GuD) genannt. GuD-Anlagen decken den höchsten Leistungsbereich ab 20 MW ab.

Der höhere Wirkungsgrad der Kombikraftwerke mit teilweise über 50% im Vergleich zu konventionellen Kraftwerken wird bei einem Einsatz in der Kraft- Wärme-Kopplung durch thermodynamische und ökologische Bewertungen noch ausgeprägter. Dazu kommt der politische Aspekt, dass im Abhitzekessel durch eine Zusatzfeuerung sowie in jedem Dampfkessel auch heimische Kohle oder Müll verfeuert werden kann.

Die Anforderungen der KWK werden durch hohe Stromausbeuten, niedrige Anlagen-Investitionen, kompakte Bauweise bei kürzester Bauzeit und höchster Flexibilität bezüglich Betrieb und Standort am vorteilhaftesten mit Kombianlagen erfüllt. Da es nur wenige noch nicht für die KWK erschlossene, wirtschaftliche Wärmepotenziale im 100-MW-Bereich gibt, kam die GuD-Technik bislang in Deutschland als KWK-Anlage nur vereinzelt zum Einsatz.

Langfristig gesehen haben Kombianlagen nicht nur für die KWK, sondern auch für konventionelle Kraftwerke ohne Nutzwärmeabgabe im obersten Leistungsbereich große Chancen, auch wenn das Wärmepotenzial begrenzt ist.

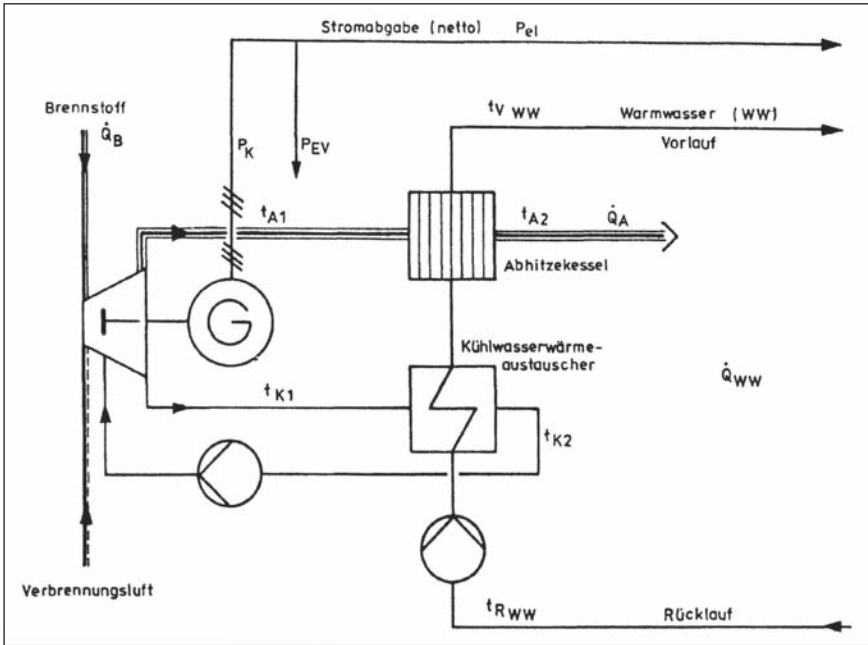


Abb. 22: Abwärmenutzung bei einem BHKW

2.2.4 Motoren-BHKW

Die Vorteile der BHKW vor allem gegenüber der Gasturbine und dem Dampfkraftprozess wurden bereits in Kap. 2.1 genannt. Durch eine geschickte Auskopplung der Abwärme von Motor-Kühlwasser, Schmieröl und Abgas kann der Wärmeträger Wasser leicht auf 90 bis 110 °C aufgeheizt werden (Abb. 22). Damit eignen sich solche Anlagen vom Temperaturniveau her bestens zur Gebäudeheizung. Gerade dort ist der Bedarf an Heizwärme besonders groß.

Der Heizwärmebedarf unterliegt bekanntlich starken Tages-, Wochen und Jahresschwankungen. Auch hier erweist sich die Motorentechnik gegenüber den Gasturbinen als günstig, weil die Teillastwirkungsgrade bei Motoren deutlich schwächer abfallen als bei Gasturbinen.

Das Leistungsspektrum von Motoren beginnt bei so kleinen Leistungen (Heizleistung ca. 3 kW und 1 kW_{el}), dass sie sich für dezentrale Einsätze geradezu aufdrängen. Damit wird das enorme Wärmepotenzial der Ein- und Zweifamilienhäuser erschlossen. Selbst die kleinsten verfügbaren Mini-BHKW mit nur 1 kW_{el} könnten bei 1 Mio. Anlagen theoretisch ein Kernkraftwerk ersetzen. Die angebotenen BHKW-Größen reichen dann fast ohne Übergang bis zu mehreren MW. Damit kommen auch Wohnblocks, Wohnanlagen und öffentliche und private Einrichtungen wie Schwimmbäder, Krankenhäuser und gewerbliche und industrielle Abnehmer in Frage. Mit zunehmender Größe wird auch der elektrische Wirkungsgrad besser.

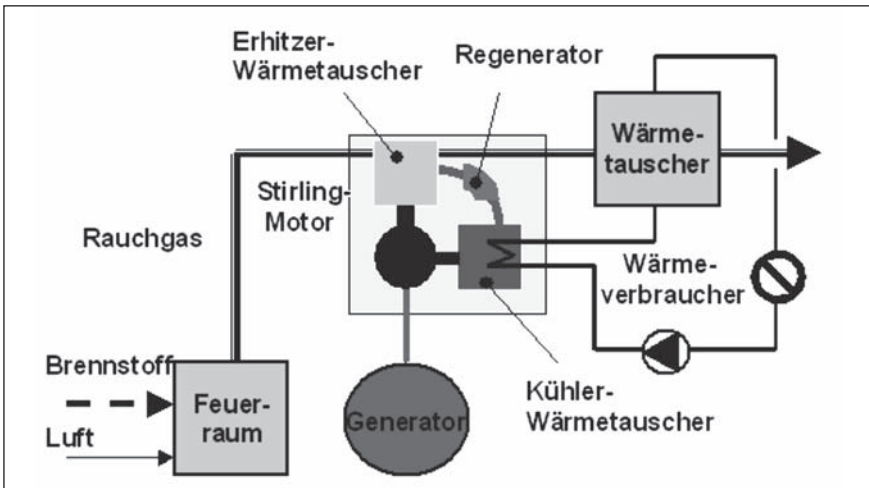


Abb. 23: Stirling-Motor als KWK-Anlage

BHKW haben den Vorteil, dass nahezu alle gasförmigen und flüssigen Brennstoffe zum Einsatz kommen können. BHKW arbeiten im Allgemeinen nicht als ausschließlicher Wärmeerzeuger, sondern bilden eine Ergänzung zu Heizungsanlagen, um auf entsprechend hohe Laufzeiten zu kommen.

In den letzten 20 Jahren konnten gerade in der BHKW-Technik enorme Fortschritte erzielt werden. Sie zeigen sich in dem gestiegenen Wirkungsgrad, der Absenkung der Emissionen, der hohen Verfügbarkeit, der langen Lebensdauer der Anlagen und nicht zuletzt der Vollautomatisierung des Betriebs.

Da die BHKW in kompakten Einheiten geliefert werden, ist die Ausrüstung wie die Regel- und Steuertechnik meistens inklusive. Sie umfasst auch die Verbindung zur Heizungsanlage. Die Anschlüsse sind nach mitgelieferten Plänen des Herstellers von jedem Heizungsbauer bzw. Elektromonteur einfach herzustellen. Auch größere Anlagen mit einigen MW werden anschlussfertig im Container für die Außenaufstellung geliefert.

2.2.5 Stirling-Motoren

Der Stirling-Motor ist wie der Dampfturbinenprozess eine Wärmekraftmaschine mit externer Verbrennung, in der eine konstante Gasmenge (z.B. Luft, Wasserstoff, Helium) zyklisch komprimiert und expandiert wird. Die eigentliche Wärmequelle liegt bei diesem Heißgasmotor in einer außerhalb des Zylinders angeordneten Brennkammer (Abb. 23). Dadurch eröffnen sich die Möglichkeiten, durch Auswahl geeigneter Verbrennungstechniken eine schadstoffärmere Verbrennung zu erreichen. Somit können dem Stirling-Motor bisher ungenutzte Verbrennungspotenziale (von Biomasse und Abfällen) erschlossen werden.



Abb. 24: Prototyp einer PEMFC-Brennstoffzellen-Hausenergiezentrale zur Strom- und Wärmeversorgung

Stirling-Motoren haben nur bescheidene elektrische Wirkungsgrade von höchstens 30%. Oft liegen diese jedoch wegen der geringen Temperaturunterschiede (Carnot-Wirkungsgrad) eher bei 10%, was ein entscheidender Nachteil gegenüber den Otto- oder Diesel-Motoren-BHKW ist. Sie sind leiser bzw. vibrationsärmer und haben ein gleichmäßigeres Drehmoment als Verbrennungsmotoren. Mit den hohen Temperaturdifferenzen und -drücken (100 bis 190 bar) auf engstem Raum sind Material- und Dichtungsprobleme verbunden.

Weltweit versuchen seit kurzem Firmen Stirling-Motoren als BHKW-Anlagen auf dem deutschen Markt einzuführen. Der Leistungsbereich der entwickelten Motoren reicht von 1 kW_{el} bis 40 kW_{ep}, wobei die elektrischen Wirkungsgrade zwischen 10 und 30% liegen. Diese Stirling-BHKW werden derzeit in verschiedenen Tests in geringen Stückzahlen erprobt. Dabei werden auch verschiedene Brennstoffe in Kombination mit den Stirling-BHKW getestet, wie z. B. Erdgas, Grubengas, Biogas und Holz. Erste Kleinserien könnten in den nächsten Jahren auf den Markt kommen.

2.2.6 Brennstoffzellen

Brennstoffzellen sind elektrochemische Zellen, die (ähnlich einer Batterie) die chemisch gebundene Energie des Brennstoffs direkt in elektrische Energie umwandeln. Sie unterliegen zwar nicht dem Carnot-Wirkungsgrad, aber elektrische Wirkungsgrade bei stationären Einzelan-

lagen von 40 bis 50 % dürften die Obergrenze sein. Der Vorzug besteht eher darin, dass bei Teillast der Wirkungsgrad kaum abfällt – ja theoretisch sogar zunehmen müsste – und in den im Vergleich zu allen anderen KWK-Systemen deutlich geringeren Emissionen.

Eine Brennstoffzelle besteht prinzipiell aus zwei porösen, gasdurchlässigen Elektroden und einem dazwischen liegenden ionenleitenden Elektrolyten. In der technischen Realisierung werden viele einzelne identisch aufgebaute Brennstoffzellen seriell zu einem so genannten Brennstoffzellenstapel (Stack) verschaltet.

Brennstoffzellen werden nach ihren Elektrolyten unterschieden. Vier Grundtypen kommen für einen Einsatz in der Energiewirtschaft in Frage:

- die Phosphorsäure-Brennstoffzelle (PAFC),
- die Polymer-Membran-Brennstoffzelle (PEMFC),
- die Karbonatschmelzen-Brennstoffzelle (MCFC),
- die oxidkeramische Brennstoffzelle (SOFC).

Die meisten Systeme befinden sich derzeit noch im Forschungs- und Entwicklungsstadium. Große Entwicklungspotenziale, z. B. auch hinsichtlich der finanziellen Wettbewerbsfähigkeit gegenüber konventionellen BHKW-Anlagen, werden der PEMFC und der SOFC eingeräumt.

Kommerziell verfügbar und wirtschaftlich ist zurzeit die Karbonatschmelzen-Brennstoffzelle (MCFC) der Firma MTU (HotModule) mit einer elektrischen Leistung von 250 kW, von denen weltweit knapp 20 Anlagen in Betrieb sind. Für die Gebäudeheizung im untersten Leistungssegment von 1 bis 5 kW_{el} sind die PEMFC und die SOFC die aussichtsreichsten Systeme (Abb. 24 und 25). Diese Anlagen sind noch nicht käuflich. Nach Abschluss verschiedener Tests mit Kleinstserien wird eine Markteinführung erst gegen Ende des Jahrzehnts erwar-



Abb. 25: SOFC-Brennstoffzellen-Heizgerät Galileo

tet. Voraussetzung wird ein Preis sein, der unter dem von Motor-BHKW liegen muss. Solange es eine Konkurrenz zwischen den KWK-Systemen gibt, wird es beim Preis noch einige Veränderungen nach unten geben.

2.3 Bewertungszahlen für KWK-Anlagen

Maschinen und technische Anlagen können in Bezug auf ihren Nutzen mittels Kennzahlen eingeordnet werden. Bei KWK-Anlagen geht es um die rationelle Energienutzung. Daher sind die energetischen Kennzahlen (Abb. 19) wesentlich und für die weiteren ökonomischen und ökologischen Betrachtungen unbedingt notwendig.

Aus den drei Basisgrößen können weitere Kenngrößen berechnet werden:

- die Stromerzeugung (S),
- die Wärmeerzeugung (Q) und
- der Brennstoffverbrauch (B).

Eine oft bei KWK-Anlagen genannte – davon abgeleitete – Größe ist die Stromkennzahl (SK). Sie gibt das Verhältnis von Strom- zu Wärmeerzeugung an ($SK = S/Q$). Sie ist damit ein Maß für die Stromausbeute. Da der Strom auch wirtschaftlich gesehen höherwertig als die Wärme ist, werden möglichst hohe Stromkennzahlen angestrebt. Diesel-BHKW und Kombi-Anlagen kommen dieser Forderung mit einer SK von eins am nächsten, während der klassische Dampfkraftprozess bei nur 0,1 bis 0,4 liegt.

Eine weitere Größe ist der Nutzungsgrad (η) der gesamten Anlage, der sich auf einen längeren Zeitraum, meist ein Jahr, bezieht.

$$\eta_{\text{ges}} = (S + Q)/B$$

Der Nutzungsgrad erlaubt, die Effektivität einer Anlage im tatsächlichen Betrieb zu bestimmen, da Verluste, Eigenbedarf, Betriebsunterbrechungen und Teillast durch Jahreswerte berücksichtigt werden. Strom und Wärme sind als Nettowerte einzusetzen, d. h. es muss der Eigenbedarf berücksichtigt werden. Mit dem Vergleich von Nutzungsgraden können auch unterschiedliche Techniken (z. B. BHKW versus Gasturbine mit Abhitzekegel) bewertet werden.

Im Gegensatz zum Nutzungsgrad, der Energiemengen in Beziehung setzt, werden beim Wirkungsgrad Leistungen verglichen. Die Leistungen ergeben sich aus kurzzeitigen Messungen der Energieströme im Minutenbereich. Die Anlage wird dabei mit Nennleistung gefahren. Der Wirkungsgrad ist immer höher als der Nutzungsgrad, weil beim Wirkungsgrad die Anfahrverluste und die Teillastzeiten mit schlechteren Wirkungsgraden nicht berücksichtigt werden.

Sowohl der Nutzungsgrad als auch der Wirkungsgrad können sich nur auf den Strom oder nur die Wärme beziehen. Man spricht dann von dem elektrischen oder thermischen Wirkungs- bzw. Nutzungsgrad. Die elektrischen Wirkungsgrade nahezu aller am Markt vorhan-

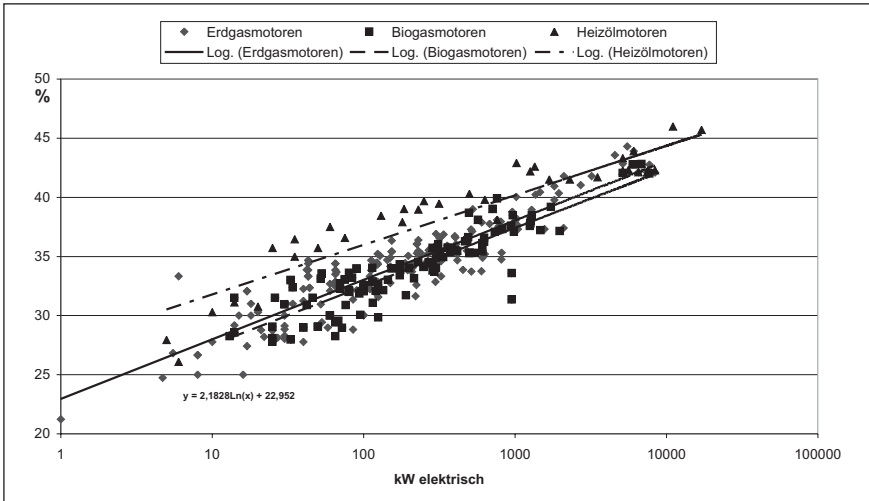


Abb. 26: Elektrischer Wirkungsgrad

dener BHKW sind in der Abb. 26 dargestellt. Je größer die Anlagen sind, desto höher ist auch der elektrische Wirkungsgrad. Größere Anlagen und speziell die Dieselmotoren haben daher prinzipiell einen wirtschaftlichen Vorteil, weil sie eine höhere Stromkennzahl haben. Beim Gesamtwirkungsgrad ist kaum eine Größenabhängigkeit zu erkennen.

$$\eta_{el} = S/B \text{ bzw. } \eta_{th} = Q/B$$

Die Summe aus dem elektrischen und dem thermischen Wirkungs- bzw. Nutzungsgrad ergibt dann den Gesamtwirkungs- bzw. Gesamtnutzungsgrad.

$$\eta_{ges} = \eta_{el} + \eta_{th}$$

Eine weitere Kenngröße ist eine Zeitangabe: die Ausnutzungsdauer, die die Einsatzdauer einer Anlage beschreiben soll. Man bezieht die erzeugte Wärme oder den Strom auf die entsprechende Nennleistung der Anlage. Je höher die Ausnutzungsdauer, desto mehr lohnt sich die Anlage, weil der Anteil der festen Kosten abnimmt und damit die gesamten Erzeugungskosten geringer werden. Oft wird auch anstelle der Ausnutzungsdauer die Benutzungsdauer angegeben, ohne dabei auf die geringen Unterschiede in der Definition zu achten, die hier keine Rolle spielen.