

KLEINE KRAFT-WÄRME-KOPPLUNG FÜR DEN KLIMASCHUTZ

Jeder kann Energie doppelt nutzen



Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz
und Reaktorsicherheit



INHALT

Kraft-Wärme-Kopplung morgen: Revolution in unseren Heizungskellern	4
Das Prinzip "Kraft-Wärme-Kopplung"	5
Das kleine Einmaleins der Kraft-Wärme-Kopplung	7
Kompatibel für viele Technologien: das Minikraftwerk	10
Vom Auto in den Keller: das Motor-BHKW	12
Alte Technologie neu entdeckt: der Stirling-Motor	14
Noch Forschungsbedarf: die Brennstoffzelle	15
Aus Groß mach' Klein: die Mikrogasturbine	18
Weitere technologische Optionen	18
Das A und O: die Wirtschaftlichkeit	20
Apropos wirtschaftlich...	22
Die vernetzte Kraftwerkswelt von morgen	23
Das große Plus: der ökologische Bonus	24
Die Einsatzgebiete für kleine KWK	27
Beispiele für den Einsatz kleinerer Blockheizkraftwerke	28
Das große Potenzial für die Mini-KWK	30
Fazit und Ausblick	33
Anhang	35

GRUSSWORT

Die Bekämpfung des globalen Klimawandels ist eine der zentralen Herausforderungen des 21. Jahrhunderts. In der Europäischen Union sind wir uns einig, dass die globale Erwärmung 2° Celsius gegenüber vorindustriellen Werten nicht übersteigen darf.

Nach der Ratifikation durch Russland tritt das Kyoto-Protokoll am 16. Februar 2005 in Kraft. Es steht für eine Wende in der Energiepolitik. Ziel ist eine Industriegesellschaft, die entschieden weniger fossile Brennstoffe verbraucht. Wir müssen weltweit Energie sehr viel effizienter und sparsamer nutzen und die Erneuerbaren Energien massiv ausbauen.

Klimaschutzpolitik ist Energiepolitik. In Deutschland beträgt der Anteil der CO₂-Emissionen aus der Energieumwandlung nahezu 45 %. Hier müssen wir also den Hebel ansetzen und die enormen Effizienzpotenziale ausnutzen.

Das Zeitfenster dazu ist günstig. Zusammen mit den still zu legenden Kernkraftwerken gehen bis 2020 Kraftwerke mit einer Leistung von rund 40.000 MW vom Netz. Etwa ein Drittel des deutschen Kraftwerkparks muss somit erneuert werden. Das bietet die Chance, den Strukturwandel hin zu einer dezentralen effizienten Energieversorgung auch ökonomisch effizient zu erreichen.

Die Bundesregierung hat das Ziel, die Energieproduktivität bis 2020 gegenüber 1990 zu verdoppeln. Das ist ein überaus ehrgeiziges Ziel. Schon jetzt liegen wir hier an der Weltspitze. Trotzdem müssen wir noch erheblich zulegen. Der Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung muss dazu seinen Beitrag leisten.

A handwritten signature in black ink, reading 'Jürgen Trittin'. The signature is fluid and cursive, with a long horizontal stroke extending to the right.

Jürgen Trittin

Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit

KRAFT-WÄRME-KOPPLUNG MORGEN: REVOLUTION IN UNSEREN HEIZUNGSKELLERN

Energieeffizienz ist nicht nur aus Klimaschutzgründen das Gebot der Stunde.

Die begrenzten Energievorräte und der zum Teil dramatische Preisanstieg für fossile Energien wie Erdöl und Erdgas sollten für jeden Verbraucher Anlass genug sein, so viel Power wie möglich aus den eingesetzten Primärenergien herauszuholen.

Dieses Mehr an Power ist technologisch schon längst umsetzbar – und zwar durch den Einsatz der Kraft-Wärme-Kopplung (KWK, siehe Kasten S. 5 und 6). Was fehlt, ist eine Revolution in den Heizungskellern und -zentralen. Wo heute meist herkömmliche Kesselanlagen stehen, die allein für die Heizwärme und warmes Wasser in einem Haus oder Gebäude sorgen, können künftig kleine angepasste KWK-Anlagen Platz finden. Nicht nur in Betrieben, Schwimmbädern oder Hotels lassen sich parallel Strom und Wärme gewinnen, sondern auch in Privathäusern. Möglich machen das kleine KWK-Anlagen, auch Mikro-KWK genannt. Solche hocheffizienten Mini-Kraftwerke können einzelne Häuser, nach abgestimmter Planung auch ganze Häuserzeilen, komplett mit allen Energien versorgen.

Die Versorgung mit Strom, Wärme und auch Kälte, die heute überwiegend noch die Aufgabe von Ressourcen verschwendenden Großkraftwerken und Einzelanlagen ist, kann dank der KWK-Technik innerhalb eines überschaubaren Zeitraums größtenteils mit kleineren, stärker dezentralisierten Anlagen gewährleistet werden. Und dank moderner Steuerungs- und Regelungstech-

Das Prinzip "Kraft-Wärme-Kopplung" oder: die doppelte Nutzung von Energie

Wenn ein Großkraftwerk Elektrizität erzeugt, werden – vereinfacht ausgedrückt – zuerst große Dampfmengen produziert und dann über Turbinen in Strom umgewandelt. Dieser Umwandlungsprozess ist mit hohen Verlusten verbunden. Trotz stetiger Verbesserungen kommen die deutschen Großkraftwerke nur auf einen durchschnittlichen Nutzungsgrad von ca. 37 Prozent.

Fast zwei Drittel der eingesetzten Brennstoffenergie werden ungenutzt über große Kühltürme an die Umgebungsluft abgegeben und heizen so die Atmosphäre auf oder erwärmen unsere Flüsse. Bei der Kraft-Wärme-Kopplung wird also genau diese Abwärme genutzt, um unter anderem Häuser und Gewerbebetriebe zu heizen sowie Schwimmbäder zu erwärmen oder als Dampf industrielle Produktionsprozesse möglich zu machen, wie beispielsweise in der Papier-, Chemie- oder Textilbranche. Das heißt, bei der Kraft-Wärme-Kopplung wird die in den Brennstoffen steckende Energie doppelt genutzt: zur Strom- und Wärmegewinnung. Deshalb liegt der Gesamtnutzungsgrad von KWK-Anlagen je nach Größenordnung bei mindestens 80 Prozent und mehr.

Besonders geeignet für die Nutzung der KWK-Technik sind dezentrale, kleinere Heizkraftwerke. Bei ihnen entfallen die nennenswerten Stromtransportverluste auf dem Weg zu den Verbrauchern. Der Strom und die Wärme können gleichzeitig direkt am Ort produziert und verbraucht werden.

In einigen Ländern der Europäischen Union trägt die Kraft-Wärme-Kopplung schon erheblich zur Energieversorgung bei. Vorreiter ist Dänemark, wo

schon über die Hälfte des landesweiten Strombedarfs gekoppelt produziert wird. Auch die Niederlande und Finnland setzen auf die Kraft-Wärme-Kopplung im großen Stil.

In Deutschland werden zurzeit nur etwa zehn Prozent des Strombedarfs mit Kraft-Wärme-Kopplung gedeckt. Der Großteil davon stammt aus großen Kraftwerken, die ihre Wärme in Fernwärmenetze einspeisen, und aus Industriekraftwerken. Anfang der siebziger Jahre lag der Eigenanteil der Industrie an der bundesweiten Bruttostromerzeugung – oft in Kraft-Wärme-Kopplung erzeugt – noch bei fast 20 Prozent. Allein diese Zahl lässt erahnen, was hierzulande bei der KWK-Nutzung möglich wäre.

Einen eher kleineren Beitrag liefern bislang kompakte und kleinere Anlagen zur gleichzeitigen Strom- und Wärmeversorgung, wobei allerdings das Potenzial enorm ist. Diese KWK-Anlagen sind in Hotels, kleineren Gewerbebetrieben und auch in privaten Heizkellern im Einsatz.

Das Potenzial zum Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung in Deutschland ist jedenfalls vorhanden. Verschiedene Studien kommen zu einem ähnlichen Schluss: aus technischer, ökologischer und ökonomischer Sicht wäre ein deutlicher Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung möglich und sinnvoll. Eine Vervierfachung der heutigen Stromerzeugung aus Kraft-Wärme-Kopplung ist technisch und wirtschaftlich machbar, sowohl im Bereich der industriellen Kraft-Wärme-Kopplung, aber insbesondere auch im Bereich der Nah- und Fernwärme und der Versorgung einzelner, kleinerer Objekte.

Wichtig für die weitere Betrachtung ist die Einteilung der KWK nach Größenklassen. Zu unterscheiden sind (el = elektrische Leistung):

Mikro-KWK:	≤ 15 kW _{el} (teilweise auch Mini-KWK oder Mini-BHKW)
Kleinst-KWK:	≤ 50 kW _{el} (evtl. Anhebung auf 150 kW _{el} im Rahmen der Novellierung des Energiewirtschaftsgesetzes)
Klein-KWK:	≤ 2000 kW _{el}
Große KWK	> 2000 kW _{el}

In dieser Broschüre liegt der Schwerpunkt auf KWK-Anlagen bis 150 kW_{el}. Diese Anlagen werden durchgängig als kleine KWK bezeichnet.

nik lassen sich diese vielen hocheffizienten und daher umweltfreundlichen Kleinanlagen virtuell zusammenschalten. Die Integration von erneuerbaren Energien ist dabei ebenfalls möglich. Derart vernetzte und modular angelegte Systembausteine können unser heutiges Energiesystem schrittweise nachhaltig modernisieren.

Die Gründe, in diese Richtung zu gehen und die KWK-Technik auszubauen, sind überzeugend: In Anlagen mit Kraft-Wärme-Kopplung wird die eingesetzte Primärenergie doppelt genutzt (siehe Seiten 5 und 6). Damit werden endliche Ressourcen geschont sowie ein wesentlicher Beitrag zu einem nachhaltigen Energiesystem geleistet. Eine konsequente Nutzung der erheblichen KWK-Potenziale ist ein wesentlicher Bestandteil, damit das aus Klimaschutzgründen unverzichtbare Ziel einer Reduktion der Kohlendioxid-Emissionen um 80 Prozent bis zum Jahr 2050 erreicht werden kann.

Über die Möglichkeiten, die kleine Kraft-Wärme-Kopplung zu nutzen, bestehen erhebliche Informationsdefizite. Gefördert wird die Kraft-Wärme-Kopplung durch das Gesetz für die Erhaltung, die Modernisierung und den Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung (KWKG, siehe Glossar S. 35).

Die nachfolgenden Kapitel sollen einen Überblick zu den Technologien, den wirtschaftlichen Möglichkeiten, den Auswirkungen auf die Umwelt sowie einen Ausblick in die Zukunft der kleinen KWK-Anlagen vermitteln.

DAS KLEINE EINMALEINS DER KRAFT-WÄRME-KOPPLUNG

Anlagen zur Kraft-Wärme-Kopplung gibt es in vielen Größenklassen, von einer Leistung mit einem Kilowatt (Tausend Watt) bis hin zu einigen Megawatt (Millionen Watt). Bei dieser großen Spannweite haben sich auch sprachliche Unterschiede – nicht nur in Fachkreisen – eingebürgert. So sind kleinere KWK-Aggregate besser unter der Bezeichnung Blockheizkraftwerke (BHKW) bekannt, größere Anlage werden als Heizkraftwerke bezeichnet. Die ganz kleinen Versionen solcher KWK-Systeme, die keine Nah- oder

Fernwärmenetze, sondern einzelne Objekte wie beispielsweise Ein- und Mehrfamilienhäuser, Hotels oder kleine Gewerbebetriebe versorgen, werden auch Mini-BHKW oder Mikro-KWK genannt. Solche Anlagen haben eine elektrische Leistung von nur einigen Kilowatt.

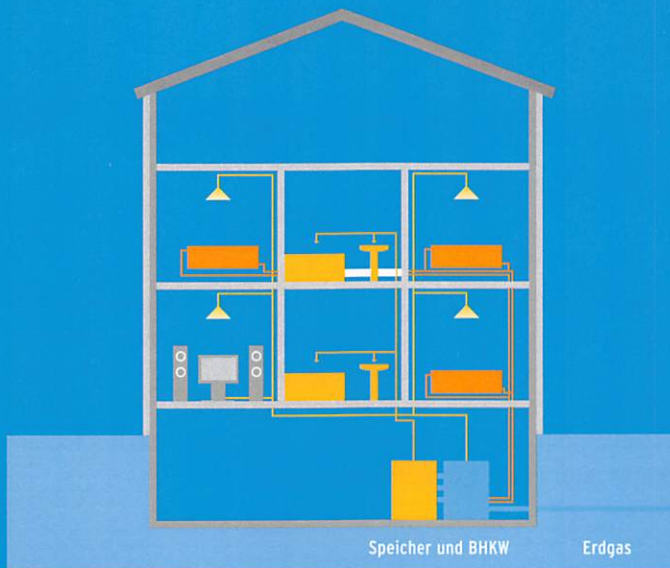
Ein kleines Blockheizkraftwerk wird in der Regel im Heizungsraum aufgestellt. Die Anlage ist hervorragend schallgedämmt, so dass die Bewohner eines Hauses oder die Gäste eines Hotels bei laufendem Betrieb nicht gestört werden. Als Brennstoff wird neben Diesel und Biogas vor allem Erdgas eingesetzt.

Die anfallende Abwärme wird über einen Wärmetauscher in den Heizkreislauf des Hauses eingespeist. Das Ziel ist, das kleine Kraftwerk möglichst viele Stunden des Jahres laufen zu lassen. Daher wird man es so klein dimensionieren, dass es nur eine gewisse Grundlast an Wärme liefert. Den restlichen Wärmebedarf, der beispielsweise an kalten Wintertagen oder bei starker Nachfrage nach Warmwasser entsteht, liefert meist ein Spitzenkessel, also ein ganz normaler Heizkessel.

Ein zusätzlicher Wärmespeicher erweist sich in vielen Fällen als sinnvoll, denn dann kann das BHKW auch laufen, wenn viel Strom, aber keine Wärme verbraucht wird: Strom und Wärme können also durch den Speicher in gewissen Grenzen entkoppelt werden.

Blockheizkraftwerke können auch für größere Leistungen ausgelegt werden. So lässt sich ihre Wärme nicht nur für ein einzelnes Haus, sondern für größere Objekte wie beispielsweise Altenheime, Schwimmbäder oder Krankenhäuser nutzen. Oder die Wärme wird in ein Nah- oder Fernwärmenetz eingespeist, mit dem viele Einzelhäuser oder Wohn- und Gewerbegebiete versorgt werden können. Je nach Bedarf ist es möglich, ein BHKW in ein vorhandenes Versorgungssystem zu integrieren (Beistellfunktion) oder es ermöglicht den Ersatz von Heizkesseln (Ersatzfunktion).

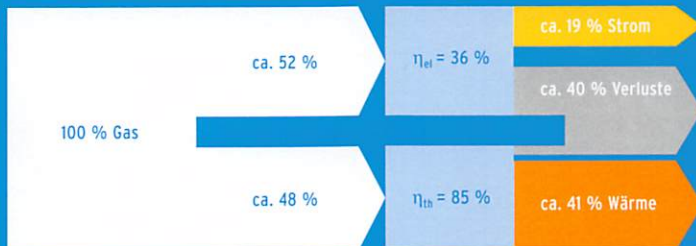
Solche Wärmenetze gibt es vielerorts. Mittlerweile können sie günstig verlegt werden. Eine gute Isolierung sorgt dafür, dass nur ein kleiner Teil der Wärme während des Transportes verloren geht – je nach Länge des Netzes, Dichte der Besiedlung und Dicke der Isolierung zwischen 3 und 20 Prozent.



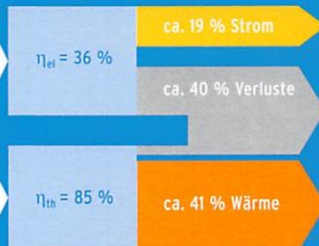
KRAFT-WÄRME-KOPPLUNG



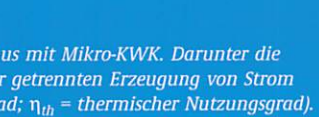
GETRENNTE ERZEUGUNG



STROMERZEUGUNG



WÄRMEERZEUGUNG



Der Keller wird zur Energiezentrale: ein Haus mit Mikro-KWK. Darunter die Energiebilanz eines BHKW im Vergleich zur getrennten Erzeugung von Strom und Wärme (η_{el} = elektrischer Nutzungsgrad; η_{th} = thermischer Nutzungsgrad).

KOMPATIBEL FÜR VIELE TECHNOLOGIEN: DAS MINIKRAFTWERK

Ob Ottomotor, Brennstoffzelle, Gasturbine, Stirling- oder Dampfmotor – das Zeug zum Minikraftwerk haben viele Technologien. Kommerziell verfügbar ist bislang allerdings nur der Ottomotor und die Gasturbine. Der Stirling-Motor steht an der Schwelle zur Marktreife, während für den Einsatz von Brennstoffzellen, Mikro-Dampfmaschinen und andere Technologien noch weitere Entwicklungsschritte notwendig sind.

Vergleich Kleiner KWK-Technologien (< 150 kW_{el})

Technologie	Elektrischer Leistungsbereich	Elektrischer Nutzungsgrad (%)	Gesamtnutzungsgrad (%)
Ottomotor	Ab 1 kW	20 – 35 ^{cl}	> 85
Stirling-Motor	0,8 kW bis 10 kW	10 – 24 ^{al}	> 85
Gasturbine	Ab 28 kW	16 – 30 ^{cl}	80 – 85
Brennstoffzelle	Ab 1 kW	28 – 35 (Hausheizungen) 40 – 50 (größere BHKW)	80 – 85
Dampfexpansionsmaschine	Mehrere kW	?	?

kW: Kilowatt (1.000 Watt), MW: Megawatt (1.000.000 Watt).

a) Je nach Stirling-Konzept b) je nach Brenner-Typ c) Je größer das BHKW, desto höher der Nutzungsgrad

Schadstoff-Emissionen

Brennstoff-Flexibilität

Marktverfügbarkeit

Abhängig von Katalysator /
Motortechnik, Alterung und
Wartung

Mittel

Kommerziell verfügbar

Sehr niedrig bis mittel ^{b)}

Hoch

An der Schwelle der
Markteinführung

Geringer als Motor

Mittel

Kommerziell verfügbar

Null (H₂) bzw. sehr gering
(Kohlenwasserstoffe)

Mittel

Feldtests, kommerziell
nach 2010 verfügbar

sehr niedrig

Hoch

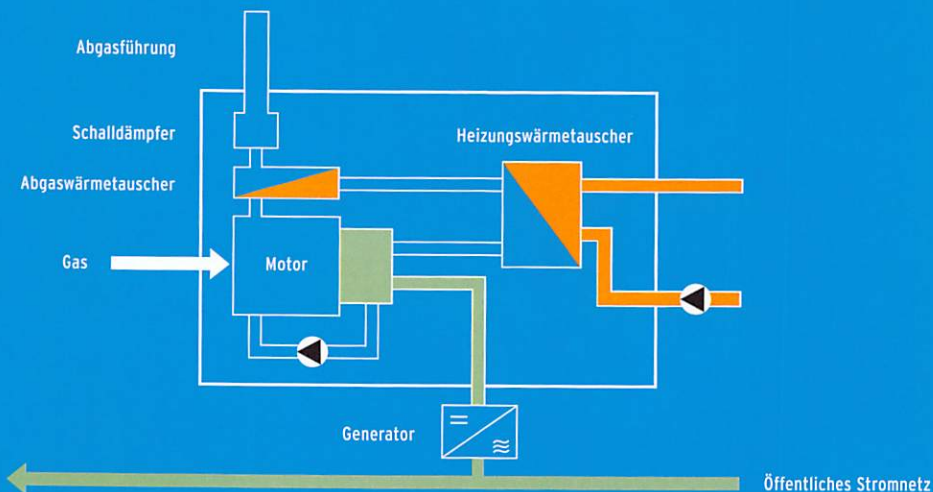
Forschungs- und
Entwicklungsstadium

VOM AUTO IN DEN KELLER: DAS MOTOR-BHKW

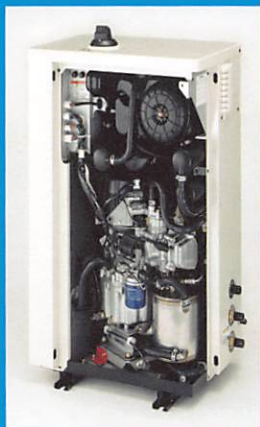
Motor-Blockheizkraftwerke sind nichts anderes als Otto- oder Dieselmotoren, wie wir sie vom Auto kennen. Allerdings sind sie an einem festen Platz montiert. Und der wichtigste Unterschied: Anstelle eines Fahrzeugs wird ein Generator angetrieben, der Strom erzeugt.

Im Ottomotor wird ein Brennstoff, zum Beispiel Erdgas, mit Luft gemischt und in einem Zylinder verdichtet. Diese Mischung wird dann mit einer Zündkerze zur Explosion gebracht. Die dabei freigesetzte Bewegungsenergie lässt sich nutzen, um den Generator anzutreiben. Die Wärme des Abgases, des Schmieröls und des Kühlkreislaufes wird mit Wärmetauschern an zirkulierendes Wasser abgegeben.

Im Mikro-KWK-Bereich ($< 15 \text{ kW}_{el}$) werden meistens einzylindrige Otto- oder Dieselmotoren eingesetzt. Sie können mit Erdgas und Heizöl betrieben werden. Auch der Betrieb mit Biogas, Biodiesel (Pflanzenölmethylester) und



Schema eines an das öffentliche Netz angeschlossenen Motor-Blockheizkraftwerkes.



Motor-Blockheizkraftwerke von klein bis groß.

ungeesterten Pflanzenölen wie beispielsweise Rapsöl ist prinzipiell möglich, allerdings ist der Einsatz von flüssigen Biobrennstoffen noch mit erhöhten Instandhaltungskosten verbunden. Um die Schadstoff-Emissionen der Motoren zu senken, sind Ottomotor-BHKW genau wie Fahrzeuge mit einem 3-Wege-Katalysator ausgerüstet oder werden mit Luftüberschuss im so genannten Magerbetrieb eingesetzt.

Der elektrische Nutzungsgrad dieser Mini-BHKW liegt in der Regel zwischen 20 und 27 Prozent. Der thermische Nutzungsgrad hängt davon ab, wie die Anlage in das Heizungsnetz eingebunden ist – etwa wie hoch die Rücklauf-temperaturen sind und ob eine Brennwertnutzung vorgesehen ist. Der gesamte Wirkungsgrad (Summe aus elektrischem und thermischem Nutzungsgrad) liegt bei den meisten Systemen zwischen 80 und 90 Prozent.

Motor-BHKW gibt es ab etwa 4 Kilowatt elektrischer und 12 kW Wärme-Leistung. Damit sind die kleinsten Systeme eher für Mehrfamilienhäuser und kleinere Gewerbebetriebe geeignet. Für den Einsatz im Einfamilienhaus ist ein kleiner Gasmotor mit lediglich einem Kilowatt Leistung in Entwicklung. Diese Anlage wird in Japan bereits in großer Stückzahl vermarktet. Wann dieses Mikro-BHKW auf den europäischen Markt kommt, ist noch offen.

ALTE TECHNOLOGIE NEU ENTDECKT: DER STIRLING-MOTOR

Heißes Gas expandiert, kaltes Gas zieht sich zusammen – auf diesem Prinzip beruht der Stirling-Motor. Wenn dieses Gas, beispielsweise Helium oder Stickstoff, in einem Behälter eingeschlossen wird und zwischen einem gekühlten und einem heißen Raum hin- und hergeschoben wird, kann durch die wechselweise Expansion und Kompression ein Kolben in Bewegung gesetzt werden. Die Bewegung des Kolbens wird in eine Drehung umgesetzt, mit der dann ein Stromgenerator angetrieben wird.

Der Stirling-Motor ist die älteste der KWK-Technologien. Stirling-Motoren, von dem schottischen Pfarrer Robert Stirling im Jahr 1816 patentiert, gelten als Hoffnungsträger der Motorentechnik, weil sie wegen der kontinuierlichen Verbrennung niedrige Emissionen aufweisen. Außerdem wird die Wärme zum Betrieb des Motors nicht durch Explosion eines Brennstoffes in einem Zylinder erzeugt, sondern von außen zugeführt. Daher ist es möglich, neben Erdgas auch Bio- und Solarenergie als Wärmequelle einzusetzen. Im 19. Jahrhundert trieben Stirlingmotoren Sägen, Spinnmaschinen, Ventilatoren, Kirchenorgeln und andere Maschinen an, bevor sie vom Verbrennungsmotor und von elektrischen Antrieben verdrängt wurden.

Auch wenn mittlerweile wieder eine Reihe von Firmen Stirling-Motoren entwickeln, ist der Stirling-Motor noch nicht so weit ausgereift wie der Otto- oder Dieselmotor. In Großbritannien läuft die Markteinführung für einen Stirlingmotor mit 800 Watt Dauerleistung – die ideale Größe für ein Einfamilienhaus. Zwar hat dieser Motor einen Gesamtnutzungsgrad von über 85 Prozent. Aber nur ein Zehntel der Brennstoffenergie wird in elektrischen Strom umgesetzt. Andere Hersteller setzen auf einen etwas anderen Typ von Stirlingmotor und erreichen so Nutzungsgrade von bis zu 24 Prozent. Bislang wurden diese Geräte nur in kleinen Stückzahlen verkauft.



Während der Whisper Gen der Firma Whisper Tech für das Einfamilienhaus gedacht ist, soll das BHKW von Solo (rechts) in größeren Objekten zum Einsatz kommen.

NOCH FORSCHUNGSBEDARF: DIE BRENNSTOFFZELLE

In Brennstoffzellen dreht sich kein Generator, stattdessen finden elektrochemische Prozesse statt. Brennstoffzellen nutzen die Energie der Reaktion von Wasserstoff und Sauerstoff zu Wasser. Anders als bei der explosionsartigen Knallgasreaktion verhindert aber eine Trennschicht, der Elektrolyt, dass der Wasserstoff direkt zum Sauerstoff gelangt und das Gasgemisch explodiert. Dieser Elektrolyt kann eine dünne Kunststoff-Membran sein, aber auch eine Karbonatschmelze, eine Säure, Lauge oder eine Keramik. Die Elektrolytmaterialien bestimmen auch die Betriebstemperatur.

Die Brennstoffzelle hat vor allem zwei Vorteile: zum einen den hohen elektrischen Nutzungsgrad, der bei den kleinen Systemen über 30 Prozent liegt und in großen Brennstoffzellen über 50 Prozent betragen kann. Zum zwei-

ten entstehen bei der elektrochemischen Reaktion keine Schadstoffe wie beispielsweise Stickoxide.

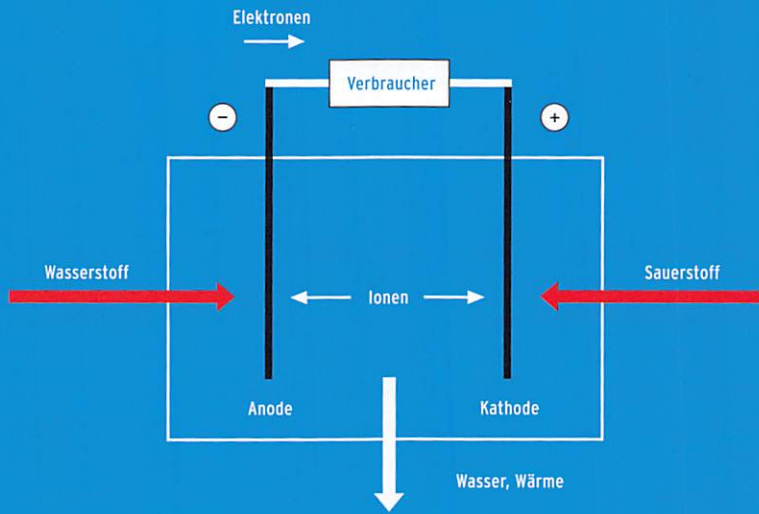
Allerdings gibt es noch eine Reihe offener technischer Fragen, so dass die Brennstoffzellen-Hersteller ihre ambitionierten Zeitpläne inzwischen verschieben mussten. Weitere Forschung und Entwicklung wird notwendig sein, bevor Brennstoffzellen zu erschwinglichen Preisen angeboten werden können. Brennstoffzellen-BHKW wird es daher erst im nächsten Jahrzehnt geben. Dennoch verfolgen verschiedene Hersteller, sowohl die großen Anlagenbauer als auch Heizkessel-Firmen, die Entwicklung von Brennstoffzellen.



Brennstoffzellen-BHKW sind derzeit in der Felderprobung, wie beispielsweise das BHKW der Schweizer Firma Sulzer (links), das eine Festoxid-Brennstoffzelle verwendet oder das Vaillant-System auf Basis einer Polymerelektrolyt-Brennstoffzelle (rechts).

Rechte Seite oben: Das Prinzip der Brennstoffzelle: durch "kalte Verbrennung" von Wasserstoff und Sauerstoff wird die chemische Energie des Wasserstoffs direkt in elektrischen Strom umgewandelt.

Rechte Seite unten: Im Bereich höherer Leistungen ist die Schmelzkarbonat-Brennstoffzelle der mtu CFC Solutions am weitesten entwickelt.



AUS GROSS MACH' KLEIN: DIE MIKROGASTURBINE

In Gasturbinen verbrennen flüssige oder gasförmige Brennstoffe bei hohem Druck. Die heißen Verbrennungsgase werden in einer Turbine entspannt. Die Energie des Gases wird also teilweise umgesetzt in die Drehbewegung der Turbinenwelle. Auf der gleichen Welle ist ein stromerzeugender Generator angeordnet. Das heiße, aber nicht mehr unter Druck stehende Verbrennungsabgas kann seine Restwärme schließlich an ein Wärmenetz abgeben. Gasturbinen erreichen wegen der kontinuierlichen Verbrennung niedrigere Emissionswerte als Otto- oder Dieselmotoren. Allerdings ist sowohl ihr elektrischer als auch der Gesamtnutzungsgrad kleiner als der gleich großer Verbrennungsmotoren.

Gasturbinen werden in verschiedenen Größenklassen produziert. Sie werden in großen Kraftwerken eingesetzt, oft zusammen mit einer Dampfturbine. Aber auch für kleine Leistungen gibt es sie. Die kleinste am Markt derzeit verfügbare Gasturbine hat 28 Kilowatt elektrischer Leistung und eignet sich damit auch für größere Gewerbebetriebe und andere Anwendungen. In diesem Leistungssegment gibt es jedoch in Deutschland nur wenige Anlagen und damit begrenzte Betriebserfahrung.

WEITERE TECHNOLOGISCHE OPTIONEN

Es gibt noch weitere Technologien, die für Mikro-KWK in Betracht gezogen werden. Einige Firmen arbeiten an einer innovativen Variante des Dampfmotors. In diesen Anlagen wird mit einem Brenner Dampf erzeugt und auf eine rotierende Entspannungsmaschine geführt.

Andere Firmen entwickeln eine neue Art der Solarzelle: Die Solarzelle wird so modifiziert, dass sie nicht nur bei der hochenergetischen Sonneneinstrahlung

lung funktioniert, sondern bereits bei der langwelligen Wärmestrahlung. Man umgibt einen Brenner mit diesen Solarzellen und erhält dadurch Strom und Wärme.

Diese und auch weitere Ideen für Mikro-KWK-Anlagen sind jedoch noch nicht im Feldtest erprobt, so dass es noch einige Zeit dauern wird, bevor die Technologien auf den Markt kommen. Wichtig ist allerdings: Neue innovative Techniken lassen sich auch für die Mikro-KWK nutzen, was ihre Einsatzmöglichkeiten in Zukunft erhöhen wird.



DAS A UND O: DIE WIRTSCHAFTLICHKEIT

Ausschlaggebend für den wirtschaftlichen Betrieb der kleinen KWK-Anlagen ist deren jährliche Laufzeit. Dabei gilt folgende Regel: Je mehr Betriebsstunden die Anlage läuft, desto mehr verteilen sich die Investitionskosten auf größere Strom- und Wärmemengen – sprich die Erzeugungskosten sinken.

Die Laufzeit ist vor allem von der Auslegung der Anlage und von der Wärmenachfrage des Objektes abhängig. Je mehr Wärme auch in den Sommermonaten verbraucht wird, beispielsweise durch warmes Wasser zum Duschen und Baden oder durch Nutzung von Prozesswärme, desto länger und damit wirtschaftlicher läuft das BHKW-Aggregat.

Wichtig dabei ist vor allem, dass die Anlage nicht zu groß dimensioniert wird, weil dann überschüssige Wärme anfällt oder die Anlage abgeschaltet werden müsste. Als Faustformel gilt, dass die thermische Leistung des Klein-BHKW 10 bis 15 Prozent der benötigten Wärmeleistung des zu versorgenden Objektes betragen sollte, um eine hohe Laufzeit von jährlich mehr als 5.000 Stunden zu ermöglichen.

Um Schwankungen bei der Wärmenachfrage zu vermeiden, können benachbarte Gebäude gemeinsam an ein BHKW angeschlossen werden. Dabei kann auch ein Wärmespeicher Nachfrageschwankungen in gewissem Grad auffangen und als Puffer dienen. Die Erzeugung von Kälte mit einer Sorptionskälteanlage ist bei bestimmten Anlagen und gegebener Nachfrage ebenfalls möglich. Das steigert die Auslastung der Anlage vor allem in den Sommermonaten.

Das Ziel des Anlagenkonzeptes für einen typischen Haushalt sollte es bei den gegebenen Rahmenbedingungen sein, möglichst wenig Strom in das öffentliche Netz einzuspeisen. Denn jede selbst produzierte Kilowattstunde erspart dem Haushalt derzeit mehr als 15 Cent. Speist der private Anlagenbetreiber Strom aus seinem BHKW ins öffentliche Stromnetz ein, erhält er trotz eines im Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz (KWKG) verankerten Ökobonus kaum die Hälfte dafür: Für eingespeisten Strom aus kleinen KWK-Anlagen (unter 50 kW elektrischer Leistung) und für Brennstoffzellen-

Anlagen wird ein Zuschlag von 5,11 Cent je eingespeister Kilowattstunde gezahlt, der zudem über zehn Jahre ab Inbetriebnahme auf diesem Niveau verbleibt.

Derzeit müssen die Netzbetreiber neben diesem Ökobonus außerdem mindestens den durchschnittlichen Strompreis an der Leipziger Börse (Base Load) als "üblichen Preis" und einen Obolus für vermiedene Netznutzung gewährleisten. Insgesamt ergibt sich für kleine Anlagen eine Vergütung von etwa 8 ct/kWh. Daneben gibt es noch eine weitere 'Einnahmequelle': Wer in seinem BHKW erneuerbare Energien als Brennstoff nutzt, kann außerdem eine Vergütung nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) bekommen.

Die Wirtschaftlichkeit der dezentralen Anlagen hängt also von mehreren Faktoren ab: Zum einen von den Betriebsstunden im Jahr, der Abwägung zwischen der Lukrativität der Eigenverbrauchsdeckung inklusive Fremdbezug sowie der Einspeisung ins öffentliche Netz und den zuvor genannten Einnahmen.

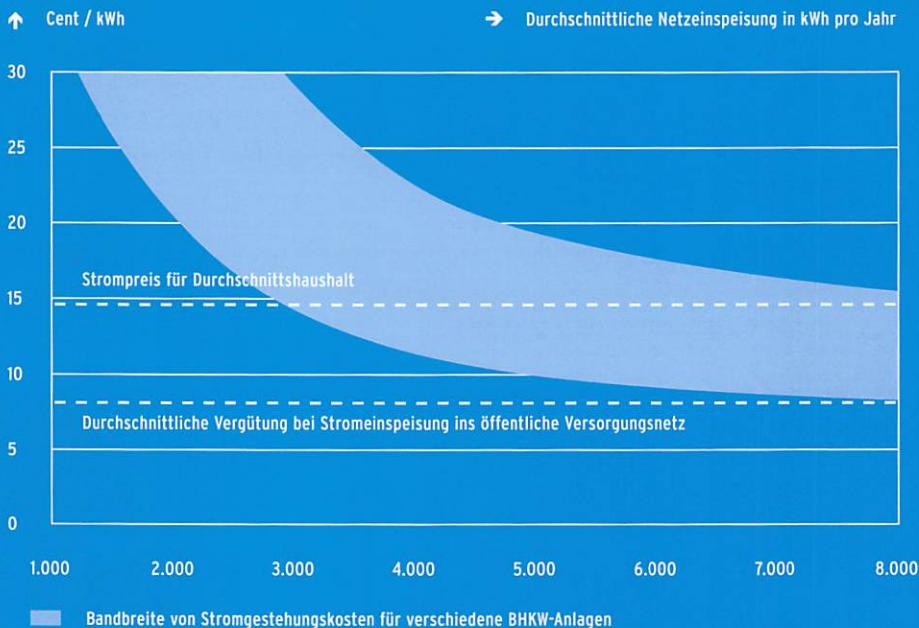
Neben dem Einsatz für den privaten Haushalt liegt ein hohes wirtschaftliches Potenzial insbesondere im gewerblichen Bereich. Beispiele dafür werden im nachfolgenden Kapitel gegeben.

Kleine KWK-Anlagen werden überwiegend anschlussfertig angeliefert. Dadurch reduziert sich der Montageaufwand ganz erheblich. Ein Voll-Wartungsservice sichert die Betriebssicherheit in hohem Maß und gewährleistet die gewohnte Behaglichkeit.

Contracting-Modelle machen den Einsatz von Klein-KWK-Anlagen noch attraktiver und einfacher für den Nutzer. Meistens werden BHKW als Komplettleistung aus einer Hand einschließlich der Finanzierung und des Betriebs angeboten.

APROPOS WIRTSCHAFTLICH...

Immer mehr Kommunen und Länderregierungen unterstützen mit Förderprogrammen die Installation von Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen. Informationen über Art und Umfang der jeweiligen Unterstützung sind in der Regel bei der Stadtverwaltung oder über den zuständigen Energieversorger erhältlich. Außerdem bietet die Internetseite www.energiefoerderung.info einen Überblick zu allen Förderprogrammen an.



Je länger die Anlage arbeitet, desto geringer die Stromerzeugungskosten: Wirtschaftlichkeit der kleinen Kraft-Wärme-Kopplung.

DIE VERNETZTE KRAFTWERKSWELT VON MORGEN

Mit zunehmendem Fortschritt der Informations- und Kommunikationstechnologien eröffnen sich neue Möglichkeiten für dezentrale Energieanlagen. Angefangen von Fernüberwachung auf E-Mail- oder SMS-Signal über umfangreiche, webgestützte Datenerhebung bis hin zur Fernwartung und zum vernetzten Kraftwerk mit automatischem Börsenanschluss ist vieles denkbar.

Schon heute bieten einige Hersteller Schnittstellen an, die eine Fernkontrolle der Systeme ermöglichen. Auch selbst lernende Systeme werden eingesetzt; die Steuerung merkt sich beispielsweise, wann bevorzugt Strom nachgefragt wird, und verschiebt die Auffüllung des Wärmespeichers in diese Zeiten. Damit kann der kostspielige Bezug von Strom aus dem öffentlichen Netz minimiert werden. Ein solches klug gesteuertes Kleinkraftwerk fügt sich in den Trend zum "smarten Haus" ein. Das Klein-BHKW wird zur kleinen Energiemanagement-Zentrale.

Damit nicht genug: Die Vielzahl kleiner Kraftwerke – Blockheizkraftwerke, aber auch Anlagen, die regenerative Energien nutzen – kann durch die Kommunikationstechnologie so mit einem zentralen Steuersystem vernetzt werden, dass die Systeme wie ein einziges Kraftwerk betrieben werden können. Für ein solches Zusammenspiel hat sich mittlerweile der Begriff "virtuelles Kraftwerk" eingebürgert. Die zentrale Steuereinheit weiß zu jedem Zeitpunkt, welches Kraftwerk wie viel Strom und Wärme produziert, welche Wärmespeicher schon voll sind, aber auch, wie viel Nachfrage nach Strom es gibt und sogar, welche Vorhersage für Wind- oder Solarstrom der Wetterdienst macht. Und dieses mit einem hohen Maß an Versorgungssicherheit.

Durch ein solches Energiemanagementsystem erhöht sich der energiewirtschaftliche Nutzen dezentraler Energieanlagen und auch regenerativer Energien, weil Angebot und Nachfrage besser aufeinander abgestimmt werden können. Allerdings sind solche "virtuellen Kraftwerke" heute noch Zukunftsmusik. Doch wird in mehreren nationalen und internationalen Pilotprojekten zu diesem Thema und zur Umsetzbarkeit intensiv geforscht.

DAS GROSSE PLUS: DER ÖKOLOGISCHE BONUS

Eine neue Technologie muss sich nicht nur ökonomisch durchsetzen, sie muss zugleich Umweltvorteile gegenüber bestehenden Technologien bieten. Jedes Energiesystem greift in unser Ökosystem ein, sei es bei der Gewinnung der Energierohstoffe, beim Bau des Kraftwerkes oder während des Betriebs. Es sind also nicht nur die umweltschädigenden Stoffe zu bewerten, die unmittelbar aus dem Schornstein der Anlage kommen. Wichtig ist es vielmehr, alle entlang des Lebensweges entstehenden Umwelteffekte zu betrachten.

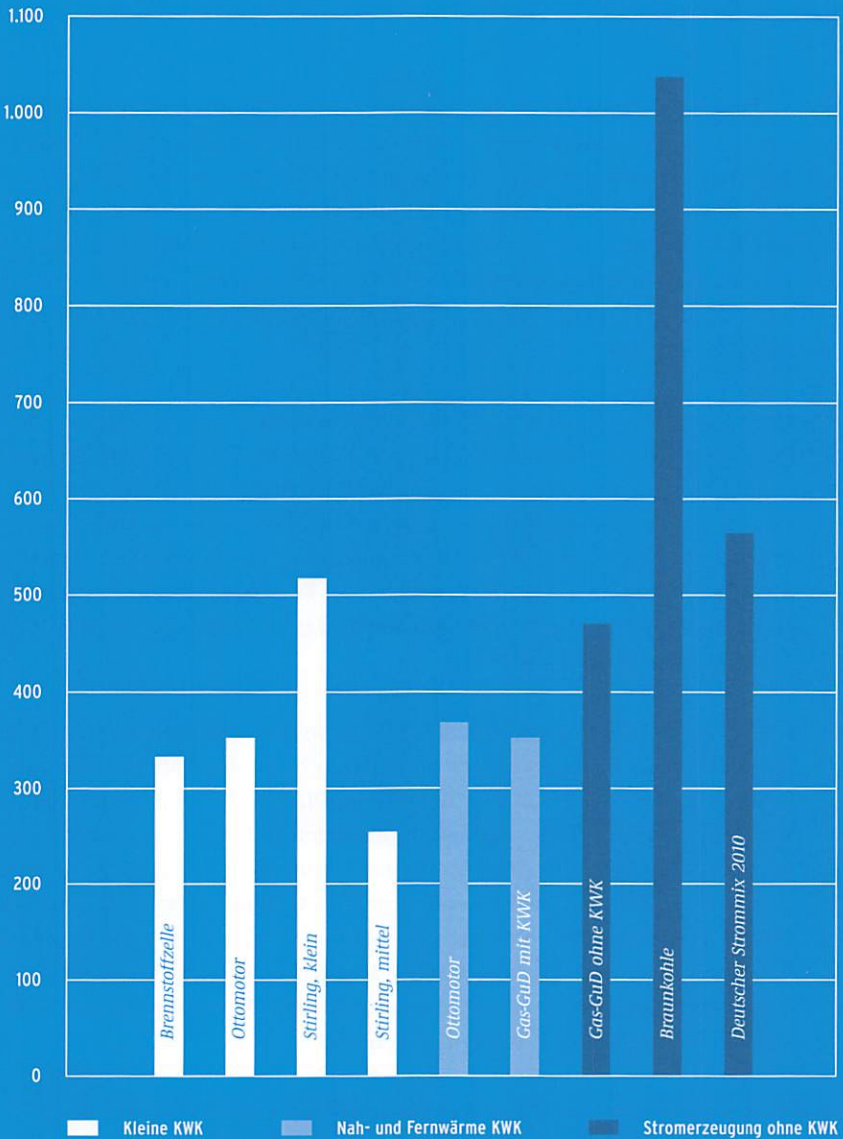
Blockheizkraftwerke werden überwiegend mit Erdgas betrieben; kleinere Systeme auch mit Heizöl. Auch der Einsatz von Biogas, Gasen aus Deponien und Kläranlagen sowie Holzgas gewinnt an Bedeutung.

Aus Klima- und Ressourcensicht ist der Einsatz von erneuerbaren Energieträgern zur Kraft-Wärme-Kopplung der Königsweg. Gerade für kleine Systeme, die für die Hausenergieversorgung eingesetzt werden, ist die Nutzung erneuerbarer Energien zukünftig möglich. Darüber hinaus werden auch kleine Holzvergaser, Rapsöl-Systeme für Ottomotoren, Holzpellet-Brenner sowie Sonnenspiegel für Stirlingmotoren für einen breiten Einsatz entwickelt.

Es stellt sich daher die Frage, ob gerade die kleine KWK auch bei Einsatz von Erdgas als Brennstoff Vorteile bietet. Dabei ergibt sich noch eine methodische Besonderheit. Systeme mit Kraft-Wärme-Kopplung erzeugen nicht nur Strom, sondern auch Wärme. Das ist ja einer der wesentlichen Vorteile der Kraft-Wärme-Kopplung.

Soll die Stromerzeugung aus der Kraft-Wärme-Kopplung mit der in einem Großkraftwerk ohne Wärmenutzung verglichen werden, muss ein Modus gewählt werden, der die Vergleichbarkeit überhaupt zulässt. Zwei Varianten sind möglich: Entweder man teilt die Umweltwirkungen auf die Produkte Strom und Wärme auf. Oder man subtrahiert die Umweltwirkungen, die man sonst durch die Wärmebereitstellung verursacht hätte, von den Gesamtemissionen. Das heißt, es wird unterstellt, das KWK-System ersetzt einen konventionellen Kessel, der sonst zur Wärmeerzeugung eingesetzt worden wäre.

↑ Treibhausgase (g CO₂-Äquivalent / kWh_{el})



Klimabilanz der zukünftigen Stromerzeugung mit kleinen Kraft-Wärme-Kopplungs-Systemen im Vergleich. Die gleichzeitige Wärmeerzeugung wird mit einer Gutschrift berücksichtigt. Die Balken zeigen Durchschnittswerte (GuD: Gas- und Dampfturbinenkraftwerk, KWK: Kraft-Wärme-Kopplung, Stirling klein: 850 W_{el}, Stirling mittel: 3 – 10 kW_{el}).

Bei solchen Ökobilanzen ergibt sich für die kleine KWK im Vergleich zur Stromerzeugung in Großkraftwerken und zur Wärmeerzeugung in Gaskesseln insgesamt eine vorteilhafte Energie- und Klimabilanz (siehe Grafik). Gegenüber einem modernen Gas- und Dampfturbinenkraftwerk (GuD) können die Treibhausgase für all die Technologien, die hohe Gesamtnutzungsgrade aufweisen, um 20 bis 30 Prozent reduziert werden. Im Vergleich zum deutschen Kraftwerkspark oder gar einem Braunkohlekraftwerk ist die Einsparung noch höher.

Dabei ist es vergleichsweise egal, ob die Systeme einzeln in den Objekten betrieben werden oder ob sie ihre Wärme in Nah- oder Fernwärmenetze einspeisen. Denn größere Systeme, wie sie für Wärmenetze eingesetzt werden können, weisen in der Tendenz höhere Nutzungsgrade auf. Dafür geht Wärme auf dem Transportweg durch das Wärmenetz verloren. Welche der KWK-Technologien die größten Klima- und Energievorteile bietet, lässt sich nicht so eindeutig sagen. Vielmehr hängt das Ergebnis vor allem vom Gesamtnutzungsgrad ab.

Neben den Klima- und Energievorteilen gibt es weitere Umwelteinwirkungen. Beispielsweise entstehen unterschiedliche Schadstoffe während des Verbrennungsvorgangs im Motor. In Otto- und Dieselmotoren werden bei der Verbrennung Stickoxide produziert, die unter anderem zu saurem Regen oder zur Überdüngung ("Eutrophierung") von Böden und Gewässer beitragen können. Im Vergleich zu einem großen Gaskraftwerk kann es daher zu Mehremissionen kommen – nicht jedoch im Vergleich zu Kohlekraftwerken oder dem deutschen Kraftwerkspark. Modernste Motortechnologie und Abgasreinigungsverfahren sowie eine sorgfältige Wartung können diese Emissionen außerdem beträchtlich senken.

Brennstoffzellen stoßen hingegen fast keine solcher Emissionen aus, und der kontinuierliche Verbrennungsvorgang von Stirling-Motoren kann – in so genannten "flammenlosen Brennern" – so optimiert werden, dass sie ebenfalls eine ausgezeichnete Emissionsbilanz haben.

DIE EINSATZGEBIETE FÜR KLEINE KWK

Als Nutzer und Betreiber von kleinen KWK-Anlagen kommen sowohl Privatleute als auch Betriebe, Kommunen sowie Energieversorger in Frage.

Kleine KWK-Anlagen rechnen sich vor allem in Objekten, die gleichzeitig und möglichst gleichmäßig über das Jahr verteilt Wärme und Strom brauchen. Denn ökonomisch lebt eine kleine KWK-Anlagen vor allem davon, dass der bei Deckung des Wärmebedarfs erzeugte Strom den teuren Bezug aus dem öffentlichen Netz verdrängt.

Die typischen Einsatzobjekte von kleinen KWK-Anlagen sind:

- › Größere Ein- und Zweifamilienhäuser
- › Mehrfamilienhäuser
- › Nahwärmeversorgung von Reihenhäusern
- › Hotels und Gaststätten sowie Tagungsstätten
- › Gewerbebetriebe (Supermärkte, Bäckereien, Metzgereien,...)
- › Hallenbäder
- › Sportstätten oder Schulen mit Sporteinrichtungen
- › Krankenhäuser
- › Altenheime
- › Verwaltungsgebäude

Eine kleine KWK-Anlage kann nicht nur in Neubauten, sondern auch in das bestehende Heizungssystem von vorhandenen Gebäuden eingebunden werden.

Kleine KWK-Anlagen gibt es für ein Ein- bis Zweifamilienhaus mit einer elektrischen Leistung von 1 – 3 kW und einer thermischen Leistung für die Heizung von bis zu 7 kW. Bei Mehrfamilienhäusern und kleineren Gewerbebetrieben bieten sich Anlagen von 5 kW elektrischer Leistung an. Größere Anlagen mit mehr als 10 kW elektrischer Leistung, die sich für größere Betriebe oder Nachwärmenetze eignen, gibt es in zahlreichen Varianten.

BEISPIELE FÜR DEN EINSATZ KLEINERER BLOCKHEIZKRAFTWERKE

a) Mehrfamilienhäuser

Mehrfamilienhäuser und Wohnanlagen eignen sich insbesondere dann, wenn der Warmwasserbedarf über ein Zentralheizungssystem gedeckt wird, der erzeugte Strom weitgehend im Objekt genutzt werden kann und somit den relativ teuren Strombezug aus dem öffentlichen Netz ersetzt.

Im einfachsten Fall wird das BHKW neben den Heizkessel gestellt. Die Einbindung in die Heizung wird so ausgeführt, dass bei Bedarf ein Betrieb wie bisher, also ohne das BHKW, möglich ist.

Der Ersatz des Heizkessels durch ein BHKW ist technisch möglich. Um beim häufigen Ein- und Ausschalten des BHKW schnelleren Verschleiß von Teilen zu vermeiden und den Wärme- und Stromverbrauch zeitlich zu entkoppeln, kann durch den Einbau eines Heizwasserspeichers (Pufferspeicher) die Schalthäufigkeit verringert und damit die Zeit zwischen den Schaltvorgängen verlängert werden.

Im hessischen Rossdorf hat man drei Gebäudeteile eines Mehrfamilienhauses, die jeweils eine eigene Heizzentrale hatten, über eine Nah-Wärmeleitung verbunden und an ein Mini-BHKW angeschlossen. Das BHKW kommt auf immerhin 7000 Betriebsstunden im Jahr. Mit seinen 5,5 Kilowatt elektrischer Leistung deckt es über die Hälfte des Jahresstromverbrauchs und 80 Prozent der benötigten Wärme für die zehn Wohneinheiten ab. Die zehn Mietparteien kündigten den Vertrag mit ihrem bisherigen Stromversorger und werden nun mit dem Strom aus dem BHKW versorgt. Nur der restliche, nicht vom BHKW erzeugte Strom wird noch zugekauft.

b) Hotels

Die Geschäftsführung eines Hotel in Rimbach (Odenwald) hatte sich im Jahr 2000 entschlossen, die Heizungsversorgung und Warmwasserbereitung auf

ein erdgasbetriebenes Klein-BHKW umzustellen. Die Anlage erzeugt seit Inbetriebnahme mit seinen durchschnittlich 4.400 Betriebsstunden im Jahr rund 55.500 kWh Wärme und deckt damit ein Drittel des Wärmebedarfs ab.

Dabei werden gleichzeitig etwa 21.000 kWh Strom erzeugt, die komplett im Hotel mit angeschlossenem Restaurant verbraucht werden und so etwa ein Viertel des Jahresstromverbrauchs decken. Dabei wurde auch ein Darlehen des Programms zur CO₂-Minderung der Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) in Anspruch genommen. Würde dieses BHKW heute installiert, so ergäbe sich ein jährlicher Gewinn von knapp 900 Euro. Nach sieben Jahren hätte sich das Aggregat heute amortisiert. Mit der Anlage werden die CO₂-Emissionen um etwa 9,5 t reduziert.

c) Sporthalle

Im November 1998 entschied der Berliner Verein Zehlendorfer Wespen e.V., ein neues Tennis- und Hockeycenter zu bauen. Der Neubau umfasste: eine Tennishalle mit Grasdach, ein Hallenbad mit Sauna, Sportplätze für Tennis und Hockey, Umkleieräume, Duschen, Restaurant, eine Küche, den Verwaltungsbereich sowie eine Hausmeisterwohnung.

Den Neubau nutzte der Sportverein, zwei BHKW-Module mit einer modulierbaren elektrischen Leistung von 5 bis 14 kW für die energetische Versorgung des Trainingscenters einzubauen. Die Anlage kommt auf eine jährliche Laufzeit von 5.640 Stunden pro Modul. Dabei erzeugt sie insgesamt knapp 136.000 kWh elektrische und über 320.000 kWh thermische Energie.

Der Nutzen für die Umwelt: Gegenüber der herkömmlichen getrennten Erzeugung von Strom und Wärme verringert diese Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlage den Ausstoß des Treibhausgases CO₂ um 121 t pro Jahr.

Wesentlich wichtiger für den Betreiber ist die finanzielle Bilanz: Bei einer Modullaufzeit von 15 Jahren ergibt sich eine jährliche Betriebskostensparnis von 13.900 Euro. Das heißt, die kleine KWK-Anlage hat sich in etwas mehr als fünf Jahren amortisiert.

DAS GROSSE POTENZIAL DER MINI-KWK

Das Potenzial für einen massiven Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung ist hierzulande vorhanden. Verschiedene Studien haben die Chancen von Kraft-Wärme-Kopplung in Deutschland untersucht und sind zu einem ähnlichen Schluss gekommen:

Aus technischer, ökologischer und ökonomischer Sicht wäre ein deutlicher Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung möglich und sinnvoll. Eine Vervierfachung der heutigen Stromerzeugung aus Kraft-Wärme-Kopplung ist technisch und wirtschaftlich machbar, sowohl im Bereich der industriellen Kraft-Wärme-Kopplung, aber insbesondere auch im Bereich der Nah- und Fernwärme und der Versorgung von tausenden kleinerer Objekte.

Nach der Liberalisierung des Strommarktes im Jahr 1998 und des danach einsetzenden Verfalls der Strompreise konnten viele Kraft-Wärme-Kopplungs-Projekte nicht mehr wirtschaftlich realisiert werden. Dieser Trend kehrt sich erst allmählich um: die Brennstoffpreise ziehen an, der vor kurzem eingeführte Emissionshandel belastet Kohlekraftwerke stärker als Gaskraftwerke oder Kraft-Wärme-Kopplung, und die künftige Regulierungsbehörde im Strommarkt könnte dafür sorgen, dass auch die positiven Auswirkungen der Kraft-Wärme-Kopplung auf das Stromnetz – beispielsweise eine Netzentlastung – honoriert werden.

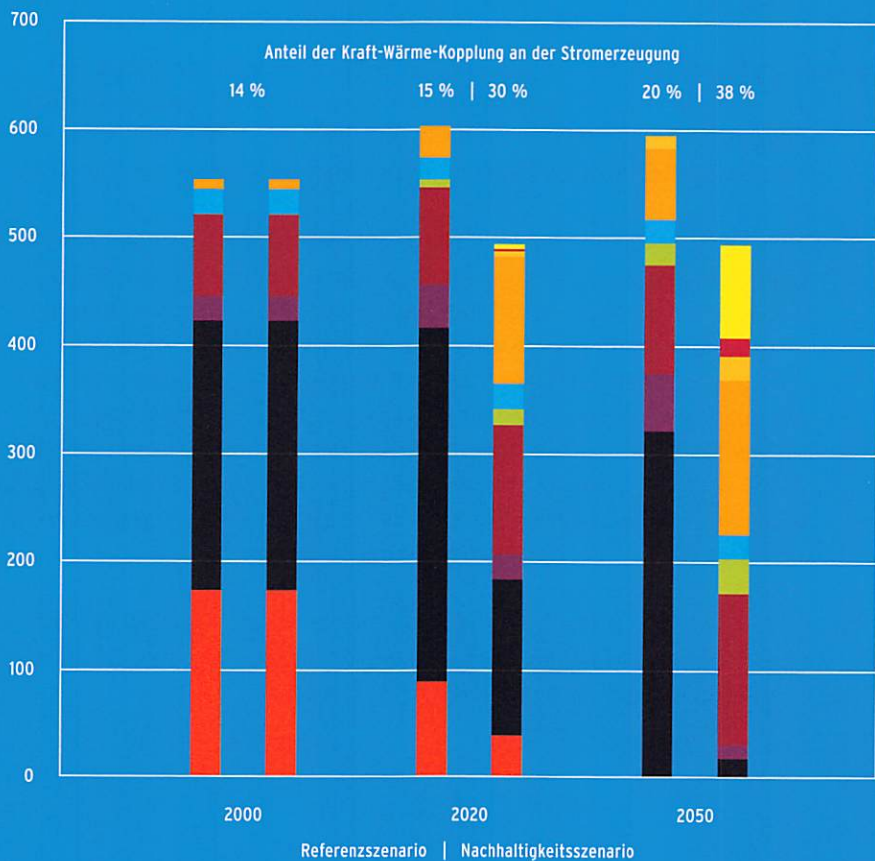
Dennoch ist der Erfolg der Kraft-Wärme-Kopplung nicht automatisch gegeben. Notwendig sind sowohl die Fortentwicklung der Rahmenbedingungen, eine zielorientierte und umfassende Information aller relevanten Akteure und ein entsprechendes Investitionsverhalten.

Die Potenziale für die Kraft-Wärme-Kopplung werden in einem Vergleich dargestellt (siehe Grafik S. 31). Dabei wird in einem Referenzszenario (Fortbeschreibung der bisherigen Entwicklung) ein Nachhaltigkeitsszenario gegenübergestellt, in dem das Klimaschutzziel – Reduktion der Kohlendioxid-Emissionen um 80 Prozent bis zum Jahr 2050 – erreicht wird.

Dieses Klimaschutzziel ist Ergebnis der Klima-Enquête-Kommission 1994 und wurde von der Enquête-Kommission "Nachhaltige Energieversorgung unter

Bruttostromerzeugung in TWh/a

Jahr



den Bedingungen der Globalisierung und der Liberalisierung“ 2002 bekräftigt.

In dem Nachhaltigkeitsszenario (Studie “Ökologisch optimierter Ausbau der Nutzung erneuerbarer Energien in Deutschland” im Auftrag des Bundesumweltministerium erstellt von DLR, ifeu, WI von 2004) wird nachgewiesen, dass das langfristige Klimaschutzziel wirtschaftlich zu erreichen ist.

Obwohl der Wärmebedarf in diesem Nachhaltigkeitsszenario deutlich zurückgeht – innerhalb von 50 Jahren kann er durch energieoptimierte Neubauten und hohe Sanierungsraten halbiert werden – kann das Einsatzspektrum der dezentralen KWK-Technologien erweitert werden. Anders als im Referenzszenario, in dem Kraft-Wärme-Kopplung nicht gefördert wird und daher nur wenig an Bedeutung gewinnt, können KWK-Anlagen im Nachhaltigkeitsszenario knapp 40 Prozent des Strombedarfs und gut ein Viertel des Wärmebedarfs decken. Bei einem durchaus möglichen höheren Anteil von Bioenergie kann die KWK nochmals an Bedeutung gewinnen. Die erforderlichen Wärmepotenziale sind vorhanden.

Eine forcierte Nutzung der vorhandenen Potenziale im Bereich der Kraft-Wärme-Kopplung ist eine wesentliche Voraussetzung, um die mittel- und langfristigen Klimaschutzziele zu erreichen.

FAZIT UND AUSBLICK

Die Zukunft der kleinen Kraft-Wärme-Kopplung ist weniger eine Frage des "technischen Potenzials" – das heißt, der Wärmenachfrage, der Gebäudestruktur und anderer Faktoren –, sondern der Rahmenbedingungen und des Verhaltens der beteiligten Akteure. Die Technologien dafür sind vorhanden und werden kontinuierlich fortentwickelt. Für einen wirtschaftlichen Einsatz sind die Motoren-BHKW derzeit am weitesten. Eine lange Lebensdauer, ein hoher Nutzungsgrad und ein wartungsarmer Betrieb sorgen in günstigen Einsatzfällen für eine Amortisation oft schon nach etwa vier bis fünf Jahren.

In Zukunft werden weitere Technologien dazu kommen: Stirlingmotoren, Mikro-Gasturbinen, später Brennstoffzellen und Dampfexpansionsmaschinen. Der lebhafte Technologiewettbewerb wird den KWK-Markt sicherlich stimulieren. Aber auch die Energie- und Ökobilanz ist den anderen fossilen Wegen der Energiebereitstellung überlegen, denn die Energie wird doppelt genutzt: Strom und Wärme kann gleichzeitig direkt am Ort bereitgestellt und genutzt werden. Kleine KWK-Anlagen bieten Chancen sowohl für die Anlagenutzer und Betreiber als auch für Anbieter von Anlagen und neuer Dienstleistungen (Finanzierung, Betriebsführung, Wartung und Contracting) – also einen Markt für bisherige, aber auch neue Akteure.

Vom Nischen-Dasein zur breiten Anwendung

Die deutschen Anlagenbauer sind im Bereich der kleinen KWK weltweit führend. Hierzulande wurde im Jahre 1996 das erste serienmäßig gefertigte Mini-BHKW auf den Markt gebracht. Und auch bei den neuen Technologien bestimmen deutsche Firmen die Entwicklung.

Das Energiewirtschaftsgesetz (EnWG) wird derzeit novelliert. Mit dem Gesetz wird die EU-Binnenmarkt-Richtlinie für Strom umgesetzt. Wesentliche Marktregeln für den Netzzugang werden verbindlich vorgegeben und die Regulierungsbehörde für Telekommunikation und Post (RegTP) wird mit

der Regulierung beauftragt. Diese hat unter anderem für einen nicht diskriminierenden Netzzugang zu sorgen, um einen wirksamen und unverfälschten Wettbewerb zu ermöglichen. Außerdem erfolgt ein Monitoring des Kraft-Wärme-Kopplungsgesetzes (KWKG). Ferner soll gemäß der EU-Gebäuderichtlinie (Artikel 5) bei neuen Gebäuden (größer 1.000 m²) der Einsatz von Kraft-Wärme-Kopplung geprüft werden.

Flankiert werden diese wichtigen Gesetze durch Fördermaßnahmen, beispielsweise von der Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW), die die private Anschaffung von Klein-BHKW zur Heizungserneuerung im Rahmen ihres CO₂-Gebäudesanierungsprogramms mit zinsgünstigen Krediten unterstützt, oder die Programme von Ländern und Kommunen (siehe www.energiefoerderung.info). Für Gewerbebetriebe lohnt sich das Leasing der Anlagen, da die Leasingraten teilweise aus Mineralölsteuer-Rückerstattung, Stromerzeugung und -verkauf sowie steuerlichen Abschreibungen getilgt werden können.

Die Vision ist, dass künftig unter anderem in Wohngebäuden, Neubaugebieten und Gewerbebetrieben verstärkt Kraft-Wärme-Kopplung zur Energieversorgung eingesetzt wird.

Tun wir es!

GLOSSAR

BHKW, Blockheizkraftwerk

kompakte -> *KWK-Anlage*, die gleichzeitig Strom und Wärme erzeugt, meist auf Basis eines Otto- oder Dieselmotors. Aber auch Brennstoffzellen und Stirlingmotoren können eingesetzt werden.

Brennstoffzelle

Elektrochemischer Energiewandler, der die Energie eines Brennstoffs ohne heiße Flamme in Strom und Wärme umwandelt.

Brennwertnutzung

Die Kondensationswärme des bei der Verbrennung entstehenden Wasserdampfs im Abgas wird durch Abkühlung in flüssiges Wasser umgewandelt und die dabei freiwerdende Kondensationswärme für das Heizungssystem genutzt.

Energiewirtschaftsgesetz

Zweck des Gesetzes ist eine möglichst sichere, preisgünstige und umweltverträgliche leitungsgebundene Versorgung mit Elektrizität und Gas im Interesse der Allgemeinheit.

Fernwärme -> Nahwärme

Gas- und Dampfkraftwerk (GuD)

Effiziente Kraftwerkstechnologie, bei der eine Gasturbine und eine Dampfturbine zusammenschaltet werden. Damit können hohe elektrische Nutzungsgrade erzielt werden.

Kilowatt

1000 Watt, Einheit für Leistung, 1 Watt entspricht 1 Joule pro Sekunde.

KWK

Kraft-Wärme-Kopplung: gleichzeitige Erzeugung von Strom und Wärme

KWK-Gesetz

Gesetz für die Erhaltung, die Modernisierung und den Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung (KWKG). Wesentliche Eckpunkte sind: Minderung der jährlichen Kohlendioxid-Emissionen bis zum Jahr 2005 um 10 Mio. t und bis zum Jahr 2010 mindestens um 20 Mio. t; Netzbetreiber sind verpflichtet KWK-Anlagen anzuschließen, KWK-Strom abzunehmen und marktgemäß zu vergüten; Förderung von eingespeisten KWK-Strom ins Netz der öffentlichen Versorgung durch degressive, befristete Zuschlagszahlungen (Bonus-Modell); Es gelten erhöhte Fördersätze für die Modernisierung bestehender KWK-Anlagen und für den Zubau kleiner dezentraler KWK-Anlagen sowie Brennstoffzellen-Anlagen (Modernisierungsförderung).

Mikro-KWK

Kleine BHKW-Systeme oder andere KWK-Systeme, die ein einzelnes Objekt mit Strom und Wärme versorgen. Mikro-KWK-Systeme haben i. d. R. eine elektrische Leistung unter 15 Kilowatt.

Mini-BHKW

-> *Mikro-KWK*

Nahwärme

Nahwärmenetze sind Wärmeleitungen, die die Wärme aus einem großen Kessel oder einer → *KWK-Anlage* an einzelne Häuser verteilen. Fernwärmenetze sind die "größeren Geschwister", in denen beispielsweise die Wärme aus Großkraftwerken in Stadtteile transportiert wird.

Nutzungsgrad

Gibt an, wie viel Prozent der eingesetzten Energie als nutzbare Energie (Strom, Wärme) zur Verfügung steht. Je höher der Nutzungsgrad, desto besser arbeitet die Anlage. Der elektrische Nutzungsgrad eines Gas-BHKW ist zum Beispiel die in einem Jahr erzeugte elektrische Energie dividiert durch die im gleichen Zeitraum eingesetzte Erdgas-Energie. Im Broschüren-Text ist als Nutzungsgrad immer der elektrische Nutzungsgrad zu verstehen. Der Jahresnutzungsgrad charakterisiert die Effizienz über ein ganzes Jahr hinweg. Während bei der Bestimmung des Nutzungsgrades ein längerer Zeitraum betrachtet wird – man berücksichtigt beispielsweise Anfahr- oder Stillstandsverluste – beschreibt der Wirkungsgrad eine Momentaufnahme.

Stirlingmotor

Wärme- und Kältemaschine, die auf der abwechselnden Erwärmung und Kühlung eines Gases in einem geschlossenen System beruht.

Virtuelles Kraftwerk

Ziel ist es, viele dezentrale, an unterschiedlichen Orten verteilte Energiewandlungseinheiten (BHKW, Windkraftanlagen, Brennstoffzellen, Photovoltaikanlagen, etc.) mit den Strom-Abnehmern (große und kleine Stromkunden) über eine Vernetzung zu koordinieren.

LITERATURTIPPS

Bücher für ein breiteres Publikum

H. Meixner, R. Stein, "Blockheizkraftwerke. Ein Leitfaden für den Anwender", BINE-Informationspaket, Hrsg. Fachinformationszentrum Karlsruhe, TÜV-Verlag Köln, 2002. *Umfangreiches, praxisbezogenes Buch für den zukünftigen BHKW-Anwender: Technologie, Wirtschaftlichkeit, Organisatorisches.*

W. Suttor, A. Müller, "Das Mini-Blockheizkraftwerk. Eine Heizung, die kostenlos Strom erzeugt", C.F. Müller Verlag, Heidelberg 2000. *Einführung in motorische Klein-BHKWs am Beispiel des Senertec-BHKW.*

"BHKW-Kenndaten 2001, Module, Anbieter, Kosten", ASUE und Energierreferat der Stadt Frankfurt, Kaiserslautern 2001. *Technische und ökonomische Kenndaten aller in Deutschland erhältlicher BHKW. Aktualisierung ist in Vorbereitung.*

M. Peht, "Energierévolution Brennstoffzelle? Perspektiven, Fakten, Anwendungen", Wiley-VCH, Weinheim 2002. *Sachbuch für interessierte Laien über Geschichte, Funktionsweise und Anwendungsgebiete von Brennstoffzellen und Wasserstoff, Chancen, Hemmnisse und Visionen.*

M. Pehnt, K. Traube, "Zwischen Euphorie und Ernüchterung. Stand und mittelfristige Perspektiven stationärer Brennstoffzellen", Heidelberg 2004. *Positionspapier des Bund für Umwelt- und Naturschutz und des Bundesverbandes Kraft-Wärme-Kopplung*. Download unter www.ifeu.de oder www.bkwk.de.

Positionspapier des Bund für Umwelt- und Naturschutz und des Bundesverbandes Kraft-Wärme-Kopplung. Download unter www.ifeu.de oder www.bkwk.de.

Fachliteratur

M. Pehnt, L. Schneider, J. P. Voß, C. Fischer, K. Schumacher, B. Praetorius, M. Cames, "Micro cogeneration", unter Mitarbeit von J. Slowe, J. Harrison, M. Colijn und Y. Santo, erscheint im Frühjahr 2005 bei Springer. *Interdisziplinäre Analyse des Mikro-KWK-Marktes, der Entstehungsbedingungen und Marktchancen von Mikro-KWK in Deutschland, Japan, USA, Großbritannien und Niederlanden*.

F. Steinborn, "Mini-BHKW-Plan", www.bhkw-info.de *Auslegungs-Software und Wirtschaftlichkeitsberechnung von Klein- und Mini-Blockheizkraftwerke BHKW*.

M. Werdich, K. Kübler, "Stirling-Maschinen. Grundlagen, Technik, Anwendungen", Ökobuch Verlag, Staufen 2003. *Technisch orientierte Einführung in Bauarten und Entwicklungskonzepte von Stirling-Motoren*.

U. Leprich, A. Thiele unter Mitarbeit von H. Meixner und U. Schäfer, "Rahmen und Erfolgsbedingungen für die weitere Verbreitung von Brennstoffzellen und andere Klein-KWK-Anlagen in Deutschland". *Studie über politische Rahmenbedingungen und Akteure von Klein-BHKWs*.

W. Krewitt, M. Pehnt, M. Fishedick, H. Temming, "Brennstoffzellen in der Kraft-Wärme-Kopplung: Ökobilanzen, Szenarien, Marktpotenziale", Erich Schmidt Verlag, Berlin 2004. *Studie über den deutschen KWK-Markt und die Rolle der Brennstoffzelle*.

DLR, IFEU, WI: "Ökologisch optimierter Ausbau der Nutzung erneuerbarer Energien in Deutschland", Studie für das Bundesumweltministerium, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg, Wuppertal Institut Klima Umwelt Energie, Berlin 2004. *Untersuchung über Potenziale und Szenarien zukünftiger Energieversorgung*. Download unter www.bmu.de.

INTERNETTIPPS

Herstellerradressen über www.asue.de, www.bhkw-info.de und www.bhkw-infozentrum.de

www.asue.de

Informationen über BHKW und andere Erdgasanwendungen, Bestellung von Informationsmaterial

www.bkwk.de

Bundesverband Kraft-Wärme-Kopplung, mit Informationen zu aktuellen Entwicklung in Energiepolitik und -technik

www.bhkw-infozentrum.de

Ständig aktualisierte Informationen zu Grundlagen, rechtlichen, wirtschaftlichen und technischen Entwicklungen von BHKW

www.bhkw.de

Internetportal mit Herstellern für Klein-KWK-Anlagen

www.bine.info

Informationsdienst zu allen Fragen der Energie mit Broschüren, Artikeln und Materialien

www.hessenenergie.net

Hessische Energieagentur, die sehr aktiv im Bereich Mini-KWK ist, mit zahlreichen Informationen und Best-practise-Beispielen

www.klima-sucht-schutz.de

Eine vom Bundesumweltministerium geförderte Kampagne zum Klimaschutz mit Modernisierungs- und Förderratgeber

www.microchap.info

Englischsprachige Informationsseite zu Mikro-KWK

www.minibhkw.de und www.bhkw-info.de

Informationsplattform für Klein-BHKW und größere BHKW; enthält auch Kontaktadressen von Herstellern und Planern

www.energiefoerderung.info

Suchmaschine für alle Förderprogramme im Bereich Energiesparen, KWK und erneuerbare Energien

Impressum

Herausgeber: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
Referat Öffentlichkeitsarbeit • 11055 Berlin
E-Mail: service@bmu.bund.de • Internet: www.bmu.de

Fachliche Bearbeitung: Institut für Zukunftssysteme (IZES)

Redaktion: Andreas Thiele
Martin Pehnt (IFEU)
Ralf Köpke

Gestaltung: Block Design, Berlin

Abbildungen, Grafiken: Seite 1 (Titel): Getty Images
Seite 2: Getty Images
Seiten 4 und 5: Getty Images
Seite 9: ASUE
Seite 10 und 11: Pehnt et al. 2005
Seite 12: ASUE
Seite 13: Honda / Senertec / Haase
Seite 15: Whisper Tech / Solo
Seite 16: Sulzer Hexis / Vaillant + EWE AG
Seite 17, oben: Pehnt / unten: mtu CFC Solutions
Seite 19: verändert nach DLR
Seite 22: Pehnt et al. 2005
Seite 25: Pehnt et al. 2005
Seite 28 und 29: hessenEnergie
Seite 31: DLR, IFEU, WI 2004

Grafiken: Block Design

Stand: Dezember 2004
1. Auflage: 1.000 Exemplare

“Der Staat schützt auch in Verantwortung für die künftigen Generationen die natürlichen Lebensgrundlagen ...”

Grundgesetz, Artikel 20 A

Kontakt:

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
Referat Öffentlichkeitsarbeit
D - 11055 Berlin
Fax: (01888) 3 05 - 20 44
Internet: www.bmu.de
E-Mail: service@bmu.bund.de

Institut für Zukunftsenergiesysteme (IZES)
IT Park Saarland
Altenkesseler Str. 17
D - 66115 Saarbrücken
Internet: www.izes.de
E-Mail: info@izes.de

Diese Broschüre ist Teil der Öffentlichkeitsarbeit der Bundesregierung.
Sie wird kostenlos abgegeben und ist nicht zum Verkauf bestimmt.
Der Druck erfolgt auf Recyclingpapier aus 100 % Altpapier.

Projektpartner:



Bundesverband
Kraft-Wärme-Kopplung e.V.