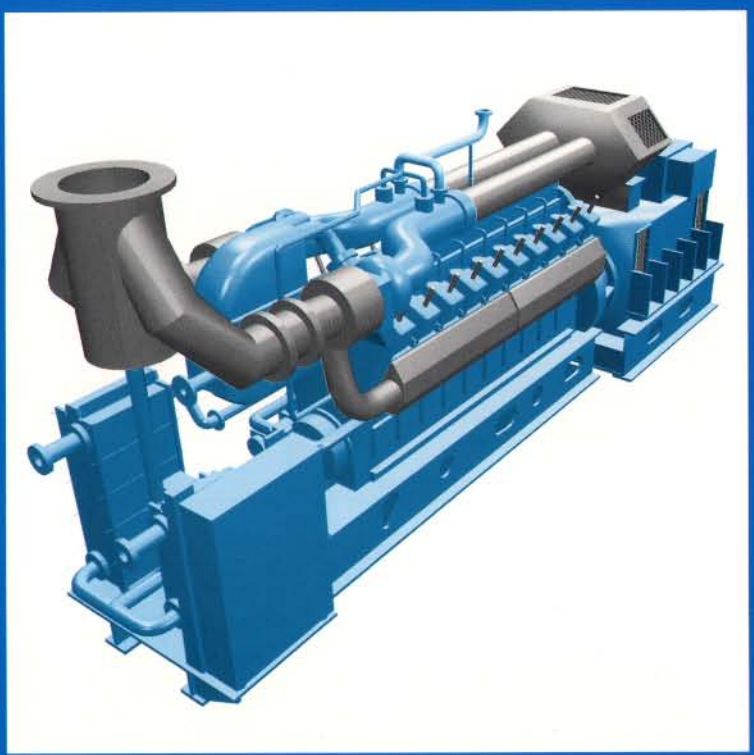
ARBEITSGEMEINSCHAFT FÜR
SPARSAMEN UND
UMWELTFREUNDLICHEN
ENERGIEVERBRAUCH E.V.

BHKW-Grundlagen



Inhalt

Vorwort 3

Systemvergleich und Energieeinsparung 4

Umweltverträglichkeit 6

Technik 9
Modularer Aufbau 10
Antriebsmotor 11
Wärmenutzung 11
Generator 12
Netzanbindung 12
Blindstrom 12
Spitzenlastkessel 13
Wärmespeicher 13
Steuer- und Regelungsgeräte 14
Wartung 14

Emissionen und Immissionen und Hinweise zu deren Minderung 15
Bundes-Immissionsschutzgesetz 15
Verwaltungsvorschriften 15
TA Lärm 15
Schalldämmung und -dämpfung 16
Schallschutzkapseln 16
Schallschutz am Gebäude 16
TA Luft 16
Emissionswerte 17
Abgasanlagen 17
Verfahren zur Emissionsminderung 18
– Primärmaßnahmen 18
– Sekundärmaßnahmen 18
– NSCR-Verfahren 18
– SCR-Verfahren 19
– Kombination von Primär- und Sekundärmaßnahmen 20
– Anwendung und Bewertung der Verfahren 20

Planung und Auslegung 21
Dimensionierung 21
VDI-Richtlinie 3985 21
Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen 21
Stromvergütung bei Netzeinspeisung 23
Stromverkauf an Dritte 23
Contracting 24
Steuerliche Aspekte 25

Einsatzfelder 26
Wohnsiedlungen 26
Bäder 26
Schulen und öffentliche Gebäude 26
Krankenhäuser 26
Industriebetriebe 26

Kombinationsmöglichkeiten 27
BHKW und Kältemaschinen 27
BHKW und Wärmepumpen 27
Direktantriebe 27
BHKW und Erdgasentspannungsanlagen 27
BHKW zur Faulturmbeheizung und Klärschlammtrocknung 27
BHKW zur Ersatzstromversorgung 27

Brennstoffeinsatz 28
Erdgas 28
Weitere Brennstoffe 29
– Deponiegas 29
– Klärgas 29
– Pyrolysegas/Müllverwertung 29
– Lösemitteldämpfe 29

Zusammenfassung und Ausblick 30

Anhang

Bildübersicht 31

Bildvorlagen 32

Herausgeber:

ASUE
Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V.
Bismarckstraße 16 · 67655 Kaiserslautern
Telefon (06 31) 360 90 70
Internet: http://www.asue.de

Vertrieb:

Verlag Rationeller Erdgaseinsatz
Postfach 25 47 · 67613 Kaiserslautern
Telefax (06 31) 360 90 71

BHKW-Grundlagen
Best.-Nr. 05 11 99
Schutzgebühr 3,00 €

Vorwort

„Die Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) als gleichzeitige Erzeugung von Wärme und Elektrizität trägt aufgrund des hohen Wirkungsgrades tendenziell zur Senkung der Energiekosten beim Anwender bei, verringert aber auch die spezifischen klimarelevanten Emissionen und schont die Energieressourcen." Diese positive Einschätzung der KWK, die aus einem von der Enquetekommission „Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre" des Deutschen Bundestages herausgegebenen Studienband stammt, findet inzwischen in Politik und Wirtschaft breite Zustimmung. Die entscheidenden Vorteile der Blockheizkraftwerke (BHKW) sind ihr großes Energiesparpotential, verbunden mit einem hohen Maß an Umweltverträglichkeit, sowie ihre vielseitigen Einsatzmöglichkeiten in dezentralen Einheiten.

Folgerichtig ist der BHKW-Markt in Deutschland in den vergangenen Jahren kontinuierlich gewachsen. Ende 1998 waren schätzungsweise 6.000 motorische BHKW mit einer elektrischen Leistung von weit über 2.000 MW am Netz. Voraussetzung für diesen Erfolg war die ständige Weiterentwicklung der BHKW-Technik. Heute sind in allen Größenklassen ausgereifte Anlagen am Markt verfügbar.

Vor dem Hintergrund gestiegener Umwelt- und insbesondere Klimaschutzanforderungen bleibt die Aufforderung an die Nutzer, die zur Verfügung stehende Energie so rationell und umweltschonend wie möglich einzusetzen, jedoch unverändert bestehen. Ein großes Einsparpotenzial liegt dabei in der Verminderung der Umwandlungsverluste bei der „Veredlung" von Primärenergien. Blockheizkraftwerke können hierzu maßgeblich beitragen, denn aufgrund ihres hohen Wirkungsgrades leisten sie einen signifikanten Beitrag

- beim Anwender zur Energiekostensenkung und
- für die Umwelt zur Reduzierung der Emission von Schadstoffen und klimarelevanten Gasen in die Atmosphäre.

BHKW bringen dort den größten ökonomischen und ökologischen Nutzen, wo sie sinnvoll eingesetzt werden. Das primäre Einsatzfeld für BHKW liegt nicht in der flächendeckenden Strom- und Wärmeversorgung von Ballungszentren. Große Kraftwerke und Heizkraftwerke werden hier weiterhin unverzichtbar bleiben. Es gilt jedoch, die vielen technisch und wirtschaftlich sinnvollen Einsatzfälle für BHKW-Anlagen in den verschiedenen Marktsektoren zu erschließen, d. h. vor allem dort, wo maßgeschneiderte Energieversorgungskonzepte gefragt sind: in Schwimmbädern, Krankenhäusern, Verwaltungs- und öffentlichen Gebäuden, Gewerbe und Industrie, Kläranlagen und Deponien sowie in Wohnsiedlungen (Nahwärmekonzepte).

Auslegung und Planung von BHKW-Anlagen bedürfen einer professionellen Ausführung durch erfahrene Ingenieure, wenn Fehlinvestitionen vermieden werden sollen. Die vorliegende Veröffentlichung soll hier eine Hilfestellung leisten. Dargestellt werden Grundlagen und Rahmenbedingungen der KWK auf Basis von Verbrennungsmotoren. Für den Planer werden Informationen zu Einsatzmöglichkeiten, Dimensionierung, Umweltschutz und Wirtschaftlichkeit gegeben. Zur Ergänzung stehen für KWK mit Gasturbinen gesonderte Informationsbroschüren der ASUE zur Verfügung. Eine komplette Übersicht von ASUE-Veröffentlichungen können telefonisch angefordert werden unter (06 31) 360 90 70 oder per Fax unter (06 31) 360 90 71.

Der vorliegende Band ist die aktualisierte Fassung des Standard-Vortragstextes über Blockheizkraftwerke. Die energierelevanten Daten wurden dem Fortschritt der Technik angepasst. Den hier verwendeten Werten liegt insbesondere eine Studie des Instituts für Angewandte Thermodynamik und Klimatechnik der Universität GH Essen zugrunde. Über den Zweck der Unterstützung eines Vortragenden hinaus dient der Band inzwischen als technisch-wirtschaftliche Basisinformation über Gasmotor-BHKW. Aus den grafischen Vorlagen im Anhang können Kopien bzw. Overheadfolien erstellt werden.

Systemvergleich und Energieeinsparung

Die grundsätzlichen Unterscheidungsmerkmale verschiedener Kraftwerkstypen sind in Bild 1 dargestellt. Der weitaus größte Anteil des Stromes wird in Deutschland in Kondensationskraftwerken erzeugt, verbunden mit rd. 60 % Verlustwärme, die zunächst an Flüsse oder direkt in die Umgebung abgegeben wird.

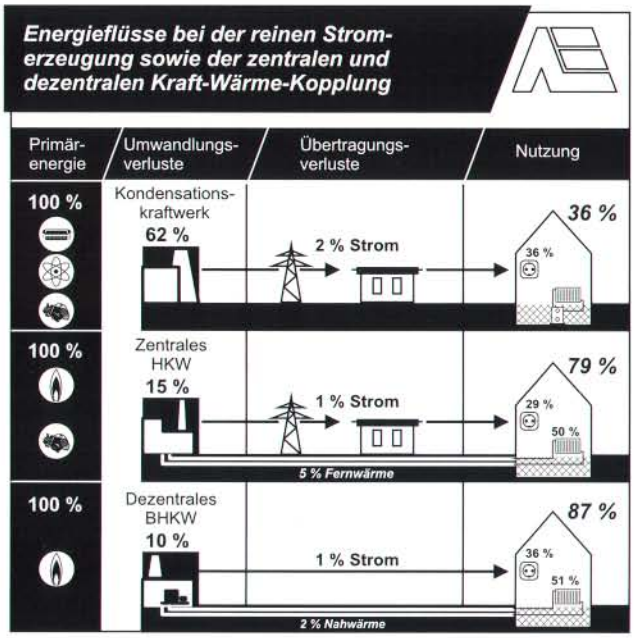


Bild 1

Verlustwärme wird nicht allein im Kraftwerkssektor bei der Stromerzeugung frei, sondern auch im Bereich der Haushalte und Kleinverbraucher, vor allem im Zusammenhang mit der Wärmeerzeugung in alten Kesselanlagen. In verschiedenen Branchen der Industrie ist neben der Strom- und Heizwärmeerzeugung auch die Prozesswärmeerzeugung, abhängig von den produktionsspezifischen Gegebenheiten, Quelle für Wärmeverluste.

Ungenutzte energetische Verluste, die meist in Form von Abwärme auftreten, werden häufig mit Energieverschwendung gleichgesetzt. Es ist aber zu beachten, dass Abwärme in vielen Fällen nicht oder nicht sinnvoll genutzt werden kann, besonders wenn sie auf dem Temperaturniveau der Umgebung anfällt und daher für eine direkte weitere Nutzung wertlos ist. Die Bestrebungen und Aufgabenstellungen gehen dahin, die Teile der ungenutzten Energie zusätzlich nutzbar zu machen, für die es wirtschaftlich sinnvoll und vertretbar ist, oder die Prozesse so zu gestalten, dass die Wärme auf einem nutzbaren Temperaturniveau anfällt.

Ein Schritt in diese Richtung sind Energiewandler, die in Koppelprozessen Kraft und Wärme liefern, wobei die Kraftkomponente meist zur Stromerzeugung eingesetzt und die Wärme zu Heiz- und Produktionszwecken genutzt wird. In einer Reihe von Fällen erfolgt eine direkte Nutzung der mechanischen Energie zum Antrieb von Arbeitsmaschinen, wie Pressen, Pumpen und Kompressoren (z. B. für Kälteanlagen). Der mit einem solchen Koppelprozess verbundene rationelle Energieeinsatz bedeutet in der Regel zugleich eine Verbesserung der Umweltbedingungen, da Systeme, die pro erzeugte Nutzenergie weniger Einsatzenergie benötigen, die Umwelt im Normalfall auch weniger belasten.

In vielfältiger Weise werden von der Industrie und im Gewerbe bis hin zum Wohnungs- und Verwaltungssektor Wärme und Kraft bzw. Strom parallel benötigt, mitunter aber in einem sehr ungünstigen Verhältnis oder evtl. zu sehr unterschiedlichen Zeitpunkten. Daher werden künftige Umwandlungssysteme danach zu beurteilen sein, in welcher Form sie diese Nutzenergien zur Verfügung stellen. Es werden sich Einrichtungen durchsetzen, die sich am besten der jeweiligen Bedarfsstruktur anpassen und die die dynamische Wechselbeziehung zwischen Angebot und Nachfrage optimal austarieren.

In der Vergangenheit wurde die gleichzeitige Erzeugung von Wärme und Strom überwiegend in zentralen Heizkraftwerken (HKW) vorgenommen, mit auf den Verbrauchspunkt bezogenen Gesamtnutzungsgraden von bis zu rund 80 %. Wegen der erheblichen Kosten bei der Fernwärmeverteilung kommt diese Art der Wärmeversorgung insbesondere in Gebieten mit ausreichend hoher Wärmedichte zur Anwendung, d. h. überwiegend in Ballungszentren.

Der dezentrale Einsatz von BHKW ist nicht an ein ausgedehntes Wärmenetz gebunden. Die Wärme wird in Einzelobjekte oder Nahwärmenetze eingespeist. Besonders in weniger dicht besiedelten Gebieten können BHKW in Schwerpunkten großen Wärmeverbrauchs eingesetzt werden. So bieten sie sich auch bei der Umrüstung oder der Erweiterung von vorhandenen Heizzentralen auf KWK-Betrieb an.

Der elektrische Strom aus BHKW deckt weitgehend den Eigenverbrauch der Objekte, z. B. eines Industriebetriebes (ein größerer Wärmeverbraucher ist häufig auch ein großer Stromabnehmer), oder er trägt zur Eigenerzeugung eines Stromversorgers, z. B. eines Querverbundunternehmens, bei.

Eine vom überörtlichen Stromnetz losgelöste Betriebsweise wird nur in seltenen Fällen erfolgen, da das wechselweise nach Strom- und Wärmebedarf zu fahrende Teillastverhalten im Inselbetrieb zu Einbußen beim Gesamtnutzungsgrad führt. Der Inselbetrieb erfordert darüber hinaus in der Regel den Einsatz eines zusätzlichen BHKW-Moduls aus Redundanzgründen, was die Investitionskosten erhöht.

Unter Gesamtnutzungsgrad, bezogen auf den Endverbraucher, versteht man das Verhältnis der Summe von genutztem Strom und genutzter Wärme zur eingesetzten Brennstoffmenge unter Berücksichtigung der Verteilungsverluste.

Der Gesamtnutzungsgrad von BHKW erreicht in der Regel knapp 90 %, bezogen auf den Endverbraucher. Er liegt damit um rund 10 Prozentpunkte günstiger als bei konventionellen Heizkraftwerken auf Dampfturbinenbasis. Dieses ist vor allem auf den thermodynamisch günstigeren Wirkungsgrad von Verbrennungsmotoren zurückzuführen. Da sich BHKW in der Nähe der Verbraucher befinden, sind auch die Verteilungsverluste generell geringer als bei der zentralen Strom- und Wärmeversorgung.

Hinzu kommt, dass BHKW ein Maximum an elektrischem Strom zeitgleich mit einem Maximum an nutzbarer Heizwärme abgeben, wogegen konventionelle Entnahme-/Kondensationsanlagen eine Einbuße bzgl. der elektrischen Leistung bei maximaler Wärmeauskopplung hinnehmen müssen und damit im elektrischen Wirkungsgrad stark zurückgehen.

Auch moderne Kesselanlagen erreichen bei richtiger Dimensionierung Jahresnutzungsgrade von 90 % und mehr. Trotz dieser annähernden Zahlengleichheit ist die Energiedarbietung des BHKW wertvoller, da der anteilig erzeugte elektrische Strom thermodynamisch und wirtschaftlich höher zu bewerten ist als die reine Wärmeabgabe einer Kesselanlage.

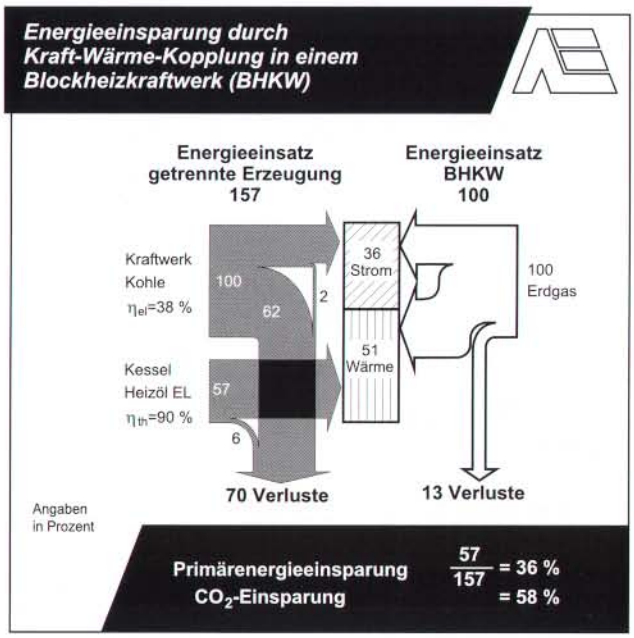


Bild 2

In Bild 2 wird die gekoppelte Erzeugung von Wärme und Strom in BHKW der entsprechenden Wärmeerzeugung in einer Kesselanlage und gleichzeitig der entsprechenden Stromerzeugung in einem Kondensationskraftwerk gegenübergestellt. Aus dem Vergleich dieser Energiebilanzen ergibt sich, dass gegenüber einer getrennten Erzeugung von Strom und Wärme die gleichzeitige Erzeugung mit einem BHKW zu einer Brennstoffeinsparung von 36 % führt.

Da Wärme- und Stromspitzen in der Regel jahreszeitlich zusammenfallen und bei vermindertem Wärmebedarf im Sommer die Stromerzeugung aus dem BHKW geringer wird, ergänzt dieses System aufgrund des verbrauchsnahen Standortes gut Großkraftwerke, die vornehmlich in der Grundlast Strom erzeugen sollen.

Auch bezüglich der Investitionen (Erzeugungsanlage, Umweltschutzeinrichtungen) schneiden BHKW im Vergleich mit zentralen Anlagen günstig ab. Insbesondere die Investitionen für die Wärmeverteilung liegen deutlich niedriger. Der modulare Aufbau von BHKW ermöglicht, dass dem Baufortschritt von zu versorgenden Objekten in Stufen angepasst investiert werden kann.

Umweltverträglichkeit

BHKW können in besonderer Weise zur Schonung unserer Umwelt und zur Verringerung der Gefahren für das globale Klima beitragen. Hierfür sind zwei Aspekte maßgebend:

- BHKW sparen Energie durch die gekoppelte Erzeugung von Wärme und Strom. Damit werden gleichzeitig die Schadstoffemissionen herabgesetzt, da im Umfang der Energieeinsparung in Kesselanlagen und Kraftwerken weniger Brennstoff benötigt wird (Bild 2).
- In Verbindung mit dem emissionsarmen Brennstoff Erdgas tragen BHKW zusätzlich zur Reduzierung der Umweltbelastung bei. So sind im Erdgas praktisch keine schadstoffbildenden Bestandteile enthalten. Die bei der Verbrennung des Erdgases entstehenden Abgase sind daher nahezu frei von Schwefeldioxid, Staub, Schwermetallen und Halogenverbindungen.

Aufgrund seiner physikalischen und chemischen Eigenschaften bietet Erdgas gute Voraussetzungen für eine umweltschonende Verbrennung. Als einzig nennenswerter Schadstoff bei der Verbrennung von Erdgas sind die bei allen Verbrennungsprozessen auftretenden Stickstoffoxide (NO_x) zu nennen, die zunehmend bei höheren Verbrennungstemperaturen gebildet werden. Durch motorische Maßnahmen und nachgeschaltete Katalysatoren können die NO_x-Emissionen von BHKW jedoch entscheidend herabgesetzt werden.

Daneben trägt das kohlenstoffarme Erdgas im Vergleich zu anderen fossilen Energieträgern am wenigsten zu der vom Menschen verursachten Verstärkung des Treibhauseffektes bei. Bei der Verbrennung des Erdgases werden bezogen auf den gleichen Energiegehalt 40 bis 50 % weniger Kohlendioxid (CO_2) als bei der Verbrennung von Kohle und etwa 25 % weniger CO_2 als bei der Verbrennung von Heizöl produziert (Bild 3).

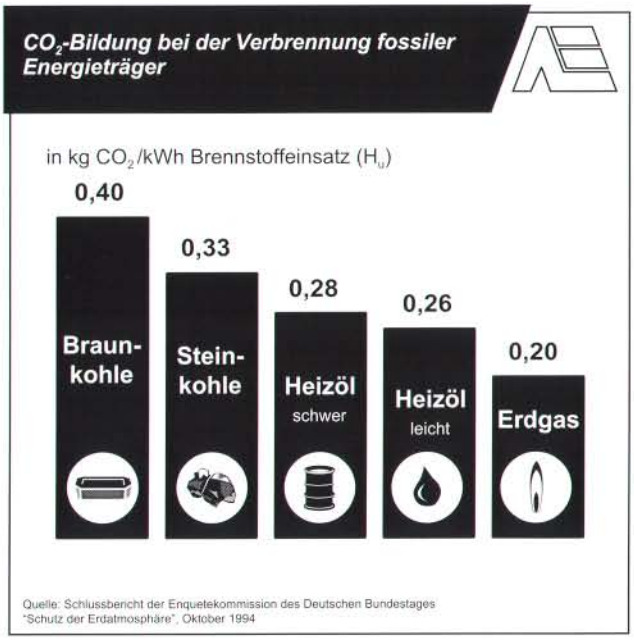


Bild 3

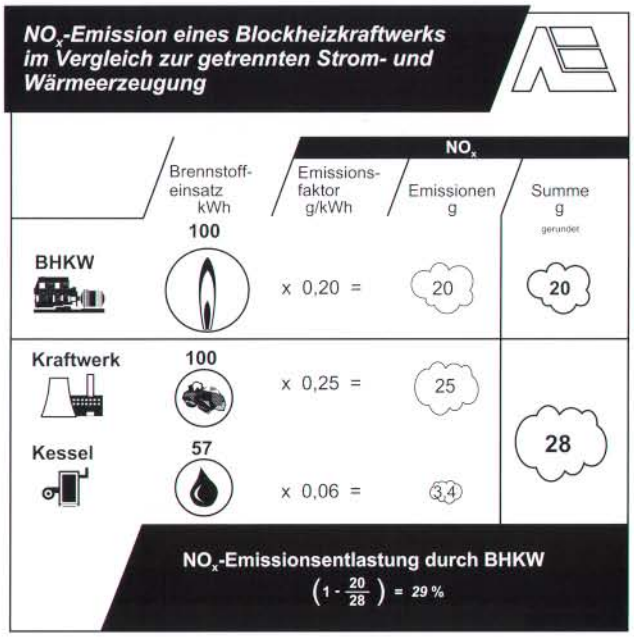


Bild 4

Bild 4 zeigt die NO_x-Bilanz eines BHKW im Vergleich zur getrennten Stromerzeugung mit Steinkohle und Wärmeerzeugung mit Heizöl. Dabei wird deutlich, daß der NO_x-Eintrag in die Luft durch Einsatz des BHKW um mehr als ein Viertel niedriger ausfällt.

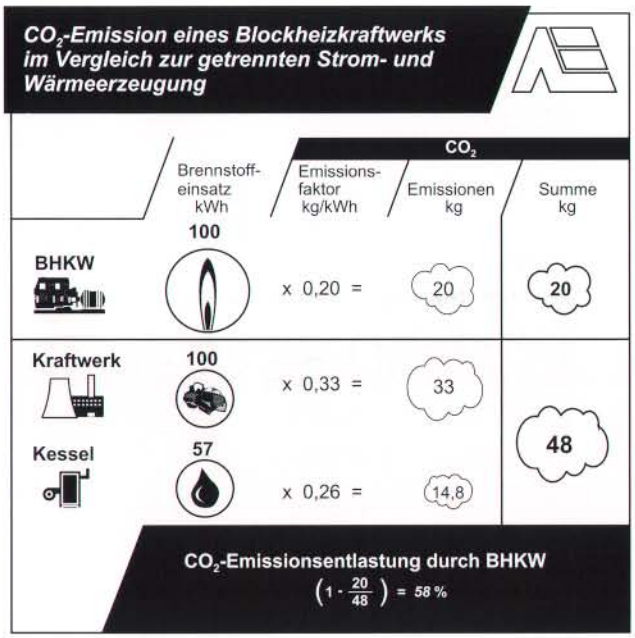


Bild 5

Mit fast 60 % mehr als doppelt so hoch ist die Emissionsentlastung durch das BHKW beim CO_2 im gleichen Fall (Bild 5). Hier wird besonders deutlich, dass die BHKW-Technik einen wichtigen Beitrag zu der von Wissenschaft und Politik geforderten Begrenzung der CO_2-Freisetzung in unsere Atmosphäre leisten kann.

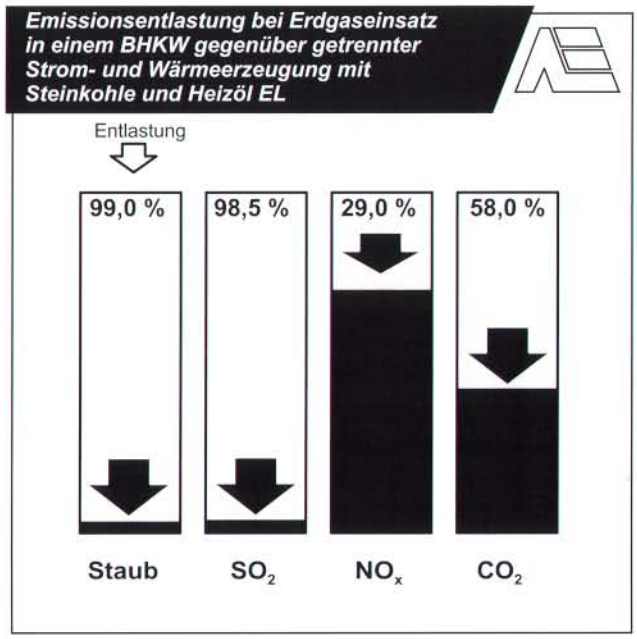


Bild 6

Bild 6 fasst nochmals die Emissionsentlastung durch BHKW im Vergleich zur getrennten Erzeugung von Strom und Wärme für NO_x und CO_2 gemeinsam mit den Werten für Schwefeldioxid (SO_2) und Staub zusammen.

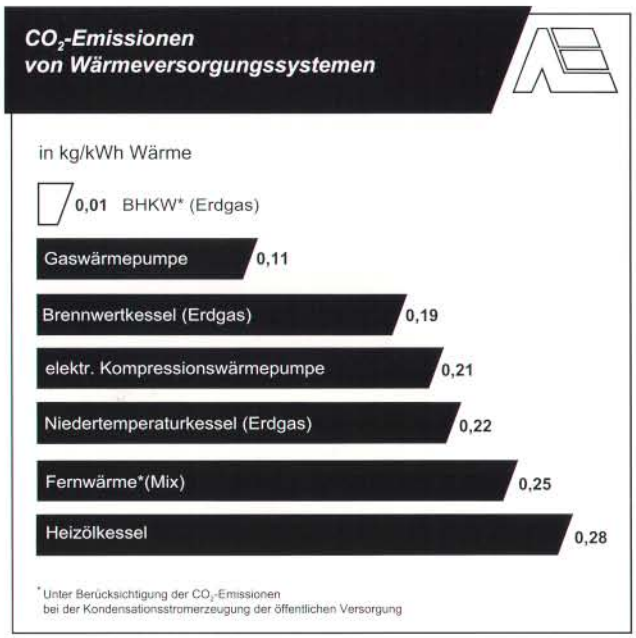


Bild 7

Bei der Beurteilung von Systemen zur Raumwärmeversorgung sind neben den Wirtschaftlichkeitskriterien die mit einer bestimmten Anlagentechnik verbundenen Umweltbeeinträchtigungen heute ein wichtiger Aspekt. Dies gilt besonders mit Blick auf die langfristigen Klimaauswirkungen durch einen zunehmenden CO_2-Eintrag in die Atmosphäre. Einen Vergleich der CO_2-Emissionen von verschiedenen Systemen zur Wärmeversorgung von Gebäuden zeigt Bild 7.

Die Emissionsfaktoren beziehen sich hier auf die Kilowattstunde Nutzwärme beim Verbraucher. Soweit es sich um Anlagen der KWK handelt (Heizkraftwerke für die Fernwärmeerzeugung, BHKW) wurden die Emissionsfaktoren ermittelt, indem bei den Gesamtemissionen für Strom- und Wärmeerzeugung bei der KWK eine so genannte Emissionsgutschrift für andernorts in Kondensationskraftwerken eingesparten Brennstoff berücksichtigt wurde. Mit dieser gängigen Vorgehensweise ist ein Vergleich mit reinen Wärmeversorgungssystemen möglich.

Den Angaben für die Fernwärme liegt der Mittelwert für alle in Deutschland eingesetzten Brennstoffe in Heizwerken und Heizkraftwerken im Bezugsjahr zugrunde, einschließlich der industriellen Abwärmeeinspeisung, die als „CO_2-frei" angesetzt wurde.

Die Angaben für BHKW basieren auf einer Untersuchung von 18 Anlagen in Deutschland, mit der ermittelt wurde, in welchem Umfang BHKW-Anlagen in der Praxis CO_2 einsparen helfen.

Die Ergebnisse dieser Studie sind in der ASUE-Broschüre „Erdgasbetriebene Blockheizkraftwerke" veröffentlicht.

Den übrigen genannten Wärmeerzeugungssystemen liegen gängige Kennwerte zugrunde.

Die Ergebnisse des Systemvergleiches belegen eindrucksvoll, in welchem Umfang BHKW zur Verringerung der CO_2-Emissionen und damit zur Begrenzung des Treibhauseffektes beitragen können.

Ein BHKW besteht aus einer Motor-Generator-Einheit mit zugehörigen Wärmetauschern für die Nutzung der Kühlwasser-, Schmieröl- und Abgaswärme. Beim Betrieb des BHKW fallen Wärme und Strom immer zeitgleich („gekoppelt") an. Eine Kesselanlage ergänzt dabei die KWK-Aggregate.

Der BHKW-Anwendungsbereich wurde durch die erfolgreiche Felderprobung von Kleinaggregaten mit elektrischen Leistungen von ca. 5 kW und Heizleistungen von ca. 12 kW nach unten auf Objekte mit entsprechenden Grundlastanforderungen ausgeweitet.

Die Einsatzbereiche sind vielfältig und erstrecken sich u. a. auf:

- **Wohnungswirtschaft**
  Nahwärmenetze in Wohnsiedlungen, große Mehrfamilienhäuser
- **öffentliche Einrichtungen**
  Schwimmbäder, Krankenhäuser, Universitäten, Verwaltungsbauten, Sportzentren, Bundeswehranlagen, Heime, Schulen
- **Industrie und Gewerbe**
  Kaufhäuser, Therapiezentren, Hotels, Brauereien, Druckereien, Molkereien, Schlachthöfe, Baustoffindustrie

Kombinationen mit Wärmerückgewinnungsanlagen, Wärmepumpen und Kältemaschinen sind möglich und primärenergetisch sehr interessant.

Die Gesamtnutzungsgrade werden auf den Heizwert H_u bezogen und betragen bei BHKW mit Gasmotoren insgesamt ca. 85 % bis 95 %.

Wirkungsgrade von BHKW-Modulen

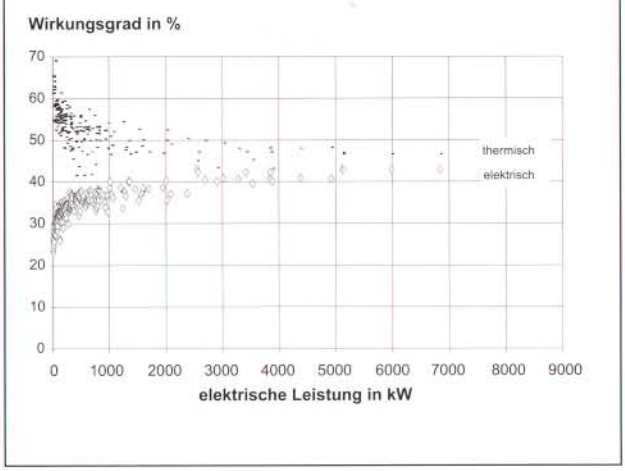


Bild 8

Die elektrischen Wirkungsgrade reichen von ca. 23 % bei kleinen Gas-Ottomotoren bis zu ca. 45 % bei großen Gas-Dieselmotoren (Bild 8).

Bei der Angabe von Nutzungsgraden wird der Eigenverbrauch der BHKW-Anlage mit berücksichtigt.

Detaillierte Informationen über technische BHKW-Daten enthält die ASUE-Broschüre „BHKW-Kenndaten".

Energiebilanz eines BHKW-Aggregates Gas-Ottomotor

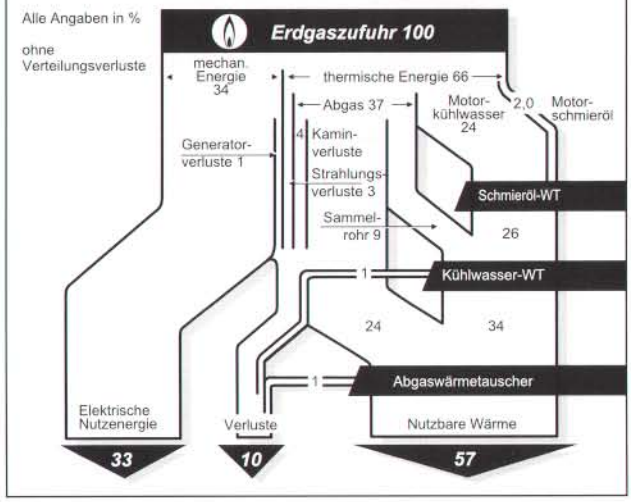


Bild 9

Aus den Bildern 9 und 10 geht für einen Gas-Ottomotor bzw. einen Gas-Dieselmotor die Aufteilung der Energieflüsse hervor. Je nach Anwendungsfall kann in gewissen Grenzen eine Verschiebung der Energieanteile und der Temperaturbereiche erfolgen. Die Bilder zeigen beispielhaft die Größenordnung der einzelnen Energieflüsse. Demnach werden 90 % der Brennstoffenergie genutzt, davon 33 % bzw. 42 % als elektrische Energie und 57 % bzw. 48 % als nutzbare Wärme. Die bei der Energieumwandlung entstehenden Verluste von 10 % setzen sich aus Generator-, Strahlungs-, Wärmetauscherverlusten und der nicht genutzten Wärme des Abgases zusammen. Diese Wärmeanteile lassen sich meistens wegen des niedrigen Temperaturniveaus nicht mehr direkt als Nutzwärme in den Heizungskreislauf einbinden.

Hat man aber die Möglichkeit, getrennte Heizungskreise mit niedrigem Temperaturniveau zu versorgen, ist ein Gesamtnutzungsgrad von über 90 % erreichbar, z. B. durch Ausnutzung der Kondensations-

wärme im BHKW-Abgas. Anwendungsbereiche für Niedertemperaturwärme sind die Beheizung von Schwimmbecken, die erste Aufheizstufe bei der Warmwasserbereitung oder bei Fußbodenheizungen. In Sonderfällen kann die warme Abluft des Maschinenraums als vorgewärmte Zuluft für benachbarte Betriebsbereiche verwendet werden.

Der thermische Wirkungsgrad des BHKW kann weiterhin durch Wärmepumpen erhöht werden, da diese in der Lage sind, die Abwärme auf ein für eine Nutzung ausreichendes Temperaturniveau anzuheben.

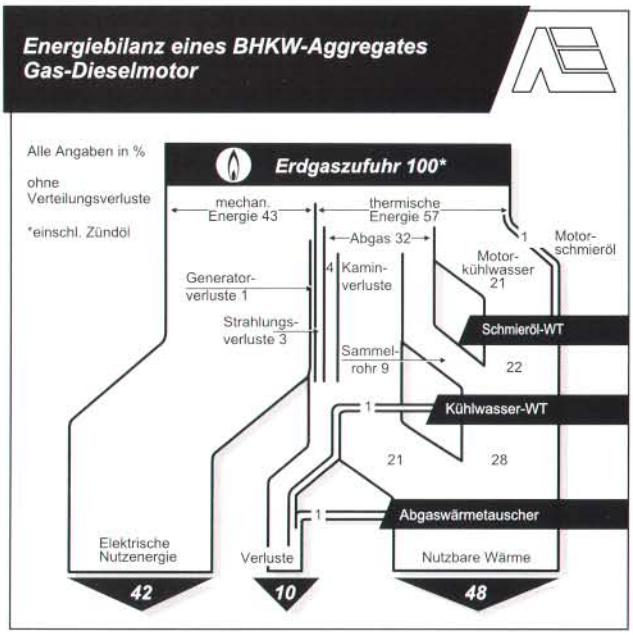


Bild 10

Modularer Aufbau (Bilder 11 und 12)
In Objekten mit überwiegendem Wärmebedarf zur Gebäudebeheizung reicht der außentemperaturbedingte Leistungsbedarf von 0 bis 100 %. Lediglich die Warmwasserbereitung (mindestens 10 %, die Tendenz bei Neubauten ist steigend) sichert eine minimale thermische Grundlastanforderung. Demgegenüber sollten BHKW maximal auf 50 % Teillast heruntergeregelt werden, weil sonst der elektrische Nutzungsgrad zu stark abfällt. Als Lösungsansatz für das regeltechnische Problem bietet sich die Aufteilung der BHKW-Leistung auf mehrere Motor-Generator-Einheiten (Module) an.

Bei Mehrmotorenanlagen kann jeder Einzelmotor unter Bestlast, d. h. mit höchstem Wirkungsgrad, betrieben werden. Die Teillastbereiche der Anlage werden durch Abschaltung von einzelnen Motoren oder Motorengruppen abgedeckt.

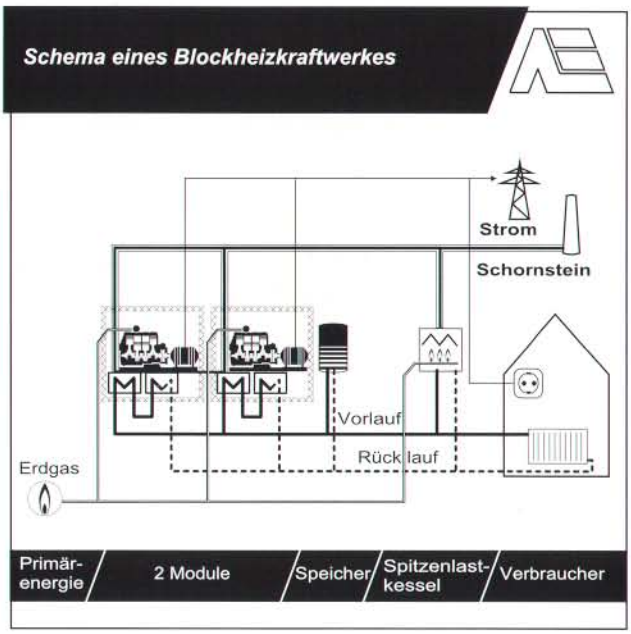


Bild 11

Eine Erweiterung und Anpassung der Anlage für neue Bauabschnitte usw. ist mit der Mehrmotorentechnik leichter durchführbar.

Weiterhin ist die Verfügbarkeit der elektrischen Leistung ausschlaggebend für die Festlegung des Leistungspreises in der Strombewertung. Auch hier bietet ein mehrmodularer Aufbau der BHKW-Anlage Vorteile: Beim Einsatz von z. B. 3 kleineren Motoren anstelle eines großen kann man mit einer Verfügbarkeit von n – 1 = 2 Motoren rechnen. Um diese verfügbare Leistung kann z. B. der elektrische Leistungsbezug beim Vorlieferanten reduziert werden. Zudem können Wartungsarbeiten bei mehreren Motoren in der Regel ohne Verringerung der errechneten Verfügbarkeit durchgeführt werden.

Bei modular aufgebauten Anlagen stehen den Vorteilen bei der Leistungsanpassung und der Sicherstellung der Verfügbarkeit allerdings auch Nachteile gegenüber:

Der Installationsaufwand und der spezifische Modulpreis (DM/kW_{el}) steigen mit wachsender Modulanzahl bei dann kleineren Modulen an. Gleiches gilt für die Kosten der Ersatzteilversorgung und für Schmieröl.

Die BHKW-Planung erfordert daher eine sorgfältige Auslegung nicht nur in Bezug auf die Gesamtleistung des BHKW, sondern auch in Bezug auf den modularen Aufbau.

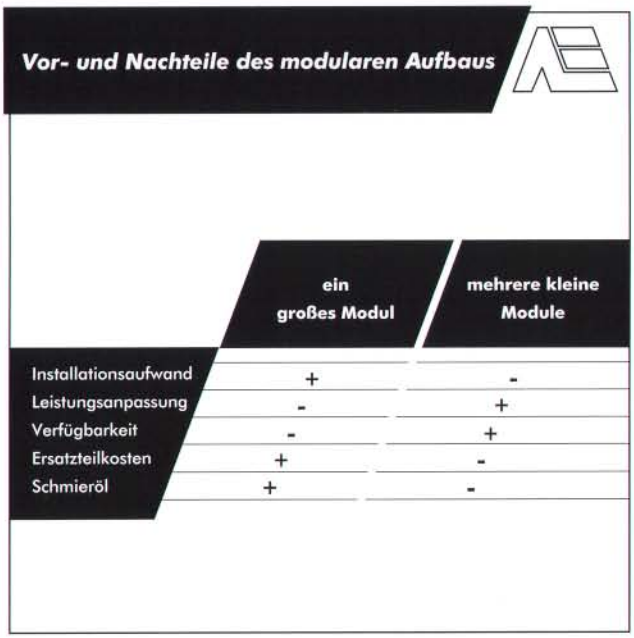


Bild 12

Antriebsmotor

Der Antriebsmotor kann je nach Hersteller als Weiterentwicklung eines PKW-, LKW- oder Schiffsserienmotors oder als stationärer Gasmotor in Otto- oder Gas-Dieselausführung geliefert werden.

Zur Leistungssteigerung im Vergleich zu normalen Saugmotoren kann das Brennstoff-Luft-Gemisch dem Motor mit einem gewissen Vordruck zugeführt werden. Bei diesen aufgeladenen Motoren wird unterschieden zwischen luftaufgeladenen und gemischaufgeladenen Maschinen.

Bei luftaufgeladenen Motoren verdichtet der vom Abgas angetriebene Turbolader die Verbrennungsluft, in die dann das Erdgas nachströmt. Solche Gas-Otto- oder Gas-Dieselmotoren erfordern daher entsprechend hohe Gasdrücke, die in größeren Anlagen (über 1,5 MW_{el}) meist zur Verfügung stehen.

In kleineren Anlagen kann zur Nutzung der Vorteile der Aufladung auch die so genannte Gemischaufladung zum Einsatz kommen, bei der im Turbolader Luft und Gas als Gemisch auf einen höheren Druck gebracht werden.

Man erreicht durch das größere Füllvermögen in den Zylindern eine höhere spezifische Energiedichte und damit höhere Leistungen als bei Saugmotoren mit vergleichbarer Baugröße. In Verbindung mit dem Magermotorprinzip lassen sich die Abgasgrenzwerte der TA Luft ohne zusätzlichen Dreiwegekatalysator einhalten.

Für Motoren, die in BHKW eingesetzt werden, können Laufzeiten von 30.000 bis 100.000 Stunden erwartet werden. Mit steigender Leistungsgröße nimmt die Betriebszeit bis zum Motorwechsel oder bis zur großen Motorrevision zu.

Zum Vergleich: Automotoren erreichen dagegen nur Laufzeiten von 3.000 bis 4.000 Stunden. Der große Unterschied ist auf die gleichmäßige Betriebsweise in BHKW zurückzuführen, z. B. durch reduzierte und konstante Drehzahl, reduzierte Kompression usw.

Wärmenutzung

Aufgrund des verbrauchsnahen Standortes kann Niedertemperaturwärme aus einer BHKW-Anlage konsequent genutzt werden.

Die Abwärme aus dem Kreislauf des Kühlwassers und die über Abhitzekessel gewonnene Wärme aus den Abgasen wird über Wärmetauscher den Wärmeverbrauchern zugeführt. Hohe Nutzungsgrade werden bei normaler Vorlauftemperatur bis zu ca. 90 °C erreicht. In einigen Anwendungsfällen ist auch eine Temperaturanhebung durch Nacherhitzen in einem Kessel möglich. Dabei darf die Rücklauftemperatur des Heizwassers bei den meisten Motoren ca. 70 °C nicht überschreiten, damit eine ausreichende Motorkühlung gewährleistet ist.

Temperaturen von rund 120 °C im Wasservorlauf sind durch Einsatz von so genannten heißgekühlten Motoren zu erzielen. Hierbei sind Rücklauftemperaturen bis zu 90 °C möglich. Dies erlaubt den BHKW-Einsatz zur Prozesswärmeversorgung. Auch die Auftrennung der Motorabwärme in zwei Kreisläufe ist möglich: Das Kühlwasser speist den ersten bis ca. 75 °C, das Abgas einen zweiten zur Heißwasser- oder Dampferzeugung.

Eine Wärmepumpe für die Nutzung der Strahlungs- und Raumluftwärme des Aggregateraums kann ergänzend installiert werden.

Durch einen nachgeschalteten zusätzlichen Abhitzekessel aus Edelstahl kann die Kondensationswärme der Abgase gewonnen werden, die den thermischen Nutzungsgrad um ca. fünf Prozentpunkte weiter erhöht. Voraussetzung hierfür ist ein NT-Wärmebedarf. Das anfallende Kondensat kann nach Neutralisation in die Kanalisation geleitet werden.

Das Kühlwasser im Motorkreislauf bedarf keiner besonderen Behandlung außer dem Zusatz von Korrosions- und Frostschutz nach Herstellerangaben. Im übrigen Heizungsnetz wird aufbereitetes Wasser eingesetzt zur Vermeidung von Korrosion und zur Begrenzung der Resthärte.

Generator

Die Stromerzeugung erfolgt je nach Größenordnung bzw. Anwendung des Moduls durch Synchron- oder Asynchrongeneratoren.

Synchrongeneratoren werden mit einer Drehzahl- und Feldregelung sowie mit einer automatischen Synchronisierungseinrichtung erstellt. Sie können daher auch ohne Verbindung zum Netz des Elektrizitätsversorgungsunternehmens (EVU) betrieben werden (Inselnetz) und ermöglichen neben der üblichen Betriebsweise (parallel zum Netz) auch den Notstrom- und Netzersatzbetrieb. Bedingt durch den technischen Aufbau von Synchrongeneratoren sind diese in der Lage, Blindstrom in das Netz zu liefern. Die Vorteile liegen hierbei u. U. in vermiedenen Kosten für eine Blindstromregelanlage. Die meisten BHKW-Anlagen werden mit Synchrongeneratoren ausgerüstet.

Asynchrongeneratoren benötigen ein taktgebendes Drehstromnetz für die Frequenzhaltung und Blindstromlieferung. Sie sind überwiegend bei kleineren BHKW-Anlagen (ca. $< 100\ kW_{el}$) von Bedeutung, weil bei diesen elektrischen Leistungen meistens noch auf die Installation einer Kondensatorbatterie zur Blindstromkompensation verzichtet werden kann. Vorteilhaft ist bei Asynchrongeneratoren, dass Synchronisierungseinrichtungen entfallen können.

Die Generatoren werden wie andere elektrische Maschinen durch übliche Schalteinrichtungen gegen Überlast und Kurzschluss geschützt. Für den Netzparallelbetrieb sind die **Allgemeinen Versorgungsbedingungen** sowie die **Technischen Anschlussbedingungen** des jeweiligen Stromversorgungsunternehmens zu berücksichtigen.

Netzanbindung

Die Einspeisung des Stroms erfolgt normalerweise in das vorhandene Niederspannungsnetz auf der 400/230-Volt-Ebene. Nur bei größeren Anlagen wird eine Einspeisung in das Mittelspannungsnetz erforderlich. Aber auch hier kann man oft auf eine zusätzliche Trafostation verzichten, da sie von der Objektgröße her ohnehin erforderlich wird.

Die Spannungsebene für die Einspeisung wird in Abhängigkeit von der Erzeugerleistung sowie von der vorhandenen Netzstruktur gewählt. Kleinere Leistungen können direkt in das Niederspannungsnetz übertragen werden, größere in die Niederspannungssammelschiene der nächsten Trafostation. Die direkte Erzeugung in der Mittelspannungsebene ist für Generatorleistungen ab ca. 1 MW_{el} zweckmäßig. Durch diese Einspeisung entstehen i. d. R. keine zusätzlichen Kosten für eine Netzverstärkung.

Die Kurzschlussleistungen werden im Wesentlichen durch das überlagerte Netz und die einspeisenden Transformatoren bestimmt. Die Generatoren liefern auch einen Teil der Kurzschlussleistung, der sich selbst bei größerer BHKW-Konzentration nicht stark auswirkt und bei Bedarf rechnerisch zu überprüfen ist.

Mit fortschreitender Dezentralisierung der Stromerzeugungseinheiten im Weiterverteilerbereich kann immer einfacher so genannter Netzersatzbetrieb oder eine Notstromversorgung nach dem Einbau entsprechender Entkopplungseinrichtungen (Spannungs-, Frequenz- und Kurzzeitunterbrechungsüberwachung) durchgeführt werden. Dies ist wichtig für eventuelle Störfälle der öffentlichen Versorgung oder ganz allgemein für die Notstromvorhaltung in Krankenhäusern, Hochhäusern, Bundeswehranlagen, EDV-Anlagen usw.

BHKW-Anlagen werden überwiegend parallel zum öffentlichen Stromnetz betrieben (Netzparallelbetrieb). Hierbei sind verschiedene Betriebsarten möglich:

- 100 % Netzeinspeisung (z. B. BHKW in Fernheizzentralen)
- 100 % Eigennutzung (Grundlastauslegung)
- Einspeisung, wenn Erzeugung den Eigenbedarf überschreitet

In den beiden letztgenannten Fällen besteht ein Reserve- und Zusatzstrombedarf, der aus dem öffentlichen Netz gedeckt werden kann. Hierzu sind entsprechende Vereinbarungen mit dem EVU zu treffen.

Blindstrom

Eine Reihe elektrischer Verbraucher nehmen zum Aufbau von Magnetfeldern Blindleistung auf. Blindleistungsbedarf entsteht z. B. in elektrischen Anlagen mit Drosselspulen von Leuchtstofflampen, Wechsel- und Drehstrommotoren und Transformatoren. In diesen Verbraucheranlagen werden Geräte benötigt, die die Blindleistung kompensieren.

Solche Geräte sind Leistungskondensatoren (statische Phasenschieber) bzw. Blindleistungsregelanlagen (BLR) mit dynamischer Funktionalität. Man unterscheidet grundsätzlich zwischen Einzel-, Gruppen- und Zentralkompensation.

Wie bereits im Abschnitt „Generator" erwähnt nimmt ein Asynchrongenerator Blindleistung aus dem Netz auf. Je nach Größenordnung des Moduls muss die Blindleistung kompensiert werden. Hierbei sind die jeweiligen Technischen Anschlussbestimmungen des EVU zu berücksichtigen. Der Synchrongenerator ist bedingt durch seinen technischen Aufbau in der Lage, Blindleistung aufzunehmen oder an das Netz abzugeben. Dabei hängt die abgegebene Wirkleistung von der mechanischen Antriebsleistung ab.

In bestimmten Grenzen kann mit der Synchronmaschine ein bestehendes Netz kompensiert werden. Voraussetzungen dafür sollten allerdings eine geeignete Netzstruktur, lange Laufzeiten und eine hohe Verfügbarkeit der Module sein.

Bezogene Blindleistung wird bei entsprechender Größenordnung über Blindleistungszähler gemessen und durch das EVU in Rechnung gestellt. Durch angepasste Kompensation können Blindleistungskosten reduziert oder sogar vermieden werden.

Spitzenlastkessel

Für eine BHKW-Anlage sind im Vergleich zu einer Kesselanlage wesentlich höhere Investitionen (DM/kW_{th}) erforderlich. In der Mehrzahl der Anwendungen ist es daher wirtschaftlicher, den Spitzenwärmebedarf mit einem Kessel abzudecken.

Zur Verbesserung des Jahresnutzungsgrades sollte er in mehrstufiger Ausführung installiert werden oder die Leistung sollte bei größeren Anlagen auf mehrere Kessel verteilt werden. Die Spitzenlastkessel werden überwiegend parallel zur Motorenanlage geschaltet, wie dies in Bild 11 schematisch dargestellt ist.

Zur Reduzierung der Gasbezugsspitze können die Spitzenlastkessel bei Großanlagen mit bivalenten Brennern für Zweistoffbetrieb ausgestattet werden.

Wärmespeicher

Jahreszeitlich gesehen decken sich häufig bei den Abnehmern Strom- und Wärmebedarfsspitzen, d. h. im Winter entstehen das Strom- und Wärmemaximum. Tageszeitlich können jedoch Unterschiede bestehen, die durch Wärmespeicher zu überbrücken sind. So werden Wärmebedarfsspitzen aus dem Speicher abgedeckt, der einige Stunden vorher durch Wärme aus dem KWK-Prozess aufgeladen wurde.

Auch in Stromspitzenzeiten ohne großen Wärmebedarf geht die bei der Stromerzeugung anfallende Wärme nicht verloren, wenn sie in einen Speicher abgeführt wird. Damit kann die Spitzenstromerzeugung aus dem Kondensationsbetrieb in den KWK-Bereich verlagert werden. Weiterhin kann der Wärmespeicher gezielt dazu eingesetzt werden, den BHKW-Betrieb in die Strom-Hochtarif-Zeiten des Vorlieferanten zu verlegen.

Der Speicher wird überwiegend gemäß Bild 11 parallel zu den Erzeugungseinheiten geschaltet. Die Dimensionierung des Speichervolumens ist abhängig von der thermischen BHKW-Leistung, der zu überbrückenden BHKW-Betriebszeit und der nutzbaren Temperaturdifferenz zwischen Vorlauf und Rücklauf.

In der BHKW-Technik werden überwiegend Verdrängungsspeicher in Zylinderform eingesetzt, die während des Betriebes ständig mit Heizungswasser gefüllt sind (direkte Beheizung).

Mit Schwimmbecken ist ein speicherähnlicher Betrieb, der so genannte Pufferbetrieb, möglich. Die durch die Stromerzeugung anfallende Überschusswärme wird in das Beckenwasser gegeben und geht damit nicht verloren (indirekte Beheizung über Wärmeaustauscher).

Steuer- und Regelungsgeräte

Steuer- und Regelungsgeräte für die Regelgrößen Wärme und Strom werden überwiegend mit speicherprogrammierbaren Steuerungen (SPS) realisiert. Diese Geräte führen die Verknüpfung und Abstimmung von Motoren, Spitzenlastkesseln, Speichern usw. herbei und gestatten eine Programmierung der elektrischen Spitzenzeiten. Die Steuerungs- und Regeltechnik veranlasst bei steigendem Wärmebedarf die kaskadenartige Zuschaltung der einzelnen Aggregate sowie für Spitzenlasten die Inbetriebnahme der Kesselanlage. Bei sinkendem Wärmebedarf erfolgt die Herausnahme in umgekehrter Reihenfolge.

Darüber hinaus können BHKW über eine EVU-Rundsteueranlage ferngesteuert und durch entsprechende Fernwirktechnik überwacht bzw. gesteuert werden. Ein angeschlossener Drucker zeichnet die gewünschten Betriebsdaten auf. Die Auflistung der Störungen kann ergänzt werden mit vorher einprogammierten Hinweisen auf mögliche Fehlerursachen, sodass eine rasche Fehlerbestimmung und Störungsbeseitigung gewährleistet ist.

Die Leistungsanpassung von BHKW-Anlagen kann durch stufige oder stetige Teillastregelung in Leistungsbereichen zwischen 50 und 100 Prozent erfolgen. Unter Berücksichtigung feinfühliger Regeltechnik und zur Verringerung von Motorverschleiß durch Kaltstarts wird mittlerweile in vielen Anlagen bei Rückgang des Leistungsbedarfs zunächst für alle Motoren die Leistung leicht reduziert, bevor ein Motor ganz abgeschaltet wird.

Größere Anlagen werden häufig sowohl wärme- als auch stromleistungsorientiert gefahren:

Ist während der wärmegeführten Betriebsphase eine Stromspitze zu erwarten, erfolgt eine automatische Umschaltung auf die stromgeführte Betriebsart, indem bei laufenden Aggregaten die Leistung bis zur maximal möglichen Leistung erhöht wird bzw. neue Aggregate zugeschaltet werden. Nach Beendigung des Stromvorrangbetriebes erfolgt automatisch eine Rückschaltung auf die wärmegeführte Betriebsweise. Hierdurch ist ein exaktes Abfahren der Stromtagesganglinie möglich.

Wartung

BHKW-Anlagen arbeiten als unbesetzte Anlagen automatisch. Störungen werden über Sammelmeldungen in die Warte oder andere Überwachungsstellen (z. B. Hersteller oder BHKW-Kundendienst) weitergeleitet. Darüber hinaus ist lediglich ein Kontrollgang pro Tag erforderlich.

Die Grundwartung des Motors wie z. B. Schmieröl- und Zündkerzenwechsel kann sowohl von eigenem Personal als auch vom Kundendienst ausgeführt werden. Einstellarbeiten, für die Spezialkenntnisse erforderlich sind, und Instandsetzungsmaßnahmen sollten dem Fachkundendienst übertragen werden.

Preiskonditionen Vollwartungsvertrag

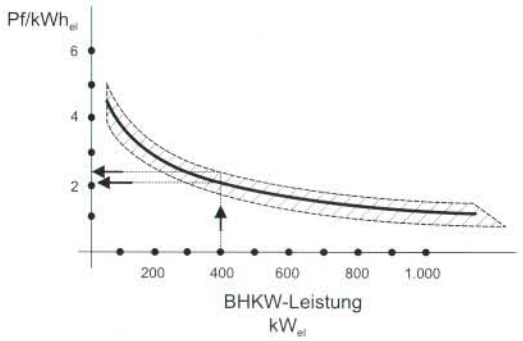


Bild 13

Die Kosten für Wartung und Instandhaltung stehen in einem direkten Zusammenhang mit der Betriebsstundenzahl bzw. der produzierten Stromarbeit des BHKW. Bei großen BHKW liegen die spezifischen Kosten niedriger als bei kleinen. Bild 13 zeigt die Bandbreite der von BHKW-Herstellern angebotenen Vollwartungskonditionen. Bei Eigenwartung können die genannten Beträge unterschritten werden.

Die Ölwechselintervalle differieren stark in Abhängigkeit von den verwendeten Motoren und den eingesetzten Ölen. Erfahrungswerte hierzu liegen bei den jeweiligen Anbietern vor.

Von verschiedenen Aggregateherstellern wird synthetisches Motorenöl auf Polyol-Ester-Basis zugelassen. Es verträgt, ohne sich zu zersetzen, um 150 °C bis 200 °C höhere Temperaturen als mineralische Öle und bietet Metalloberflächen besseren Schutz vor Säureangriffen. Allerdings sind diese Öle erheblich teurer.

Emissionen und Immissionen und Hinweise zu deren Minderung

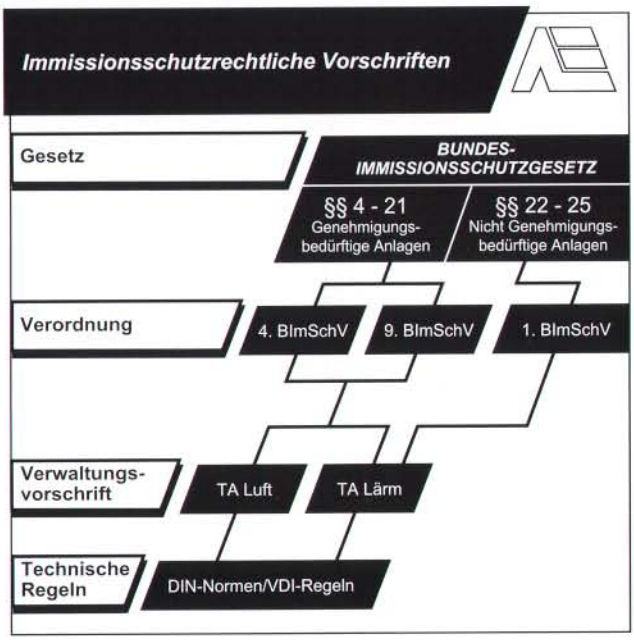


Bild 14

Der Gesetzgeber hat 1974 zum Schutz der Bevölkerung vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche und ähnliche Vorgänge das Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) geschaffen. Dieses Gesetz und einige der zugehörigen Rechtsverordnungen und Verwaltungsvorschriften sind in ihrer Zuordnung aus Bild 14 zu ersehen.

Vgl. auch ASUE-Broschüre „Genehmigungsverfahren für Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen"

Bundes-Immissionsschutzgesetz

Die Vorschriften dieses Gesetzes gelten u. a. für die Errichtung und den Betrieb von Anlagen, die Emissionen verursachen können.

Anlagen, die aufgrund ihrer Beschaffenheit oder ihres Betriebes in besonderem Maße geeignet sind, schädliche Umwelteinwirkungen hervorzurufen, bedürfen einer Genehmigung. Die als genehmigungsbedürftig eingestuften Anlagen sind in der Vierten Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes aufgelistet (4. BImSchV). BHKW mit Verbrennungsmotoren sind ab einer Feuerungswärmeleistung von 1 MW genehmigungsbedürftig (ca. 300 kW elektrisch), biogasbetriebene BHKW bereits ab einer Feuerungswärmeleistung größer 350 kW. BHKW, die mit Deponiegas oder Klärgas aus der Landwirtschaft und der Abfallvergärung oder Altöl betrieben werden, sind unabhängig von ihrer Feuerungswärmeleistung genehmigungsbedürftig.

Die Genehmigung zur Errichtung und zum Betrieb einer Anlage hat zur Voraussetzung, dass die Emissionen entsprechend den festgeschriebenen Werten begrenzt und die vorgeschriebenen Immissionswerte im Einwirkungsbereich der Anlage nicht überschritten werden.

Verwaltungsvorschriften

Die Bundesregierung hat allgemeine Verwaltungsvorschriften erlassen, insbesondere über:

- Immissionswerte, die nicht überschritten werden dürfen,
- Emissionswerte, die nicht überschritten werden dürfen,
- die Verfahren zur Ermittlung der Emissionen und Immissionen.

TA Lärm (Bild 15)
Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm

Als Lärm werden die Schallereignisse bezeichnet, die Nachbarn bzw. Dritte stören können. Zur Begrenzung der Einwirkung eines von einer Anlage ausgehenden Geräusches werden Immissionsrichtwerte festgesetzt, differenziert nach Tageszeit und der umgebenden Bebauung.

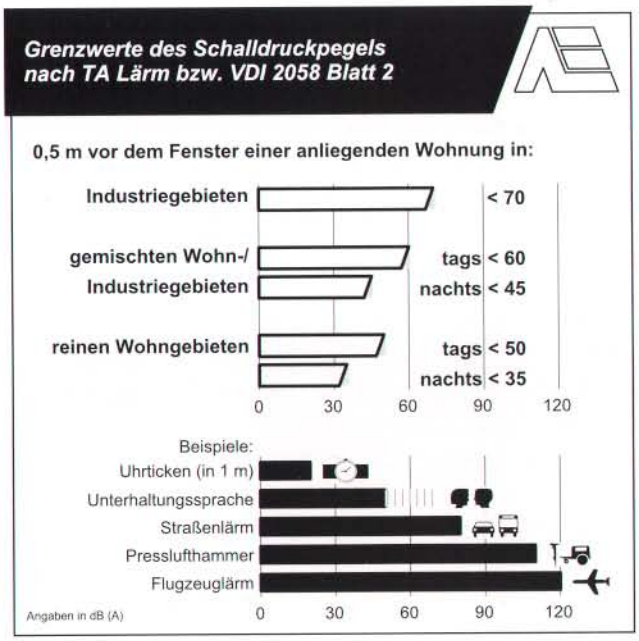


Bild 15

In der TA Lärm werden außerdem die Randbedingungen für die Messung der Geräuschimmission genau festgelegt (Messgeräte, Messorte, Messzeiten, Auswertung der Messergebnisse).

Die TA Lärm ist derzeit gültig in der Fassung vom 26. August 1998. Sie legt Grenzwerte für sechs unterschiedliche Umgebungsbebauungen fest. Diese reichen von 35 dB(A) Gesamtbelastung nachts im Wohngebiet bis zu 70 dB(A) Gesamtbelastung im Industriegebiet (Bild 15).

Zu Beginn der Planung wird eine Abstimmung mit der örtlichen Genehmigungsbehörde zur Klärung aktueller länderspezifischer Anforderungen empfohlen.

Die vom BHKW ausgehenden Geräusche sind weitgehend gleich bleibend. Als Grenze muß der für die Nachtzeit geltende Richtwert angesetzt werden. Um Unsicherheiten in der Berechnung und bei der Ausführung auszugleichen, sollten die Anforderungen in der Ausschreibung um ca. 3 dB(A) unterhalb der zulässigen Grenzwerte liegen. Die Geräuschmessung in der Umgebung wird nach TA Lärm im Abstand von 0,5 m vor dem vom Lärm am stärksten betroffenen Fenster eines Wohngebäudes in der Nachbarschaft gemessen.

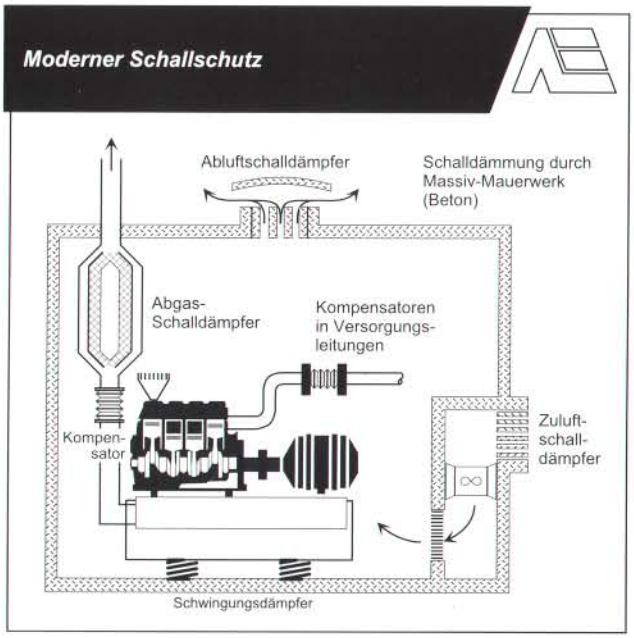


Bild 16

Schalldämmung und -dämpfung

Bei der Übertragung von Schall ist zu unterscheiden zwischen

- Luftschall (Abgas, Zuluft, Abluft, Brenngas)
- Körperschall (Schwingungsübertragung durch alle festen Verbindungen zum BHKW)

In Bild 16 sind die gebräuchlichen Schalldämpfungsmaßnahmen aufgezeigt. Hierzu gehören Kompensatoren in den Versorgungsleitungen und Schalldämpfer in Zu- und Abluftleitungen und im Abgassystem zur Reduzierung des Luftschalls sowie Schwingungselemente unter dem BHKW-Modul zur Reduzierung von Körperschall.

Darüber hinaus sind Schalldämmungsmaßnahmen für den gesamten Aufstellort erforderlich, entweder durch Schallschutzkapseln oder den Schallschutz des gesamten Gebäudes.

Schallschutzkapseln

Je nach Bedarf kann für jedes einzelne Aggregat eine Schallschutzkabine vorgesehen werden oder eine gemeinsame für alle Aggregate.
Eine schallschluckende Innenauskleidung aus Mineralwolle allein ist nicht ausreichend. Sollen höhere Dämmwerte erreicht werden, empfiehlt es sich, die kostenintensivere zweischalige Sandwich-Bauweise mit Zwischenlage anzuwenden.

Schallschutz am Gebäude

Die Luftschalldämmung eines Gebäudes ist im wesentlichen vom Flächengewicht der Außenwände abhängig. Normalbeton bietet in den meisten Fällen einen ausreichenden Schallschutz für BHKW, weil diese Bauteile überdurchschnittlich schwer sind und daher die Schallenergie gut absorbieren.

Die langjährigen Erfahrungen der Hersteller und Betreiber von BHKW haben inzwischen zu bewährten Lösungen der Schalldämmung und -dämpfung geführt. Diese Lösungen gewährleisten ein sicheres Einhalten der TA Lärm.

TA Luft
Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft

Die Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA Luft) dient dem Schutz und der Vorsorge gegen schädliche Umwelteinwirkungen, die durch Veränderungen in der natürlichen Zusammensetzung der Luft hervorgerufen werden.

Die von einer Anlage ausgehenden Luftverunreinigungen sind die Emissionen, gemessen als Massenkonzentration in mg/m³ Abgas im Normalzustand (0 °C, 1013 mbar) oder als Massenstrom in kg/h. Dem Abgas zugeführte Luftmengen bleiben bei der Bestimmung der Massenkonzentration unberücksichtigt.

Die auf Menschen, Tiere und die Umwelt einwirkenden Luftverunreinigungen werden als Immissionen bezeichnet. Sie werden z. B. angegeben als Massenkonzentration in der Einheit mg/m³ verunreinigter Luft. Aus meteorologischen und messtechnischen Gründen wird der Einwirkungsort auf 1,50 m als Höhe über dem Erdboden bzw. der Vegetation oder als Abstand von der Oberfläche eines Bauwerks festgelegt.

Emissionsgrenzwerte für BHKW nach TA Luft

Geltungsbereich	Feuerungswärmeleistung/MW	Emissionsgrenzwerte in mg/m³*
Deponiegas/Altöl etc.	alle	
andere Brennstoffe	≥ 1	
NO_x **		
4-Takt-Motor		500
2-Takt-Motor		800
Selbstzündungsmotoren***	< 3	4.000
	≥ 3	2.000
CO		650
	Massenstrom/kg/h	
Organische Stoffe		
Klasse I	≥ 0,1	20
Klasse II	≥ 2,0	100
Klasse III	≥ 3,0	150
Staub		
Motoren		130
Einsatz von Rußfiltern ist anzustreben		

* Bezugssauerstoffgehalt im trockenen Abgas 5 Vol.-%
** Keine Anwendung bei Anlagen für Notstrom
*** Emissionsminderungsmaßnahmen sind auszuschöpfen

Bild 17

Emissionswerte

Die Grenzwerte der TA Luft für Verbrennungsmotorenanlagen im Einzelnen lassen sich aus Bild 17 entnehmen.

Sie sind in mg/m³ Abgas im Normalzustand definiert und werden einheitlich auf einen Rest-Sauerstoffgehalt (O_2) von 5 % im trockenen Abgas bezogen.

Der SO_2-Grenzwert für Gasmotoren ist aufgrund des zu vernachlässigenden Schwefelgehaltes des Erdgases bei reinem Erdgasbetrieb ohne Bedeutung. Auch die Kohlenstoffmonoxid(CO)-Werte entsprachen bisher schon weitgehend den heutigen Anforderungen. Demgegenüber werden hinsichtlich des Schadstoffs NO_x erhebliche Anforderungen gestellt. Dabei liegen die zulässigen NO_x-Grenzwerte für Gas-Ottomotoren deutlich unter denen für Selbstzündungsmotoren (Diesel- oder Gas-Dieselmotoren). Innerhalb der Gruppe der Gas-Ottomotoren wird der geforderte NO_x-Grenzwert für 4- und 2-Takt-Maschinen unterschieden.

Die in Bild 17 genannten und dem Stand der Technik des Jahres 1986 entsprechenden Grenzwerte sind mit einer Dynamisierungsklausel belegt, d. h., sie sind nach dem jeweiligen Stand der Technik fortzuschreiben. In der Praxis bedeutet dies bei Genehmigung einer BHKW-Anlage nach aktuellem Stand der Technik in der Regel eine Reduzierung der Grenzwerte der TA Luft durch die Genehmigungsbehörden.

Empfehlungen des Länderausschusses für Immissionsschutz - LAI - (Mai 1991)

Geltungsbereich	Feuerungswärmeleistung/MW	Emissionswerte mg/m³
Selbstzündungsmotoren	alle	
NO_x		
gasbetriebene Zündstrahlmotoren		500
sonstige Motoren		Einzelfallprüfung, Zielwert 1.000
*Staub**		
gasbetriebene Zündstrahlmotoren		50
Sonstige Motoren	< 1**	Einzelfallprüfung, Zielwert 80
	≥ 1	Einzelfallprüfung, Zielwert 50

Erreichbar durch folgende ***Technische Maßnahmen***
NO_x Abgasrückführung
SCR-Verfahren
Staub* Motorische Maßnahmen
Einsatz von Rußfiltern
(außer bei Notstromaggregaten)

* Nur Neuanlagen
** Bei Notstromaggregaten alle Leistungen

Bild 18

Für Selbstzündungsmotoren hat der Länderausschuss für Immissionsschutz – LAI – eine erste Aktualisierung der Grenzwerte, entsprechend dem Stand der Technik, festgeschrieben (Bild 18).

Abgasanlagen

Die Ableitung der Verbrennungsgase von Blockheizkraftwerken in Gebäuden erfolgt nach den Vorschriften der Feuerungsverordnung (FeuVO) unter Überdruck in Abgasanlagen bis über Dach. Die Abgasleitungen bestehen aus montagefertigen Elementen oder geschweißten Rohren aus legiertem, chemisch beständigem, nicht rostendem Edelstahl in feuchte- und gasdichter Ausführung. Die Einleitung von Abgasen in überdruckfeste, bauartzugelassene Schornsteine ist für BHKW mit einer Feuerungsleistung bis ca. 200 kW möglich.

Die Berechnung des lichten Querschnitts der Abgasleitung erfolgt nach DIN 4705 Teil 1. Die Höhe der Abgasanlage über Dach wird für erdgasbetriebene BHKW bis 1 MW Feuerungsleistung nach VDI 3781, Blatt 2 und 4 bestimmt. Erdgasbetriebene BHKW-Module mit einer Feuerungsleistung bis 1 MW und Verbrennungsmotoren für den Einsatz von Altöl, Deponiegas, Klärgas (unabhängig von der Leistung) sowie Biogas (> 350 kW) sind genehmigungsbedürftige Anlagen nach der 4. BImSchV. Für diese Anlagen ist ein Immissionsgutachten einzuholen, in dem die Mindesthöhe der Abgasanlage festgelegt ist.

Verfahren zur Emissionsminderung

Zur Emissionsminderung werden Primär- und Sekundärmaßnahmen und Kombinationen aus beiden Verfahren eingesetzt.

Primärmaßnahmen

Unter Primärmaßnahmen werden motorische Maßnahmen verstanden, die dazu führen, dass höhere Schadstoffkonzentrationen erst gar nicht gebildet werden.

Zu unterscheiden ist zwischen konstruktiven Maßnahmen, die bereits bei der Konzeption des Motors berücksichtigt werden (Brennraumgestaltung, Verdichtungsverhältnis, Gemischbildung usw.), und betrieblichen Eingriffen, die auch noch an bestehenden Anlagen realisierbar sind (Abmagerung des Brenngas-Luft-Verhältnisses, des Zündzeitpunktes oder der Motorbelastung).

Allein durch diese Primärmaßnahmen lassen sich zum Teil die Emissionsanforderungen erfüllen. Zur Einhaltung der TA Luft wird z. B. das Verbrennungsluftverhältnis Lambda, welches das Verhältnis der tatsächlich vorhandenen Luftmenge zu der theoretisch erforderlichen Luftmenge ist, auf einen Wert von 1,8 bis 2,2 angehoben.

Sekundärmaßnahmen

Bei den Sekundärmaßnahmen wird dem Verbrennungsmotor eine Abgasnachbehandlungsanlage nachgeschaltet. Letztere kann umso kleiner, einfacher und damit kostengünstiger sein, je weniger Schadstoffe der Motor produziert.

NSCR-Verfahren

Zu dem NSCR-Verfahren (**N**on-**S**elective **C**atalytic **R**eduction) sind die Konzepte mit Dreiwege- oder Oxidationskatalysator zu zählen.

Ein häufig eingesetztes Konzept zur Schadstoffminderung bei Gas-Ottomotoren ist das Lambda=1-Prinzip mit nachgeschaltetem Dreiwegekatalysator. Die Bezeichnung Dreiwegekatalysator sagt aus, dass die drei Schadstoffkomponenten NO_x, CO und HC (Kohlenwasserstoffe) gleichzeitig verringert werden.

Optimale Konversionsraten werden mit diesem Verfahren nur erreicht, wenn „Lambda" konstant auf dem Wert von knapp unter 1 (ca. 0,99) gehalten werden kann.

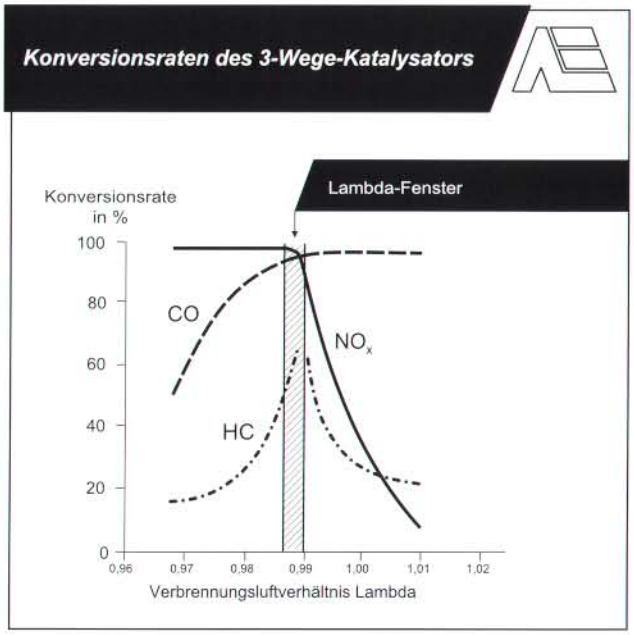


Bild 19

Die zulässige Schwankungsbreite für diesen Wert („Lambda-Fenster") beträgt lediglich 4 bis 5 Tausendstel. Nur innerhalb dieses äußerst schmalen Bereichs werden maximale Konversionsraten erreicht, die dann allerdings für NO_x bis 99 %, für CO bis 95 % und für HC bis 70 % reichen (Bild 19).

Als Hilfsmittel für die exakte Einhaltung des Lambda-Wertes dient eine Sonde aus Zirkoniumdioxid (Lambda-Sonde), welche den Rest-Sauerstoffgehalt im Abgas hinter der Maschine misst. Das Brenngas-Luft-Verhältnis wird über eine Regelelektronik in Abhängigkeit von dem Sondensignal beeinflusst (Bild 20).

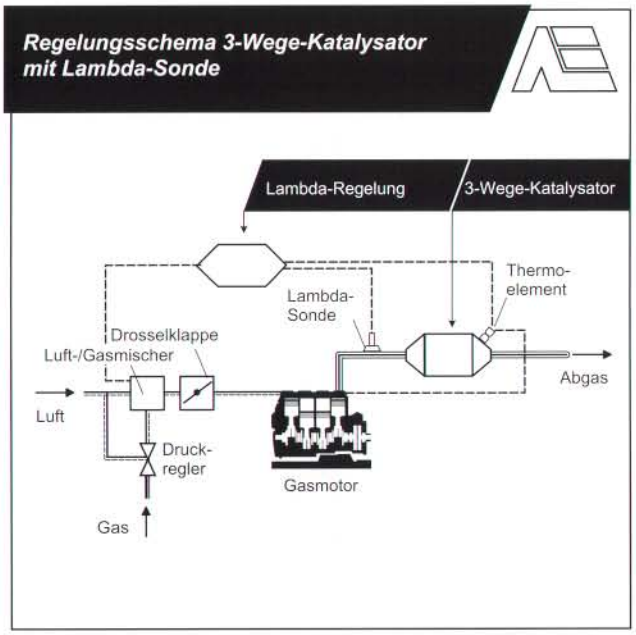


Bild 20

Oxidationskatalysatoren werden zur Verminderung der CO- und HC-Emissionen von Verbrennungsmotoren im Betriebsbereich von Lambda > 1 eingesetzt, d. h. für Magermotoren. Dabei finden geregelte oder ungeregelte Katalysatoren Verwendung, wobei an die Regelgenauigkeit geringere Anforderungen als beim Lambda=1-Prinzip gestellt werden.

SCR-Verfahren

Das SCR-Verfahren (**S**elective **C**atalytic **R**eduction) wird ebenfalls bei Motoren eingesetzt, die mit Luftüberschuss (Lambda > 1) betrieben werden müssen, wie beispielsweise Gas-Diesel- oder Zweitaktmaschinen.

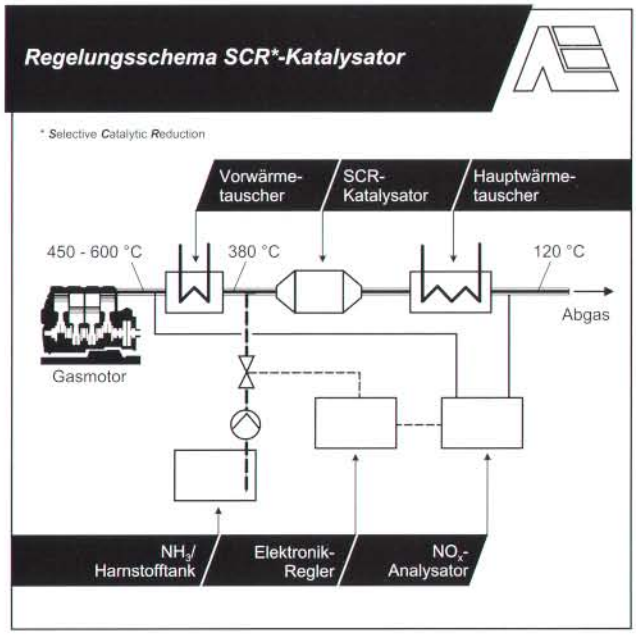


Bild 21

Der selektiv arbeitende Katalysator beeinflusst mit Hilfe eines dem Abgas zudosierten Reduktionsmittels nur die Schadstoffkomponente NO_x (Bild 21). Verbleibt beim SCR-Verfahren ein zu hoher CO- oder HC-Anteil im Abgas, kann ein Oxidationskatalysator nachgeschaltet werden.

Als Reduktionsmittel wird Ammoniakgas oder Harnstoff eingesetzt, wobei in der Praxis eine 25 %ige wässrige Lösung wegen der einfacheren Handhabung bevorzugt wird. Sie wird unmittelbar in den heißen Abgasstrom vor dem Katalysator eingedüst. Das Reduktionsmittel wird abhängig von der angestrebten NO_x-Minderung ungeregelt oder auf Basis einer NO_x-Analyse geregelt zudosiert.

Kombination von Primär- und Sekundärmaßnahmen

Häufig werden Primär- und Sekundärmaßnahmen in Kombination angewendet. Ein Beispiel dafür ist das Magerkonzept. Bei diesem Verfahren wird das den Zylindern zugeführte Brenngas-Luft-Gemisch abgemagert, d. h., der Luftüberschuss wird erhöht. Das Verbrennungsluftverhältnis wird dabei je nach Hersteller auf einen Wert zwischen 1,8 und 2,2 angehoben.

Durch die Abmagerung kann die Verbrennungstemperatur gesenkt und damit der NO_x-Gehalt im Abgas bis unter den Grenzwert der TA Luft vermindert werden. Die CO- und HC-Emissionen nehmen hierdurch allerdings zu. Sie können durch motorische Maßnahmen in der Regel nicht in dem geforderten Umfang vermindert werden, sodass dem Magermotor häufig ein Oxidationskatalysator nachgeschaltet werden muss.

Anwendung und Bewertung der Verfahren

Der Schadstoffausstoß von Verbrennungsmotoren kann mit Hilfe der beschriebenen Maßnahmen erheblich vermindert werden.

Mit den geringsten Schadstoffemissionen kann beim Einsatz des Dreiwegekatalysators gerechnet werden. Der Magermotor mit nachgeschaltetem Oxidationskatalysator erreicht nicht ganz so niedrige Emissionen; die in der TA Luft festgelegten Grenzwerte werden aber sicher eingehalten. Beide Verfahren kommen überwiegend an Neuanlagen zur Ausführung. Die Möglichkeiten einer Nachrüstung an Altanlagen müssen im Einzelfall überprüft werden.

Das SCR-Verfahren ist die kostenintensivste Maßnahme und wird deshalb nur bei großen Motoreinheiten eingesetzt. Es kann auch an Altanlagen nachgerüstet werden.

Mit den verschiedenen Katalysatoren liegen inzwischen langjährige Betriebserfahrungen vor, die den Herstellern erlauben, Garantiezeiten von 15.000 bis 20.000 Stunden oder 3 bis 4 Jahren zu gewähren.

Planung und Auslegung

Dimensionierung

Die Auslegung des BHKW sollte so erfolgen, dass die anfallenden Koppelprodukte Strom und Wärme möglichst vollständig genutzt werden.

Für eine erste Abschätzung eignet sich die „BHKW-Checkliste" der ASUE.

Zur exakten Planung einer BHKW-Anlage wird die VDI-Richtlinie 3985 empfohlen.

Die wesentlichen Planungsaspekte sind:

- Ermittlung der Struktur für den Strom- und Wärmebedarf
- Auswahl eines BHKW, das sich mit seiner Energieerzeugungsstruktur der Energiebedarfsstruktur des Planungsobjektes so anpasst, dass die Koppelprodukte Strom und Wärme möglichst vollständig genutzt werden können
- wirtschaftliche Bewertung des Planungsfalls

Für die Ermittlung der Energiebedarfsstruktur für Neuanlagen sollten die Daten vergleichbarer Anlagen herangezogen werden. Falls in existierenden Anlagen die Daten der Energiebedarfsstruktur nicht vorliegen, sind Verbrauchsmessungen an repräsentativen Tagen durchzuführen und auf den Jahresbedarf hochzurechnen.

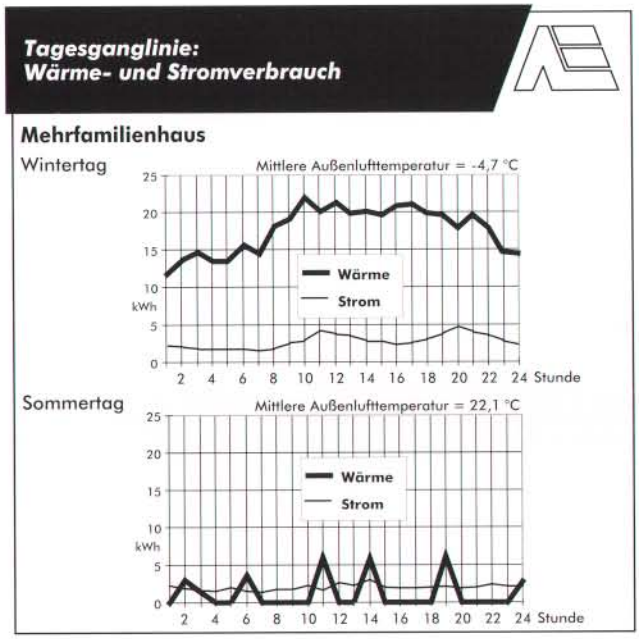


Bild 22

Wie unterschiedlich der Energiebedarf sein kann, zeigen beispielhaft die Tagesganglinien eines Mehrfamilienwohnhauses für einen Winter- und einen Sommertag (Bild 22).

VDI-Richtlinie 3985

Als adäquates Hilfsmittel für Planer von BHKW-Anlagen wurde die VDI-Richtlinie 3985 „Grundsätze für Planung, Ausführung und Abnahme von Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen mit Verbrennungskraftmaschinen" erstellt.

Diese Richtlinie ist als Leitfaden für den gesamten Planungsablauf von BHKW-Anlagen gedacht und bezieht sich detailliert auf folgende Aspekte:

Teil A: Grundsätze für die Planung
Teil B: Ausführung
Teil C: Inbetriebnahme/Abnahme

Im Teil A sind die einzelnen Planungsschritte erläutert:

Begriffsbestimmungen
Zuständigkeiten
Planung
Konzepterstellung für das BHKW
Variantenrechnung
Wahl der Konzeptvariante
Realisierungsentscheidung
Detailplanung
Angebote und Auftragsvergabe
Aktualisierung der Energiebezugsverträge

In einem tabellarisch aufgebauten Planungsablauf wird der Planer schrittweise zum Planungsziel geführt.

Im Anhang zu dieser Richtlinie ist eine umfangreiche Sammlung zugehöriger Normen, Richtlinien und Vorschriften aufgeführt.

Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen

Um die Wirtschaftlichkeit eines BHKW nachzuweisen, sind die Jahresenergiekosten einer Anlage, die einerseits ohne und andererseits mit BHKW betrieben wird, gegenüberzustellen. Dieser Vergleich ist auf die Gesamtanlage zu beziehen, weil sich durch den BHKW-Einsatz die Struktur des Energiefremdbezuges ändert.

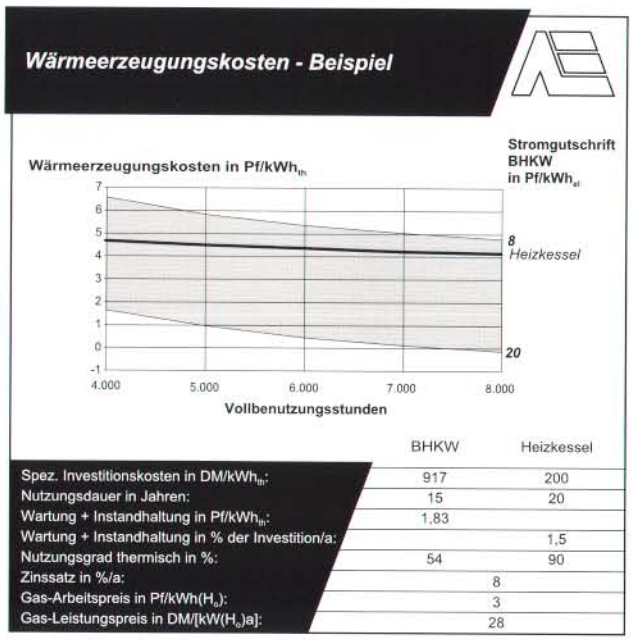
Zunächst ist die Betriebsweise der BHKW-Anlage festzulegen. Sie beeinflusst die Wirtschaftlichkeit der Anlage maßgebend. In erster Linie ist sie jedoch von den Energiebezugsverträgen des Betreibers der BHKW-Anlage abhängig.

In der Regel sollte mit der BHKW-Anlage die teuerste Energieart substituiert werden. Für ein Privatunternehmen ist die stromgeführte Betriebsweise prädestiniert, weil der Preis der elektrischen Energie in der Regel höher als der Preis der thermischen Energie ist.

Die wärmegeführte Betriebsweise ist hierbei weniger zu empfehlen, denn die Stromeinspeisevergütung deckt derzeit nur in seltenen Fällen die Erzeugungskosten der Eigenstromproduktion. Einem Energieversorgungsunternehmen, das außer Strom und Gas auch Fernwärme liefert, kann die wärmegeführte Betriebsweise wirtschaftliche Vorteile bieten. Neben der Wärmeerzeugung und dem damit verbundenen Wärmeverkauf wird durch das Koppelprodukt Strom die Strombezugsarbeit und die Strombezugsleistung reduziert.

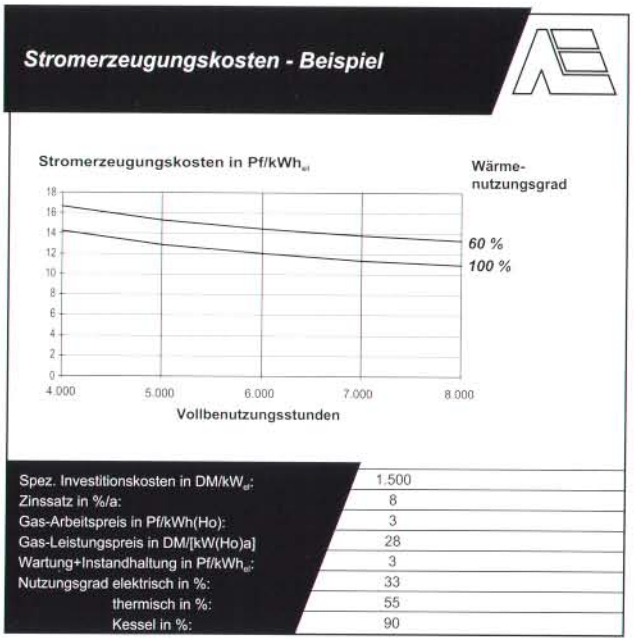
Die Wärmeerzeugungskosten in Abhängigkeit der Vollbenutzungsstunden bei unterschiedlicher Stromgutschrift zeigt Bild 23. Es sind Kurven für eine Stromgutschrift zwischen 8 und 16 Pf/kWh$_{el}$ dargestellt. Bei Vollbenutzungsstunden von 4.000 bis 8.000 h/a kann mit einem BHKW die Wärme zwischen 0 und 6,5 Pf/kWh$_{th}$ erzeugt werden. Dieses Diagramm gilt ausschließlich für die dort angegebenen Annahmen.

Im Bild 24 sind die Stromerzeugungskosten in Abhängigkeit von den Vollbenutzungsstunden bei einem Wärmenutzungsgrad von 60 bis 100 % dargestellt. Sie liegen zwischen 11 und 17 Pf/kWh$_{el}$. Zur Berechnung der Wärmegutschrift wurde ein Kesselnutzungsgrad von 90 % angenommen. Es gelten ferner die für Bild 23 getroffenen Annahmen.



	BHKW	Heizkessel
Spez. Investitionskosten in DM/kWh$_{th}$:	917	200
Nutzungsdauer in Jahren:	15	20
Wartung + Instandhaltung in Pf/kWh$_{th}$:	1,83	
Wartung + Instandhaltung in % der Investition/a:		1,5
Nutzungsgrad thermisch in %:	54	90
Zinssatz in %/a:	8	
Gas-Arbeitspreis in Pf/kWh(H$_o$):	3	
Gas-Leistungspreis in DM/[kW(H$_o$)a]:	28	

Bild 23



Spez. Investitionskosten in DM/kW$_{el}$:	1.500
Zinssatz in %/a:	8
Gas-Arbeitspreis in Pf/kWh(Ho):	3
Gas-Leistungspreis in DM/[kW(Ho)a]	28
Wartung+Instandhaltung in Pf/kWh$_{el}$:	3
Nutzungsgrad elektrisch in %:	33
thermisch in %:	55
Kessel in %:	90

Bild 24

Stromvergütung bei Netzeinspeisung

Die Wirtschaftlichkeit eines BHKW wird maßgeblich von der so genannten Stromgutschrift, den Erlösen für den mit dem BHKW erzeugten Strom, beeinflusst. Soweit dieser Strom vor Ort nicht genutzt werden kann, wird er in das vorgelagerte Netz des örtlichen Elektrizitätsversorgungsunternehmens (EVU) eingespeist. Die hierfür erzielbaren Vergütungen orientieren sich bislang überwiegend an den Grundsätzen einer Vereinbarung zwischen der Vereinigung Deutscher Elektrizitätswerke (VDEW) sowie dem Bundesverband der Deutschen Industrie (BDI) und dem Verband der Industriellen Energie- und Kraftwirtschaft (VIK) über die Weiterentwicklung der stromwirtschaftlichen Zusammenarbeit zwischen öffentlicher Versorgungswirtschaft und industrieller Stromerzeugung aus dem Jahre 1994. Die dort formulierten Grundsätze enthalten folgende Maßgaben:

- Für den Parallelbetrieb mit dem öffentlichen Netz wird kein Entgelt berechnet.
- Zusatzstrombezieher werden Vollstrombeziehern grundsätzlich gleichgestellt.
- Der Eigenerzeuger entscheidet, ob und in welchem Umfang er Reserveleistung bestellen will.
- Die EVU sind grundsätzlich bereit, Überschussstrom aus industriellen Eigenanlagen in ihre Netze aufzunehmen. Bei KWK-Anlagen mit Verbrennungskraftmaschinen, d. h. auch bei BHKW, wird zur Voraussetzung gemacht, dass eine Nutzung der erzeugten Produktions- und Raumwärme – ggf. über Zwischenspeicherung – tatsächlich erfolgt. Dies ist auf Nachfrage in geeigneter Weise nachzuweisen.

Die Einspeisevergütung richtet sich nach folgenden Kriterien:

- Vorrang hat die individuelle Regelung zwischen dem Einspeiser und dem aufnehmenden EVU, die sich anhand der tatsächlich vermiedenen Kosten der Stromerzeugung einschl. Verlusten bei Transport und Verteilung orientieren soll.
- Bei Einspeisungen in das Mittel- und Niederspannungsnetz (ohne Programmlieferverpflichtung) wird ein zweigliedriger Strompreis vergütet, der sich aus einem Arbeitspreis – differenziert nach 4 Zeitzonen – und einem Leistungspreis – differenziert nach Winter und Sommer – zusammensetzt. Maßgeblich für die Vergütung nach diesem Modell ist u. a. die Kontinuität, mit der ein Eigenerzeuger mit einer vorher festgelegten Soll-Leistung in das Netz des EVU einspeist.
- Für Kleineinspeisungen in das Niederspannungsnetz (bis etwa 30 kW) können vereinfachte Durchschnittspreise festgelegt werden.
- Einspeisungen in das Hochspannungsnetz sollen unter angemessener Berücksichtigung der beiderseitigen Belange individuell vereinbart werden.

Mit diesem sehr umfangreichen Regelungsgerüst wurde eine gewisse Verbesserung der Stromeinspeisevergütungen auch für BHKW-Betreiber erreicht. In vielen Fällen führen diese Regelungen allerdings noch zu unbefriedigenden Ergebnissen. Hinzu kommt, dass insbesondere kleinere Anlagenbetreiber mit dem komplexen Berechnungsmodus überfordert sind.

Betreiber von BHKW, die erneuerbare Energien in Anlagen bis zu einer Leistung von 5 MW einsetzen, können auf die wesentlich günstigeren Regelungen des Stromeinspeisungsgesetzes vom 07. Dezember 1990 in der aktuellen Fassung vom 28. April 1998 Bezug nehmen. Danach beträgt die Vergütung für Strom aus Deponiegas, Klärgas sowie aus Biomasse bis zu einer Leistung von 500 kW_{el} mindestens 80 % des Durchschnittserlöses je kWh aus der Stromabgabe der EVU an alle Letztverbraucher. Die Einspeisevergütung für Strom aus größeren Anlagen beträgt mindestens 65 % des genannten Durchschnittserlöses.

Stromverkauf an Dritte

Mit dem 1998 in Kraft getretenen neuen Energiewirtschaftsgesetz ist es prinzipiell auch möglich geworden, den mit der BHKW-Anlage erzeugten Strom frei an Dritte zu verkaufen (per Durchleitung oder über eine eigene Leitung). Die Preise sind hierbei nach marktwirtschaftlichen Gesichtspunkten frei aushandelbar.

Contracting

Trotz positiver Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen von BHKW-Projekten können folgende Hemmnisse die Finanzierung und damit auch die Realisation erheblich behindern:

- Andere Investitionen im gleichen Objekt sind dringender oder wirtschaftlicher.
- Die Erlöse aus den reduzierten Energiekosten fließen nicht dem Investor zu (z. B. Problem der dualen Finanzierung von Krankenhäusern).
- Kommunaler Bereich: Im Vermögenshaushalt sind keine Mittel mehr frei, obwohl durch ein BHKW der Verwaltungshaushalt deutlich entlastet werden könnte.

Als Lösungsmöglichkeit bietet sich in solchen Fällen das Contracting an, bei dem ein externes Unternehmen (Contractor) alle Aktivitäten übernimmt, die der BHKW-Nutzer nicht wahrnehmen kann. Solche Dienstleistungen können sich auf Planung, Bau, Finanzierung und Betrieb von BHKW-Anlagen erstrecken. Contracting wird angeboten bzw. vermittelt von Energieversorgungsunternehmen, Energieagenturen, BHKW-Herstellern, Ingenieurbüros und speziellen Contracting-Unternehmen.

Drei Contracting-Modelle sollen im folgenden vorgestellt werden. Allen Modellen sind zwei Regelungen gemeinsam:

1. Der Contractor (oder die Projektgesellschaft) übernimmt Planung, Bau, Finanzierung und Instandhaltung der BHKW-Anlage für den Nutzer.
2. Die Eigentumssicherung der BHKW-Anlage erfolgt durch Eintragung einer beschränkten persönlichen Dienstbarkeit.

Nutzungsüberlassung – Modelltyp 1 (Bild 25)
Die betriebsbereite BHKW-Anlage wird dem Nutzer vom Contractor zum Eigenbetrieb überlassen und während der Vertragslaufzeit instand gehalten. Der Bezug von Erdgas für den BHKW-Antrieb sowie von Reserve- und Zusatzstrom (ggf. Regelung der Stromeinspeisung) sind Aufgaben des Nutzers, der damit auch Betreiber der Anlage ist.

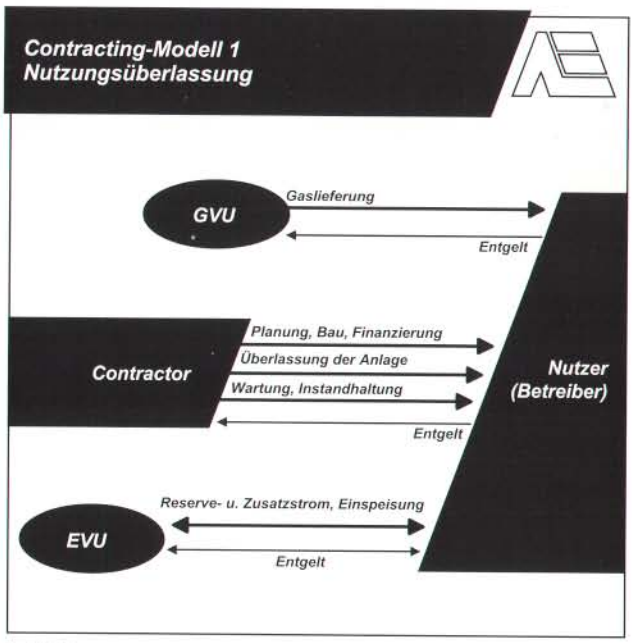


Bild 25

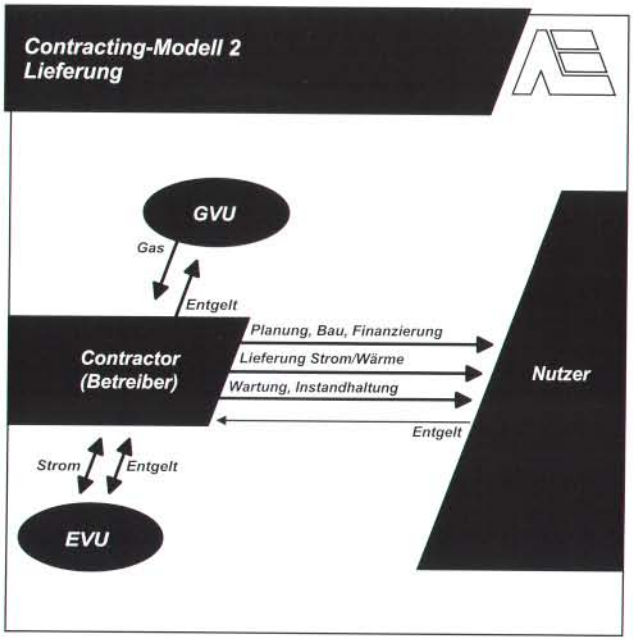


Bild 26

Lieferung – Modelltyp 2 (Bild 26)
In Ergänzung zu den Aufgaben gemäß Modelltyp 1 übernimmt der Contractor beim Lieferungsmodell auch noch den Erdgasbezug und die Stromversorgung (ggf. auch die Stromeinspeisung). Das Entgelt für den Contractor setzt sich in der Regel aus einer Grundgebühr sowie Arbeitspreisen für gelieferte Wärme und gelieferten Strom zusammen.

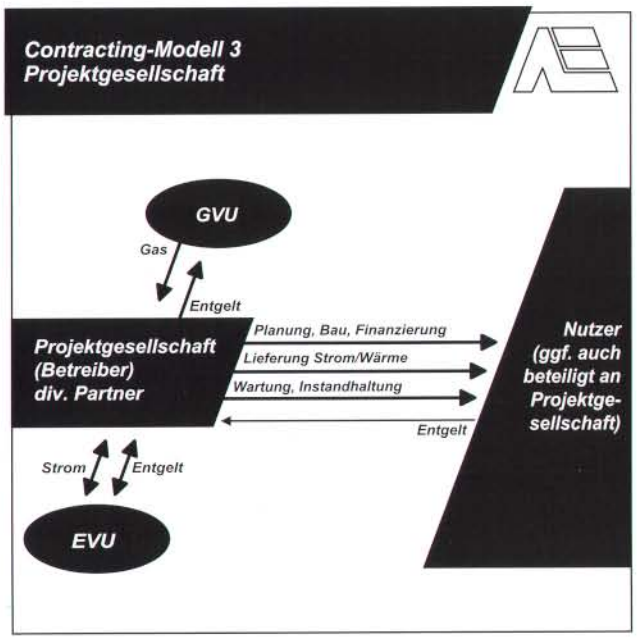


Bild 27

Projektgesellschaft – Modelltyp 3 (Bild 27)
An die Stelle des Contractors nach dem Liefermodell tritt eine Projektgesellschaft, an der sich unterschiedliche Partner – ggf. auch der Nutzer selbst – beteiligen. Risiken und unterschiedliche Versorgungsinteressen können durch Projektgesellschaften ausgeglichen werden.

Weitere Informationen zu Contractingmodellen in ASUE-Schriftenreihe Band 16: „Kraft-Wärme-Kopplung" und ASUE-Broschüren „BHKW in Krankenhäusern" und „Contracting".

Steuerliche Aspekte

Die Verwendung von steuerbegünstigtem Mineralöl in BHKW-Anlagen – dazu zählt steuerrechtlich auch Erdgas – ist in der Mineralölsteuer-Durchführungsverordung (MinöStV) geregelt. Danach heißt es:

„Steuerbegünstigtes Mineralöl darf nicht zum Antrieb von Motoren verwendet werden, außer zum Antrieb von Gasturbinen und Verbrennungsmotoren in ortsfesten Anlagen, die ausschließlich

a) (vorbehaltlich einer Erlaubnis nach §19 Mineralölsteuer-Durchführungsverordnung) der gekoppelten Erzeugung von Wärme und Kraft (Kraft-Wärme-Kopplung) oder
b) der Abdeckung von Spitzenlasten in der öffentlichen Stromversorgung oder
c) dem leitungsgebundenen Gastransport oder der Gasspeicherung oder
d) (befristet bis 31.12.2001) der Strom- und Wärmeerzeugung

dienen.

Jede andere motorische Verwendung hat steuer- und strafrechtliche Folgen."

Aufgrund der Änderung der Mineralölsteuer-Durchführungsverordnung vom 23. Juli 1996 ist der Einsatz von ermäßigt versteuertem Erdgas in KWK-Anlagen (d. h. mit dem Heizgassteuersatz von 3,60 DM/MWh belastet) an folgende Voraussetzungen gebunden:

- Verwender, die ab 30. Juli 1996 eine KWK-Anlage in Betrieb nehmen, müssen beim zuständigen Hauptzollamt eine Einzelerlaubnis einholen (Änderung von § 54 MinöStV i. V. m. Änderung von Anlage 1 zu § 21 Abs. 1 MinöStV).

Die aktuelle Gesetzeslage ist unbedingt zu beachten!

Am 1. April 1999 ist das Gesetz zum Einstieg in die ökologische Steuerreform in Kraft getreten. Das Gesetz verteuert die Verwendung von Energie durch die Einführung einer neuen Stromsteuer und durch die Erhöhung der Mineralölsteuer. Andererseits bietet es aber steuerliche Vorteile für KWK-Anlagen, denn diese sind in den meisten Fällen von der Steuererhöhung befreit. Damit können sich – in Abhängigkeit von Anlagengröße und Wirkungsgrad – erhebliche Verbesserungen für die Wirtschaftlichkeit ergeben. Der Gesetzgeber plant, die Steuersätze in jährlichen Stufen kontinuierlich anzuheben.

Ein Überblick über Details der einzelnen Regelungen und das Vorgehen bei Anspruch auf eine Steuerrückerstattung sowie beispielhafte Berechnungen der wirtschaftlichen Vorteile für KWK-Anlagen sind in dem **ASUE-Faltblatt „Die ökologische Steuerreform – Vorteil für Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen"** dargestellt.

Einsatzfelder

Im Folgenden werden anhand der Verbrauchsstrukturen Hinweise zu typischen Einsatzfällen von BHKW-Anlagen gegeben.

Vgl. auch ASUE-Broschüre „BHKW-Beispiele"

Wohnsiedlungen

Der Verlauf des Wärmebedarfs entspricht grundsätzlich dem der Außentemperaturen. Weitgehend unabhängig davon ist jedoch der Warmwasserbedarf. Dieser kann eine Grundlast für einen BHKW-Einsatz darstellen. Neue Wohnanlagen zeichnen sich durch gute Wärmedämmung aus. Hierdurch kann der Heizwärmebedarf für die Brauchwasserbereitung auf einen Anteil von mehr als 1/3 ansteigen.

Bäder

In Freibädern besteht ein Wärmebedarf praktisch nur im Sommer, ggf. sind in der Nähe gleich große Wärmeverbraucher für den Winter zu finden. Höhere Laufzeiten sind in Hallenbädern zu erreichen, die, von einer Reinigungsphase im Sommer abgesehen, das ganze Jahr hindurch geöffnet sind. Die Jahresdauerlinien von Bädern unterscheiden sich durch Zusatzeinrichtungen wie Restauration, Sauna, Sportanlagen usw.

Schulen und öffentliche Gebäude

Die Wärmebedarfsstruktur dieser Einrichtungen wird überwiegend durch fest begrenzte Öffnungszeiten bestimmt. Dadurch sind nur relativ geringe Benutzungsstunden zu erreichen, die durch Einbeziehung nahe liegender zusätzlicher Wärmeobjekte erhöht werden können.

Krankenhäuser

Gleichmäßige Wärmegrundlast und hoher Stromverbrauch bilden bei diesen Abnehmern ideale Voraussetzungen für den Einsatz von KWK-Anlagen. Der erforderliche Notstrombedarf kann direkt mit dem BHKW abgedeckt werden.

Vgl. auch ASUE-Broschüre „BHKW in Krankenhäusern"

Industriebetriebe

Die Jahresdauerlinien weisen einen starken Streubereich auf, der durch unterschiedliche Schichtzeiten und Fertigungsprozesse bedingt ist. Für genauere Untersuchungen sollten Messungen von Strom- und Wärmebedarf durchgeführt werden. Daraus sind die Betriebsstunden für die jeweiligen Leistungsbereiche zu ermitteln. Auch die Aufteilung zwischen Produktions- und Heizungswärme ist bei unterschiedlichem Temperaturniveau in getrennten Kreisläufen möglich.

Kombinationsmöglichkeiten

BHKW und Kältemaschinen

Interessante Kombinationsmöglichkeiten bieten sich mit BHKW und Kälteanlagen für Kaufhäuser, Kühlhäuser, EDV-Anlagen usw. an. Hier können die Gasmotoren direkt zum Antrieb von Kompressoren verwendet werden. Für Neuanlagen bietet es sich an, die im BHKW anfallende Motorwärme während der Stromerzeugung im Sommer für den Betrieb von Sorptionskälteanlagen zu nutzen und damit die Benutzungsstruktur der BHKW-Anlage zu verbessern.

Vgl. auch ASUE-Broschüren „Wärme macht Kälte", „Absorptionskälteanlagen – Grundlagen und Referenzen", „Absorptionskälteerzeugung im Überblick" sowie Band 17 der ASUE-Schriftenreihe „Wärme macht Kälte – Absorptionskälteerzeugung in der Praxis"

BHKW und Wärmepumpen

Liegt der Wärmebedarf eines Objektes wesentlich höher, als er unter üblichen Dimensionierungsmethoden von der Abwärme der Motoren für die Stromerzeugung abgedeckt werden kann, kann die Anlage durch zusätzliche Wärmepumpen ergänzt werden. Hier bietet sich beispielsweise die Nutzung der BHKW-Strahlungswärme mittels Wärmepumpe an.

Direktantriebe

Eine weitere Variante ist die Nutzung des BHKW direkt zum Antrieb von Verdichtern, Kompressoren, Pumpen, Ventilatoren etc. Aufgrund der Mineralölsteuergesetzänderung 1992 ist auch für andere stationäre Antriebe in KWK, die nicht Elektrizität erzeugen, der reduzierte Mineralölsteuersatz vorgesehen. Damit entfällt der in der Vergangenheit notwendige energetisch und ökologisch wenig sinnvolle Umweg über die „elektrische Kopplung".

BHKW und Erdgasentspannungsanlagen

Immer dann, wenn aufgrund der örtlichen Gegebenheiten statt der üblichen Drosselung eine energetische Nutzung des im vorgelagerten Erdgasnetz vorhandenen Druckpotentials wirtschaftlich sinnvoll ist, bietet sich eine Kombination mit einem BHKW an.

Vgl. auch ASUE-Broschüren „Stichwort Entspannung" und „Referenzliste Erdgas-Entspannungsanlagen"

BHKW zur Faulturmbeheizung und Klärschlammtrocknung

Eines der ältesten Einsatzgebiete für die KWK mit Verbrennungsmotoren sind Klärwerke. Hier wird traditionell die Motorenwärme zur Faulturmbeheizung eingesetzt. Ein weiteres Anwendungsgebiet ist die Nutzung der Motorenwärme zur Klärschlammtrocknung in den Fällen, in denen überschüssige Wärme zur Verfügung steht.

Vgl. auch ASUE-Broschüre „Bio-Logisch"

BHKW zur Ersatzstromversorgung

In den Fällen, in denen eine Ersatzstromversorgung – z. B. in Krankenhäusern, Banken, Rechenzentren etc. – erforderlich ist, kann die BHKW-Anlage als Ersatzstromaggregat dienen. Da sie im Gegensatz zu einem Ersatzstromaggregat ständig unter Last läuft, wird die Versorgungssicherheit durch ein BHKW erhöht. Dabei ist die Verfügbarkeit der elektrischen Leistung ausschlaggebend. Durch den modularen Aufbau bietet die BHKW-Technik erhebliche Vorteile.

Neben einer Erhöhung der Versorgungssicherheit ergeben sich aus dem Einsatz von BHKW zur Ersatzstromversorgung zusätzlich wirtschaftliche Vorteile: Im Falle einer Neu- bzw. Ersatzbeschaffung entfallen die Investitionen für ein Ersatzstromaggregat. Im Falle vorhandener Ersatzstromaggregate lassen sich diese in die BHKW-Anlage integrieren und so die Strom- und Wärmelieferung ohne wesentliche Mehrinvestitionen erhöhen. Ferner entfallen die Kosten für den Stand-by-Betrieb sowie den monatlichen Probelauf des Ersatzstromaggregates. Die dabei erzeugte Energie bleibt zudem in der Regel ungenutzt.

Gegenüber einem Notstromdiesel ergeben sich Vorteile bezüglich der Brennstoffbevorratung: Während Erdgas als Brennstoff für ein BHKW unterbrechungsfrei in erforderlichem Umfang uneingeschränkt zur Verfügung steht, muss Dieselöl mindestens für einen 24-Stunden-Betrieb gelagert werden.

Brennstoffeinsatz

Erdgas

Die für die BHKW-Technik verfügbaren Verbrennungsmotoren eignen sich in besonderer Weise für den Betrieb mit dem Energieträger Erdgas. Die positiven Eigenschaften des Erdgases, sein von Natur aus gasförmiger Zustand und sein geringerer Gehalt an schadstoffbildenden Bestandteilen, verbinden sich in hervorragender Weise mit der Energiespartechnik des BHKW.

Erdgas besteht im wesentlichen aus Methan sowie aus Ethan, Propan und Butan, aus Spuren höherer Kohlenwasserstoffe sowie Stickstoff und Kohlendioxid. Erdgas ist ein Naturprodukt und seine jeweilige Zusammensetzung aus den vorstehend genannten Bestandteilen ist von der Provenienz des Erdgases abhängig. Aus Gründen der Versorgungssicherheit und der Wirtschaftlichkeit hat die deutsche Gaswirtschaft ihre Aufkommensstruktur diversifiziert. Hierdurch können entsprechend der Aufkommens-, der Netz- und Bedarfsstruktur gewisse Schwankungen der Gasbeschaffenheit auftreten. Auch werden in einzelnen Versorgungsbereichen zur Glättung von Spitzen der Erdgasnachfrage im Tages- und Wochenverlauf Flüssiggas-Luft-Beimischungen vorgenommen, mit Auswirkungen insbesondere auf die Methanzahl (eine Messzahl für die Klopffestigkeit von gasförmigen Brennstoffen) des Gasgemisches.

Bei der Auswahl bzw. Auslegung von Motoraggregaten für BHKW-Anlagen sollte die am Betriebsort vorherrschende Gasbeschaffenheit rechtzeitig in die Planungen einfließen. Moderne Motorkonzepte mit Anti-Klopfregelungen und Gasbeschaffenheitssensoren ermöglichen einen störungsfreien BHKW-Betrieb auch bei sich ändernden Gasbeschaffenheiten und Methanzahlen.

Vgl. auch ASUE-Broschüre „BHKW und Methanzahl – Einfluß der Gasbeschaffenheit auf den Motorbetrieb"

Erdgas als Brennstoff für BHKW wird uns noch für lange Zeit in ausreichender Menge und aus sicheren Quellen zur Verfügung stehen. Im Jahre 1995 wurden weltweit etwa ca. 2,7 Mrd. t Steinkohleeinheiten (SKE) Erdgas gefördert. Die sicher gewinnbaren Welterdgasreserven werden heute auf 173 Mrd. t SKE geschätzt. Unter Berücksichtigung der genannten Weltjahresförderung errechnet sich damit eine statische Reichweite der sicher gewinnbaren Reserven von etwa 65 Jahren. Unter Einbeziehung der zusätzlich bekannten Ressourcen erhöht sich die statische Reichweite auf 170 Jahre. Diese Betrachtung lässt unberücksichtigt, dass seit vielen Jahren, bedingt durch neu entdeckte Vorkommen und bessere Produktionstechniken, die statische Reichweite der Erdgasvorräte trotz steigender Welterdgasförderung ansteigt (Bild 28).

Vgl. ASUE-Broschüre „Erdgas – ein Energieträger für das nächste Jahrtausend"

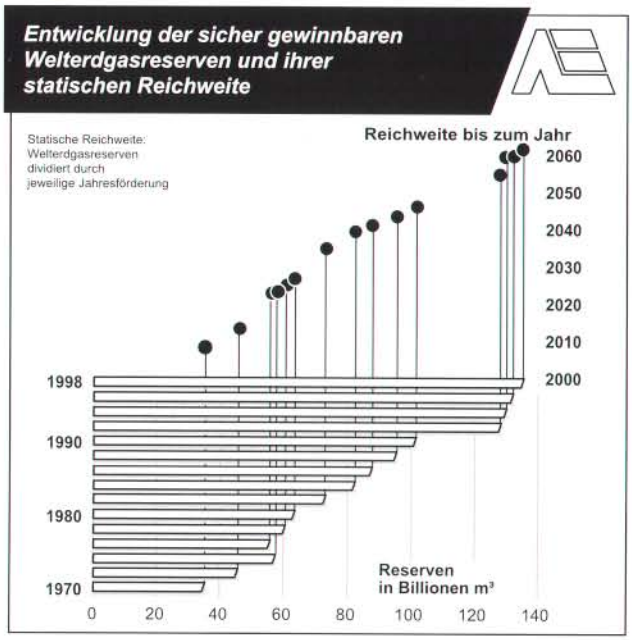


Bild 28

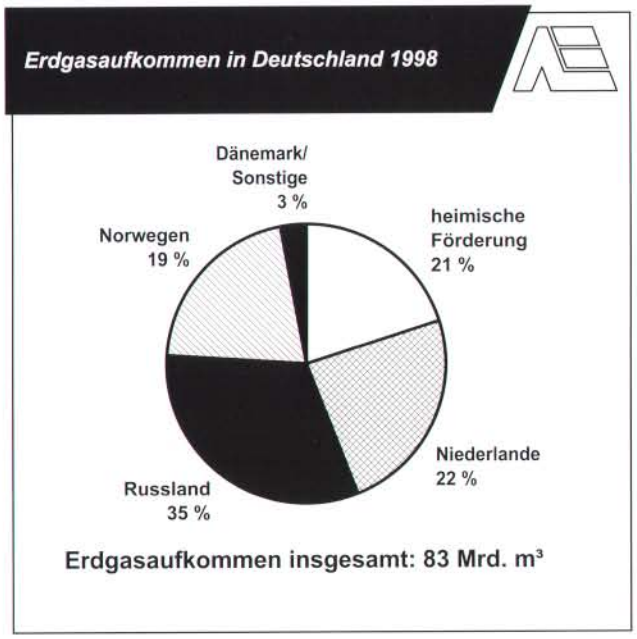


Bild 29

Das Erdgasaufkommen in Deutschland wird zur Zeit zu etwas mehr als einem Fünftel aus heimischer Förderung gewonnen (Bild 29). Etwa ein Drittel des in Deutschland verbrauchten Erdgases stammt aus Russland, der Rest aus anderen westeuropäischen Förderländern (Niederlande, Norwegen, Dänemark). Die in den nächsten Jahren erwarteten Verbrauchszuwächse in Deutschland werden überwiegend aus einem deutlichen Anstieg des norwegischen Anteiles (Troll-Feld) an der deutschen Erdgasversorgung gedeckt werden.

Weitere Brennstoffe

Neben Erdgas und Flüssigbrennstoffen können in BHKW verschiedene gasförmige Brennstoffe eingesetzt, zum Teil auch entsorgt werden, wie Deponiegas, Klärgas, Pyrolysegas aus der Müllverbrennung, Biogas oder auch Lösemitteldämpfe.

Vgl. auch ASUE-Broschüre „Bio-Logisch"

Deponiegas

Deponiegas stellt ein beachtliches Potenzial zur Strom- und Wärmeerzeugung dar. Unter dem Aspekt des Umweltschutzes und der Ressourcenschonung ist die Nutzung des Deponiegases von erheblicher Bedeutung. Dabei wird nicht nur die Freisetzung umweltschädigender Bestandteile in die Atmosphäre verhindert, sondern es werden auch andere Energieträger geschont und damit Emissionen an anderer Stelle reduziert.

Das Aufkommen von Deponiegas ist über das Jahr gesehen zwar weitgehend gleichmäßig, über die Lebensdauer eines Deponiekörpers gesehen jedoch rückläufig (Entgasung). Zur Anpassung bei Verbrauchsspitzen sowie zur Leistungsregelung und Betriebsoptimierung leistet Erdgas einen wertvollen Beitrag. Erdgas kann auch die über die Zeit wegbrechende Deponiegasmenge ersetzen. Dieses ist natürlich nur sinnvoll, wenn eine Wärmenutzung möglich ist.

Klärgas

Bei einer konsequenten Nutzung der Klärtechnik zur Energieerzeugung wird die Faulturmbeheizung nicht mehr mit dem direkt verbrannten Klärgas vorgenommen. Vielmehr erfolgt die Nutzung unmittelbar im BHKW. Die Motorwärme dient zur Beheizung des Faulturms. Der Strom wird für die Antriebe der Kläranlage und auch zur Einspeisung ins öffentliche Netz verwendet.

Pyrolysegas/Müllverwertung

Die energetische Verwertung von Müll hat sich als wichtige Alternative zur Deponierung etabliert. Neuere Verfahren der Pyrolyse (Zersetzung von Stoffen durch Hitze) lassen hier gute Ergebnisse erwarten. Das entstehende Pyrolysegas lässt sich nach entsprechender Trocknung und ggf. Reinigung in BHKW verwerten.

Lösemitteldämpfe

Als Maßnahme zur Reduzierung der Lösemittel-Emissionen aus Industrieprozessen stehen Verfahren zur Rückgewinnung oder zur Nachverbrennung zur Verfügung. In der Regel ist hierfür die Zufuhr von Energie erforderlich. In vielen Fällen bietet sich eine energetische Nutzung dieser Dämpfe in einem BHKW an. Dabei wird die lösemittelhaltige Luft als „Verbrennungsluft" dem Motor zugeführt und dient gemeinsam mit dem Hauptbrennstoff Erdgas als Kraftstoff.

Zusammenfassung und Ausblick

Umweltverträgliche und wirtschaftliche Energieversorgung mit BHKW

Für die energiepolitische Beurteilung der BHKW im Vergleich zur vorhandenen Strom-, Erdgas- und Fernwärmeversorgung ist es von besonderer Bedeutung, dass mit dem BHKW Strom und Wärme in der Regel beim Endverbraucher erzeugt werden. Damit werden Leitungsnetze gespart und Leitungsverluste vermieden.

BHKW können überall dort sinnvoll eingesetzt werden, wo elektrischer Strom und Wärme im Koppelprozess genutzt werden können, d. h. im Wesentlichen im Bereich des so genannten Winterbergs des elektrischen Strombedarfs, der weitgehend parallel mit dem außentemperaturabhängigen Wärmebedarf verläuft.

BHKW bieten sich als sinnvolle Ergänzung zur Technik der Großkraftwerke an und sind in der Lage, aus Erdgas und Öl mehr zu machen als nur Niedertemperaturwärme.

Die BHKW-Technik ist im Gegensatz zu verschiedenen zur Zeit in der Entwicklung befindlichen Technologien der Wärmeversorgung am Markt verfügbar. Die Wirtschaftlichkeit ist im Einzelfall zu prüfen.

Durch Einsatz von Fertigbauteilen bei der Erstellung von neuen Gebäuden für BHKW ist eine Senkung der Kosten für den baulichen Teil möglich, wenn die Anlagen nicht ohnehin in einem vorhandenen Gebäude errichtet werden können.

Die örtlichen Versorgungsunternehmen haben es durch eine auf die jeweilige Struktur des bestehenden Versorgungsgebietes zugeschnittene Planung der Strom-, Gas- und Wärmenetze mit in der Hand, ein optimales Energieangebot vorzulegen. Dazu gehört auch die Zusammenarbeit mit Industrie und Gewerbe mit dem Ziel einer Reduzierung der Strom- und Gasverbrauchsspitzen, z. B. durch Integration von industriellen Eigenerzeugungsanlagen in die eigene Versorgungsstruktur zu für beide Partner vernünftigen Preisen.

Die Investitionen stellen über den Kapitaldienst einen wesentlichen Faktor der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung dar und verdienen bei der Planung eines BHKW eine besondere Aufmerksamkeit. Da sich das Honorar der Ingenieurbüros und Architekten noch überwiegend nach der Bausumme richtet, ist es empfehlenswert, mit dem Planer einen Pauschalvertrag abzuschließen, damit er ohne Honorareinbußen eine Kostenoptimierung der Gesamtanlage durchführen kann.

In den Bildern 30 und 31 sind noch einmal die wesentlichen Vorteile der BHKW-Technik, insbesondere aus volks- und energiewirtschaftlicher Sicht sowie aus der Sicht des Betreibers, zusammengefasst.

Insgesamt gesehen ist die dezentrale Variante Kraft-Wärme-Kopplung durch BHKW in der Lage, einen nennenswerten Beitrag zur Verbesserung der Energie- und Umweltbilanz zu leisten.

BHKW = praktizierte Energieeinsparung und Umweltentlastung

- ca. 35 % weniger Primärenergie gegenüber getrennter Erzeugung von Strom und Wärme
- höherer Gesamtnutzungsgrad (Strom und Wärme) als zentrale Heizkraftwerke
- verschiedene Systeme der Emissionsminderung ermöglichen einen umweltschonenden Betrieb
- verbrauchernaher Einsatz reduziert Transportkosten und vermeidet Verteilungsverluste für Strom und Wärme
- Beitrag zur CO_2-Minderung und damit zur Begrenzung des Treibhauseffektes
- Eignung für Erdgas, Klär-, Müll-, Deponie- und Kohlegas

Bild 30

Vorteile für den Betreiber

- Senkung der Energiekosten
- niedrigere Investitionen als bei konventioneller Fernwärmeerzeugung und -verteilung
- kurze Bauzeit
- gute Anpassungs- und Erweiterungsfähigkeit an den jeweiligen Bedarf durch Modulbauweise
- Hoher Stromanteil an der Nutzenergie (Stromkennzahl gegenüber konventionellen Heizkraftwerken)
- Einsatzmöglichkeit als Notstromaggregat
- gezieltes Abfahren elektrischer Stromspitzen
- Kombinationsmöglichkeiten mit Wärmepumpen, Kälteaggregaten, Verdichtern, Kompressoren, Pumpen etc.

Bild 31

Bildübersicht

Bild 1 Energieflüsse bei der reinen Stromerzeugung sowie der zentralen und dezentralen Kraft-Wärme-Kopplung

Bild 2 Energieeinsparung durch Kraft-Wärme-Kopplung in einem Blockheizkraftwerk (BHKW)

Bild 3 CO_2-Bildung bei der Verbrennung fossiler Energieträger

Bild 4 NO_x-Emission eines Blockheizkraftwerks im Vergleich zur getrennten Strom- und Wärmeerzeugung

Bild 5 CO_2-Emission eines Blockheizkraftwerks im Vergleich zur getrennten Strom- und Wärmeerzeugung

Bild 6 Emissionsentlastung bei Erdgaseinsatz in einem BHKW gegenüber getrennter Strom- und Wärmeerzeugung mit Steinkohle und Heizöl EL

Bild 7 CO_2-Emissionen von Wärmeversorgungssystemen

Bild 8 Wirkungsgrade von BHKW-Modulen

Bild 9 Energiebilanz eines BHKW-Aggregates Gas-Ottomotor

Bild 10 Energiebilanz eines BHKW-Aggregates Gas-Dieselmotor

Bild 11 Schema eines Blockheizkraftwerkes

Bild 12 Vor- und Nachteile des modularen Aufbaus

Bild 13 Preiskonditionen Vollwartungsvertrag

Bild 14 Immissionsschutzrechtliche Vorschriften

Bild 15 Grenzwerte des Schalldruckpegels nach TA Lärm bzw. VDI 2058 Blatt 2

Bild 16 Moderner Schallschutz

Bild 17 Emissionsgrenzwerte für BHKW nach TA Luft

Bild 18 Empfehlungen des Länderausschusses für Immissionsschutz – LAI – (Mai 1991)

Bild 19 Konversionsraten des 3-Wege-Katalysators

Bild 20 Regelungsschema 3-Wege-Katalysator mit Lambda-Sonde

Bild 21 Regelungsschema SCR-Katalysator

Bild 22 Tagesganglinie: Wärme- und Stromverbrauch

Bild 23 Wärmeerzeugungskosten – Beispiel

Bild 24 Stromerzeugungskosten – Beispiel

Bild 25 Contracting-Modell 1 Nutzungsüberlassung

Bild 26 Contracting-Modell 2 Lieferung

Bild 27 Contracting-Modell 3 Projektgesellschaft

Bild 28 Entwicklung der sicher gewinnbaren Welterdgasreserven und ihrer statischen Reichweite

Bild 29 Erdgasaufkommen in Deutschland 1998

Bild 30 BHKW = praktizierte Energieeinsparung und Umweltentlastung

Bild 31 Vorteile für den Betreiber

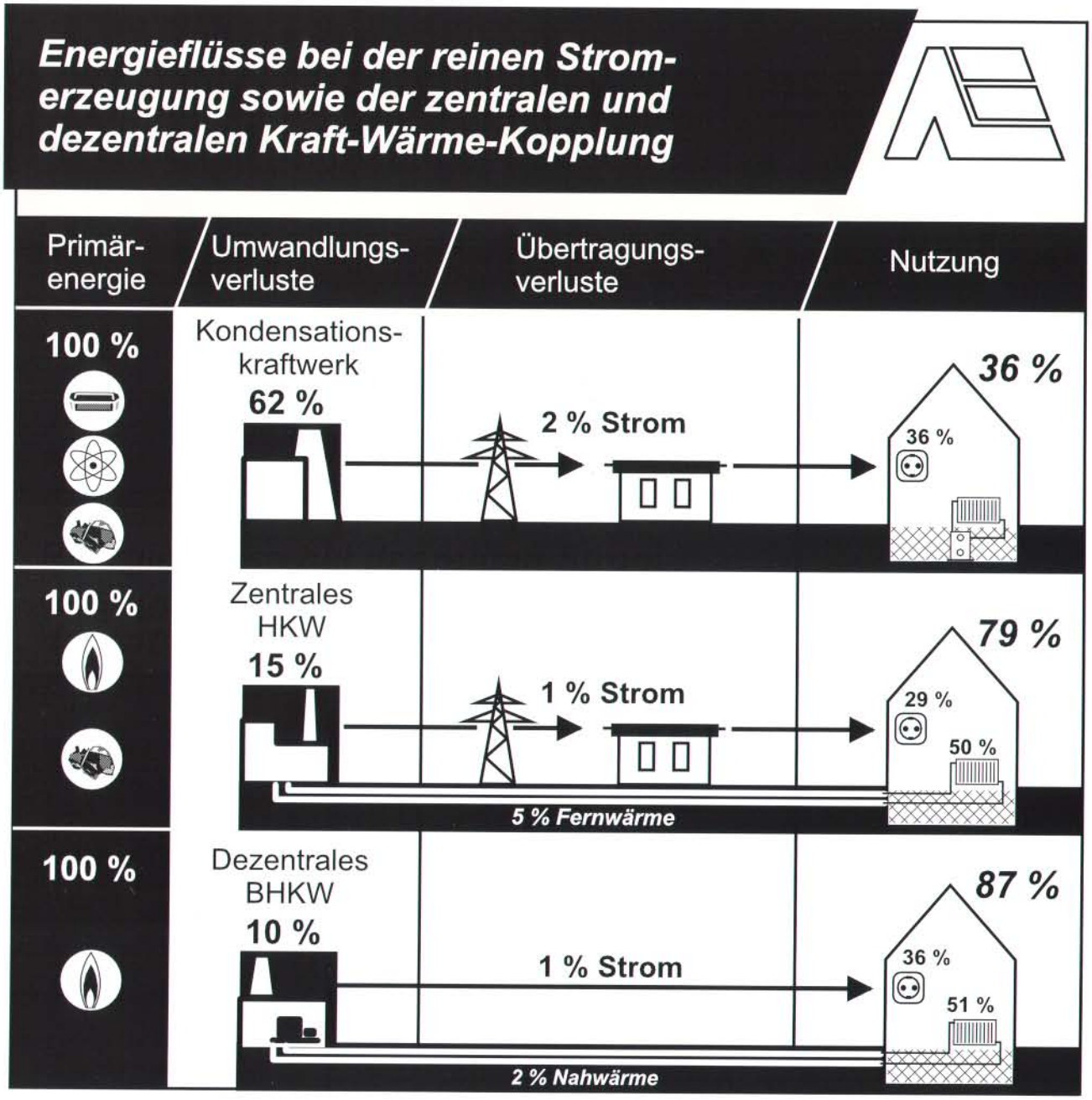
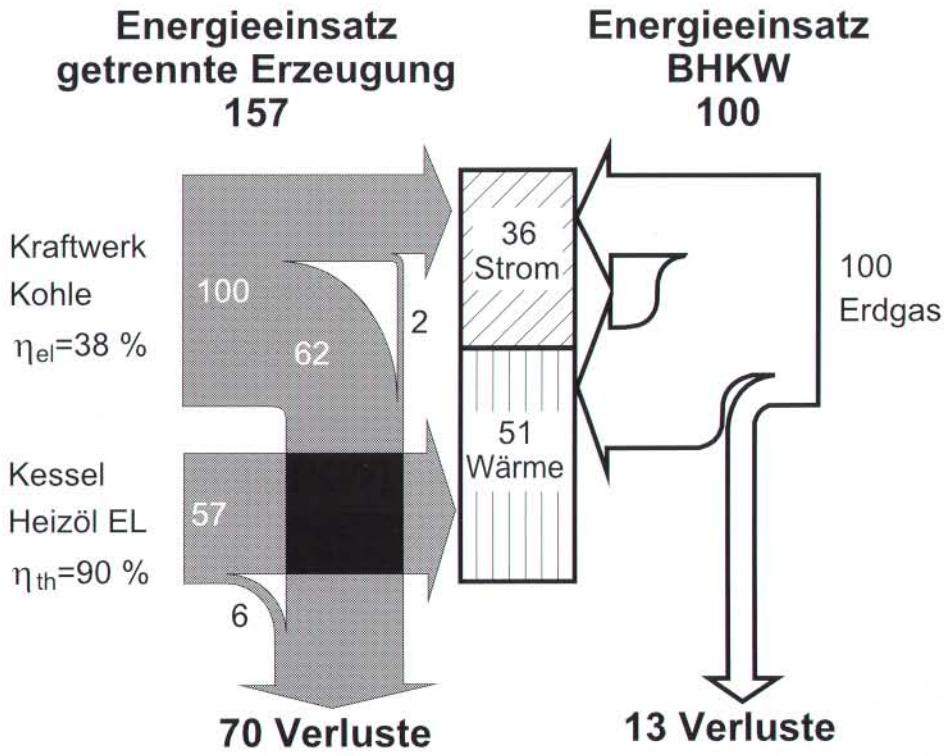

Energieflüsse bei der reinen Stromerzeugung sowie der zentralen und dezentralen Kraft-Wärme-Kopplung
Primär-energie
Umwandlungs-verluste
Übertragungs-verluste
Nutzung
100 %
Kondensations-kraftwerk
62 %
2 % Strom
36 %
36 %
100 %
Zentrales HKW
15 %
1 % Strom
79 %
29 %
50 %
5 % Fernwärme
100 %
Dezentrales BHKW
10 %
1 % Strom
87 %
36 %
51 %
2 % Nahwärme

Bild 1

Energieeinsparung durch Kraft-Wärme-Kopplung in einem Blockheizkraftwerk (BHKW)



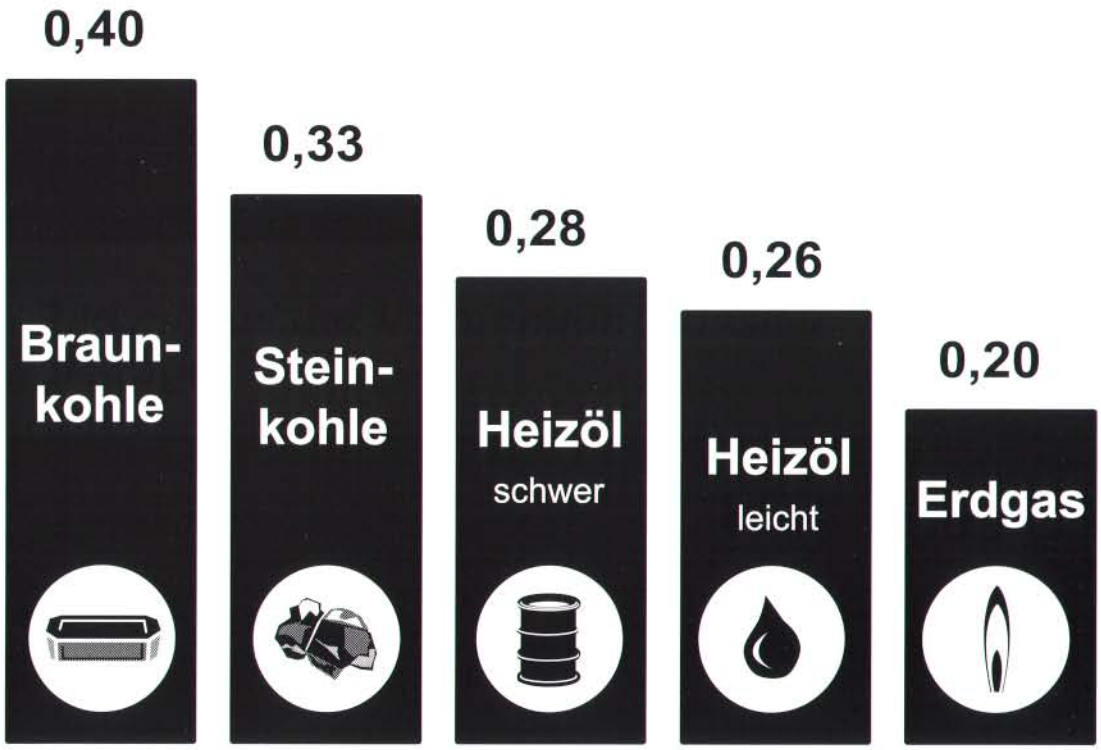
Angaben
in Prozent

Primärenergieeinsparung $\frac{57}{157}$ = 36 %

CO_2-Einsparung = 58 %

CO_2-Bildung bei der Verbrennung fossiler Energieträger

in kg CO_2/kWh Brennstoffeinsatz (H_u)



Quelle: Schlussbericht der Enquetekommission des Deutschen Bundestages "Schutz der Erdatmosphäre", Oktober 1994

NO_x-Emission eines Blockheizkraftwerks im Vergleich zur getrennten Strom- und Wärmeerzeugung

	Brennstoff-einsatz kWh	Emissions-faktor g/kWh	NO_x Emissionen g	NO_x Summe g gerundet
BHKW	**100**	x 0,20 =	20	**20**
Kraftwerk	**100**	x 0,25 =	25	**28**
Kessel	**57**	x 0,06 =	3,4	

NO_x-Emissionsentlastung durch BHKW

$$\left(1 - \frac{20}{28}\right) = 29\,\%$$

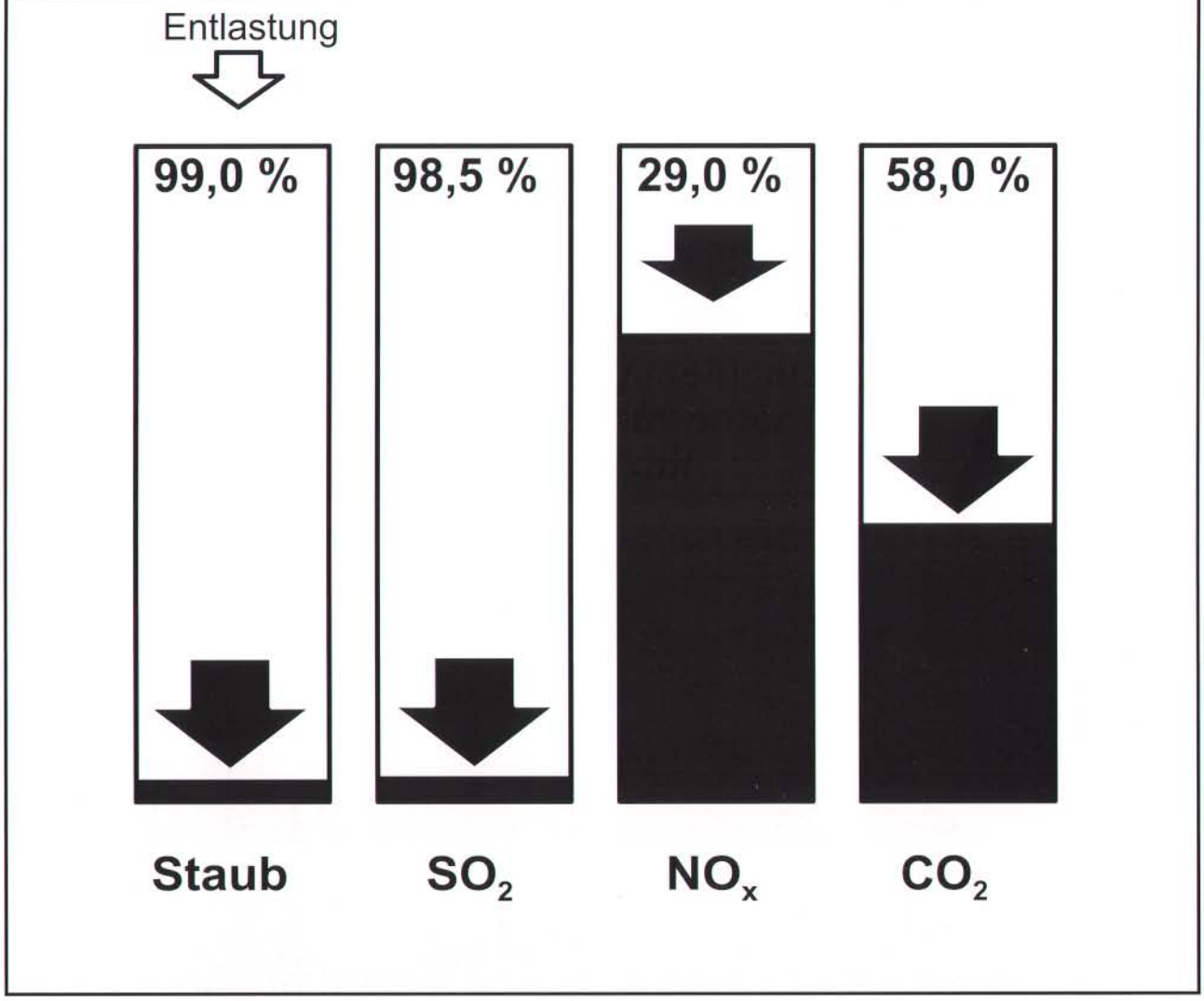
CO_2-Emission eines Blockheizkraftwerks im Vergleich zur getrennten Strom- und Wärmeerzeugung

	Brennstoff-einsatz kWh	CO_2 Emissions-faktor kg/kWh	CO_2 Emissionen kg	CO_2 Summe kg
BHKW	**100**	x 0,20 =	20	**20**
Kraftwerk	**100**	x 0,33 =	33	**48**
Kessel	**57**	x 0,26 =	14,8	

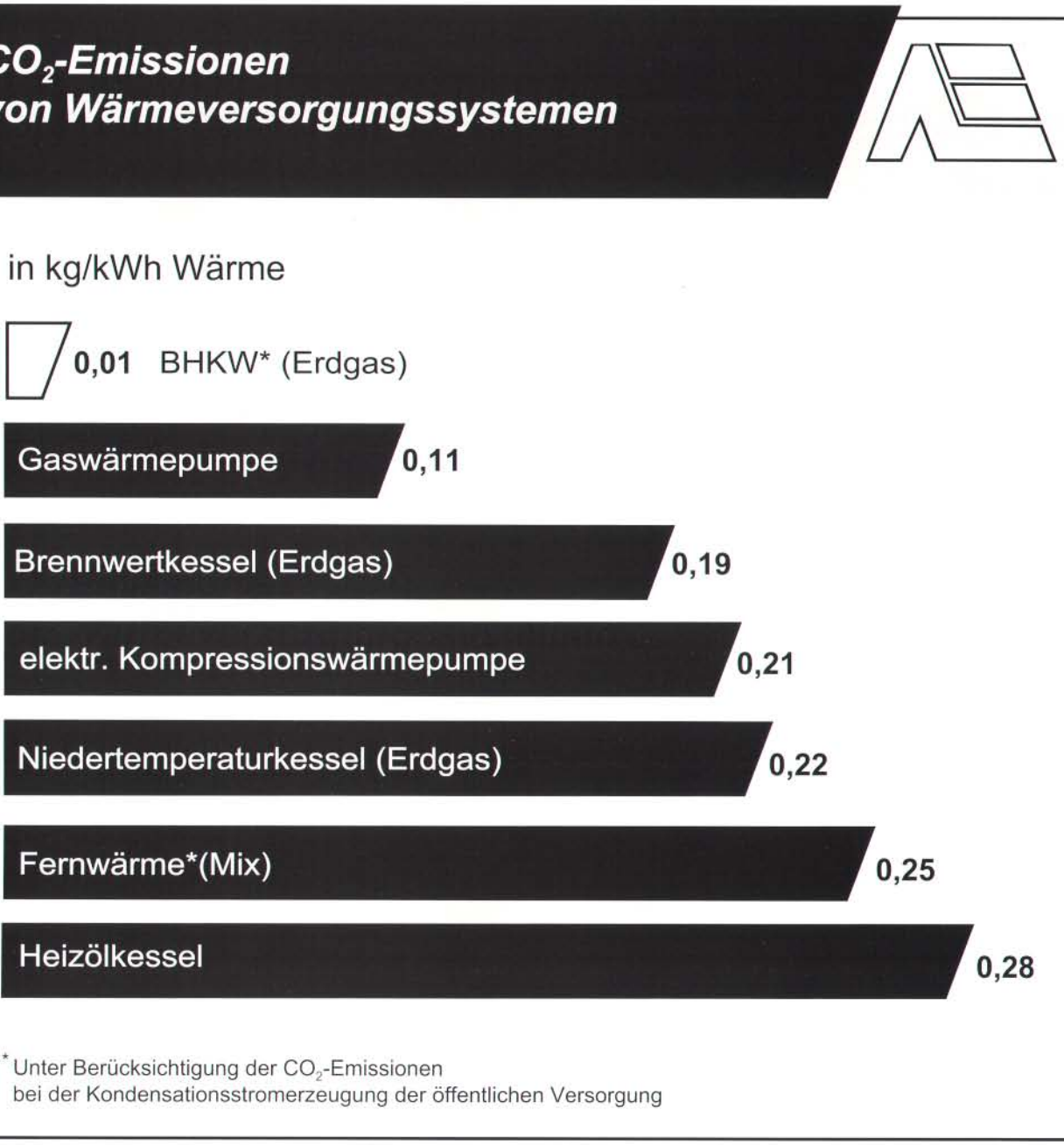
CO_2-Emissionsentlastung durch BHKW

$$\left(1 - \frac{20}{48}\right) = 58\ \%$$

Emissionsentlastung bei Erdgaseinsatz in einem BHKW gegenüber getrennter Strom- und Wärmeerzeugung mit Steinkohle und Heizöl EL



CO_2-Emissionen von Wärmeversorgungssystemen



* Unter Berücksichtigung der CO_2-Emissionen bei der Kondensationsstromerzeugung der öffentlichen Versorgung

Wirkungsgrade von BHKW-Modulen

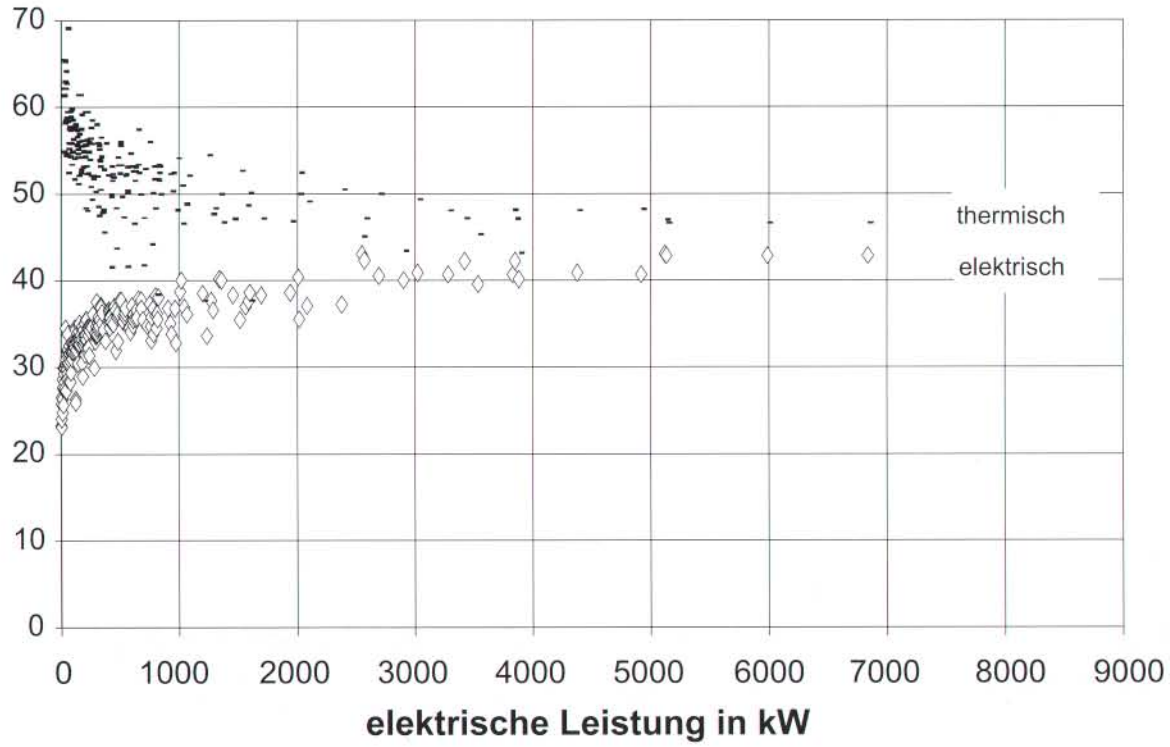
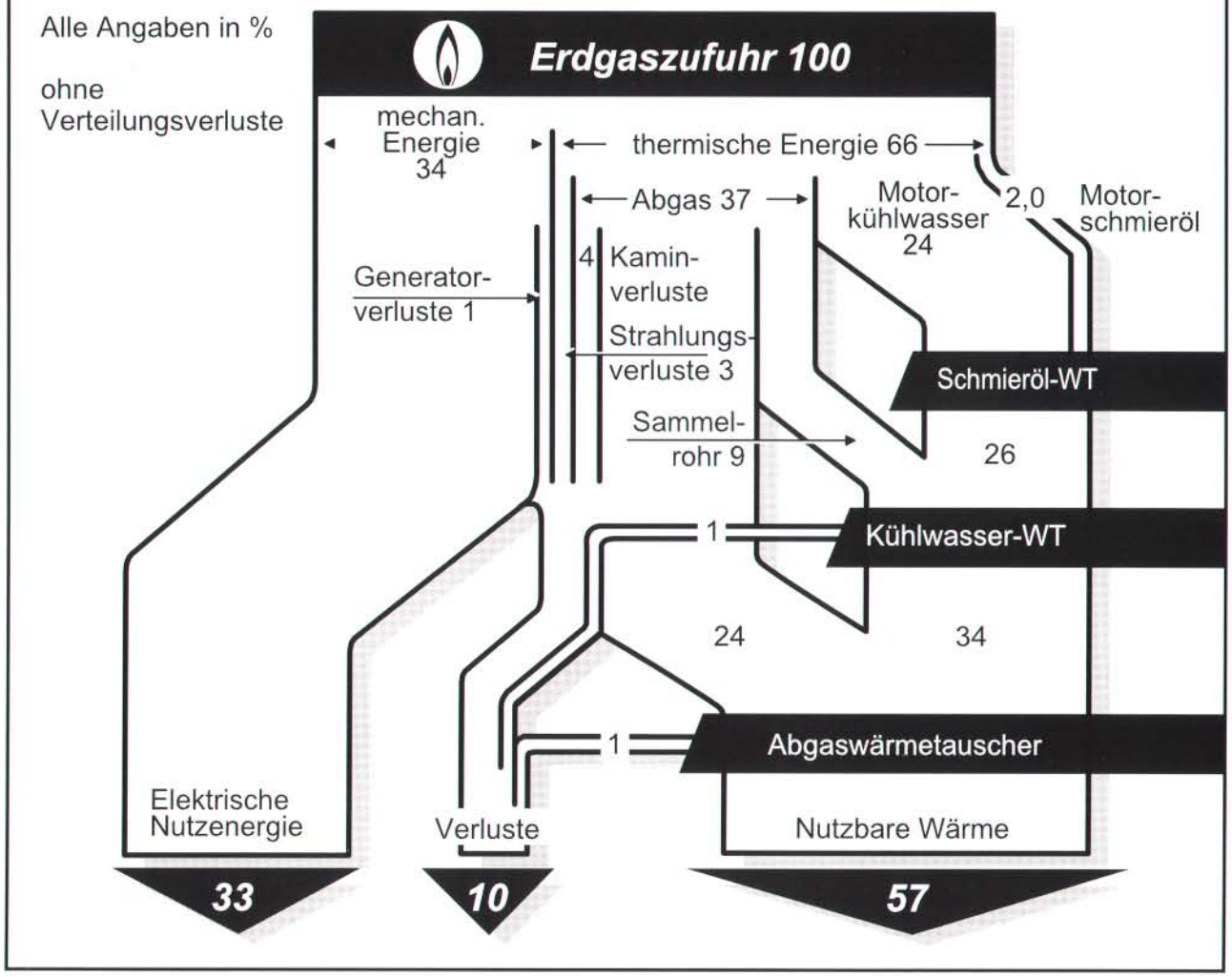
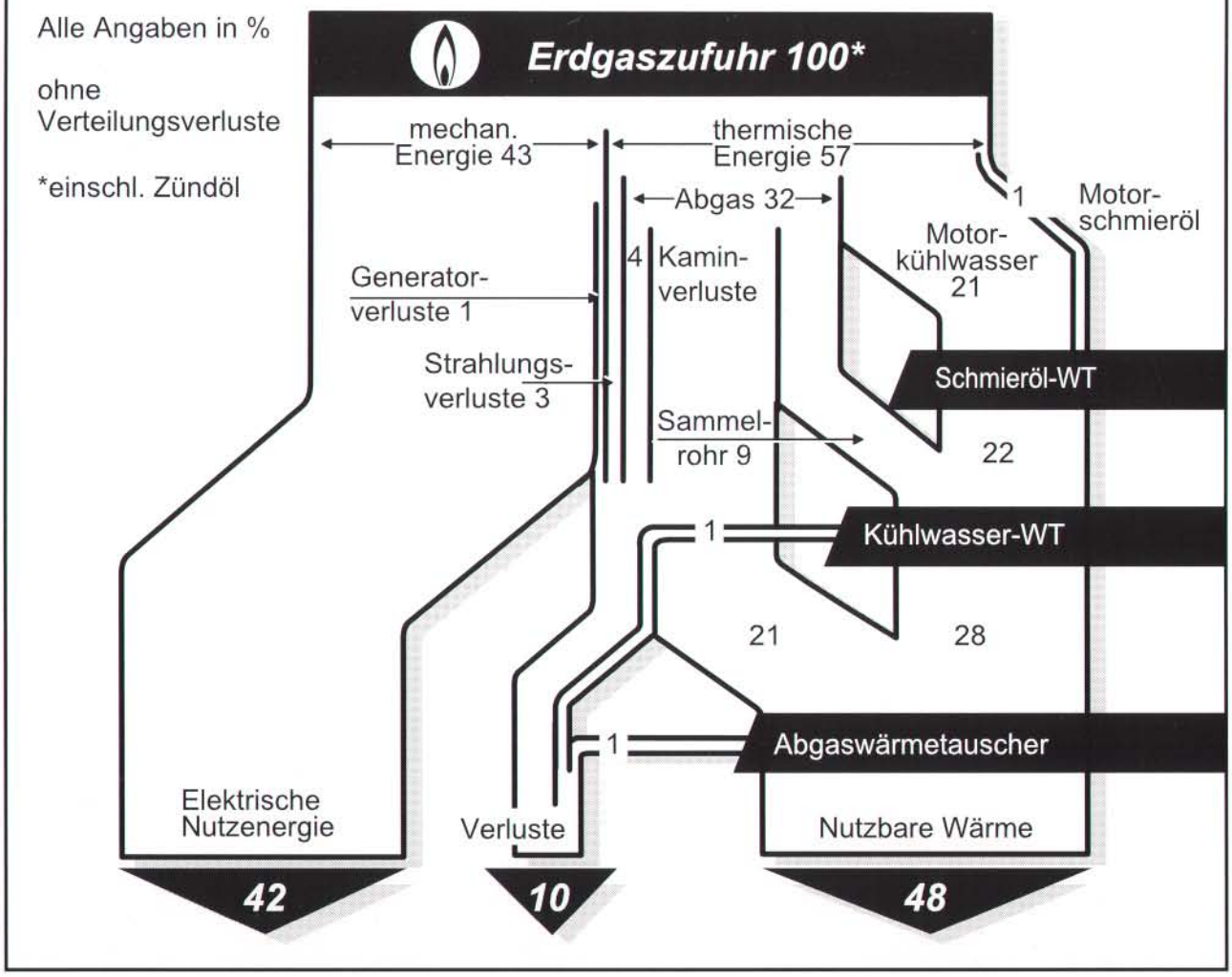


Bild 8

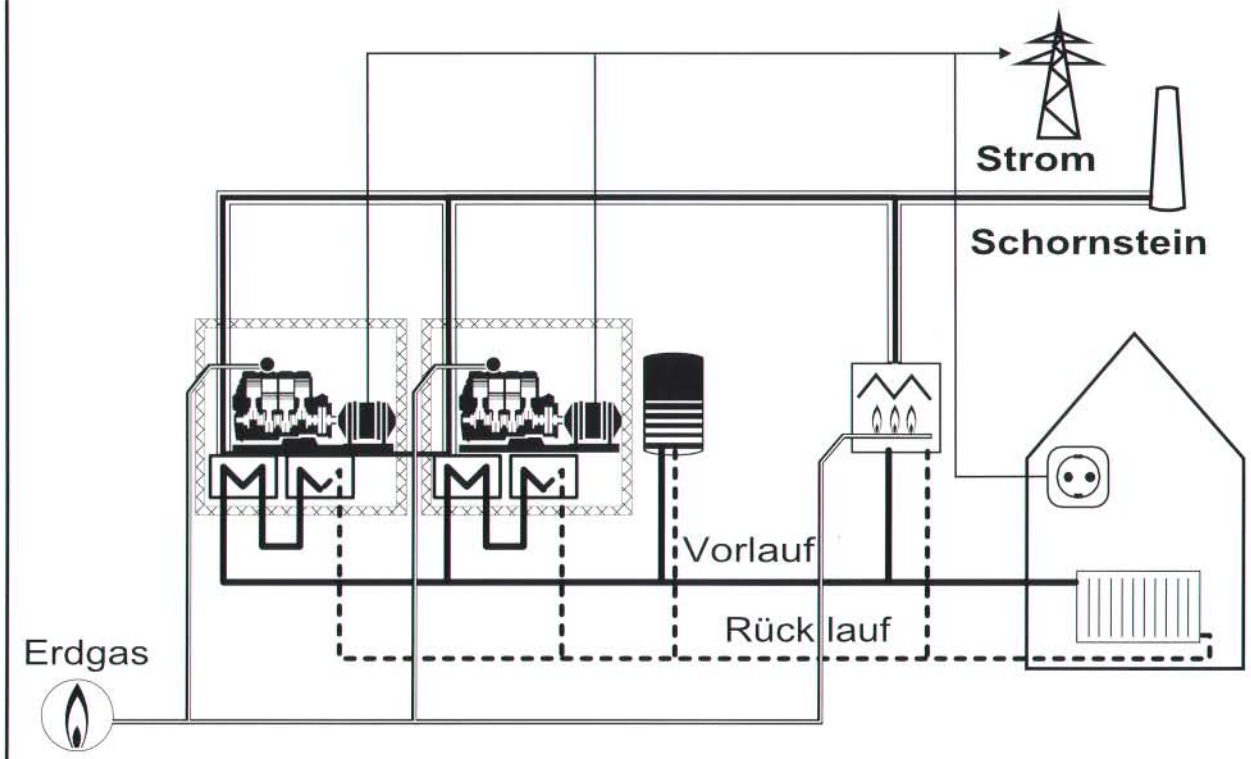
Energiebilanz eines BHKW-Aggregates Gas-Ottomotor



Energiebilanz eines BHKW-Aggregates Gas-Dieselmotor



Schema eines Blockheizkraftwerkes



Primär-energie	2 Module	Speicher	Spitzenlast-kessel	Verbraucher

Bild 11

Vor- und Nachteile des modularen Aufbaus

	ein großes Modul	mehrere kleine Module
Installationsaufwand	+	-
Leistungsanpassung	-	+
Verfügbarkeit	-	+
Ersatzteilkosten	+	-
Schmieröl	+	-

Preiskonditionen Vollwartungsvertrag

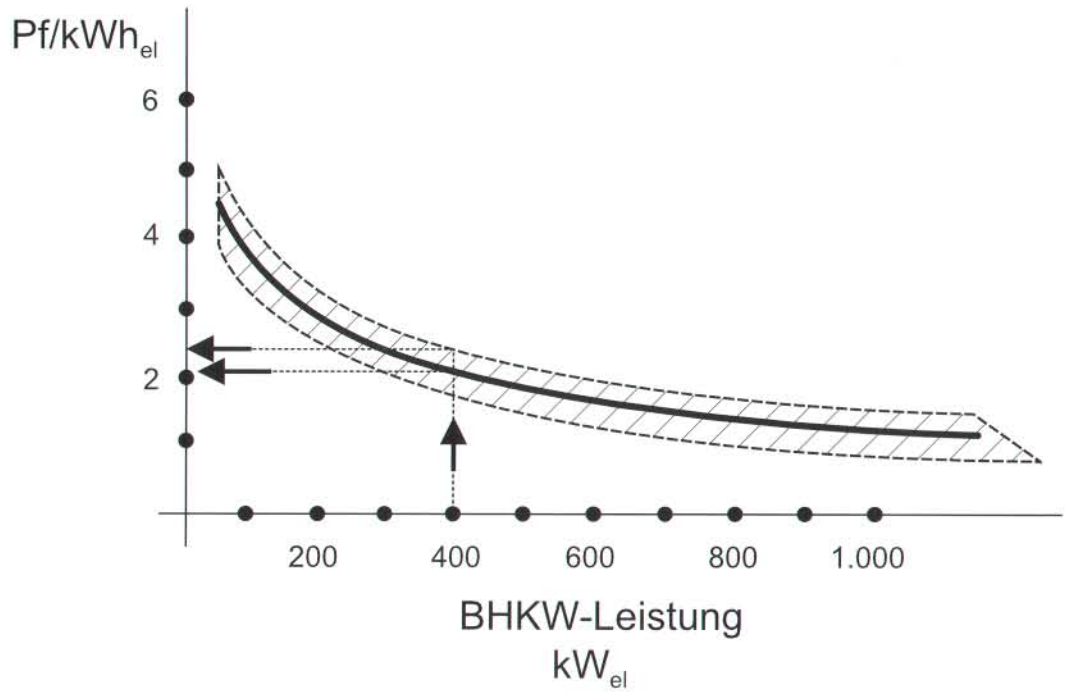
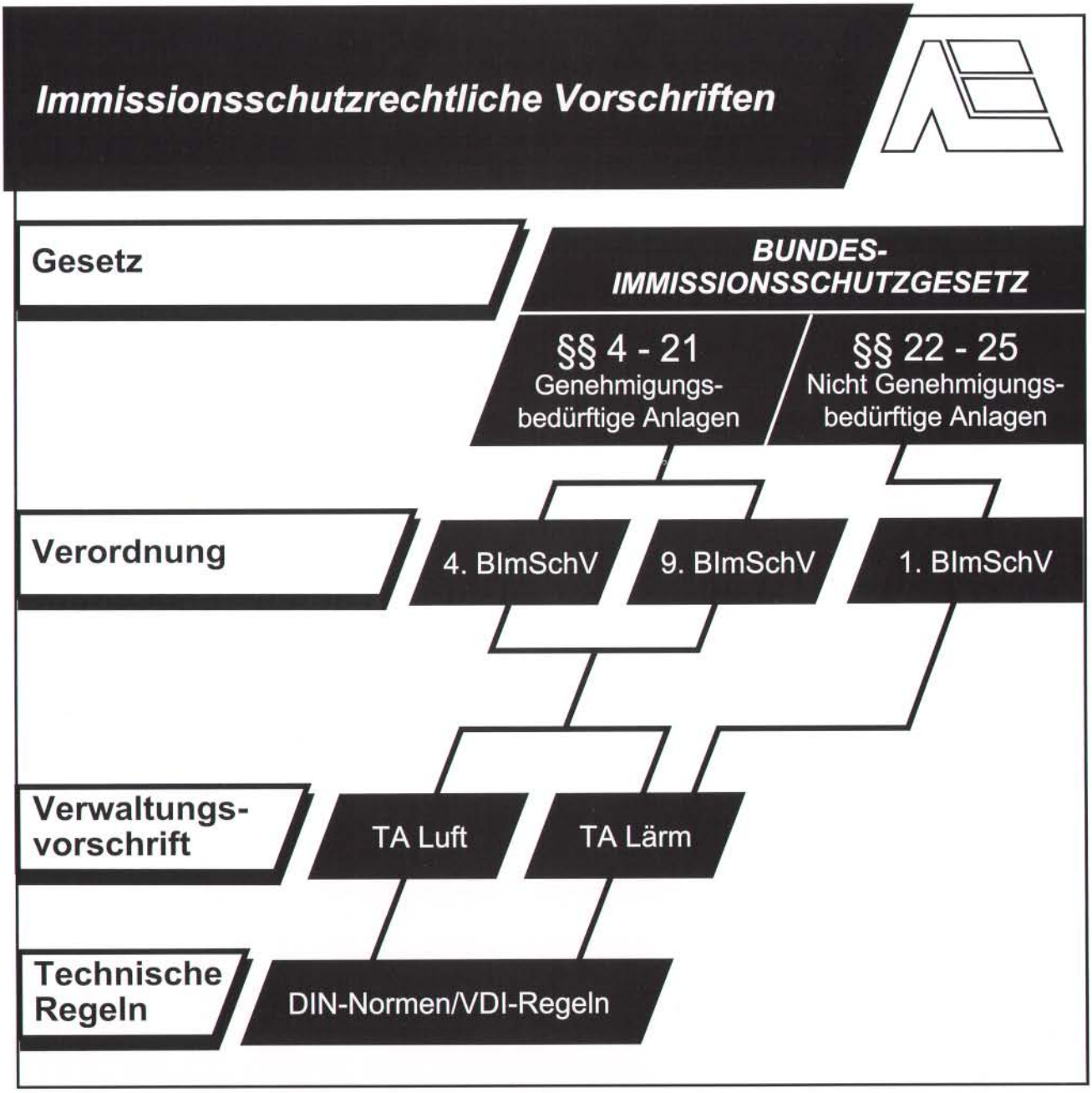
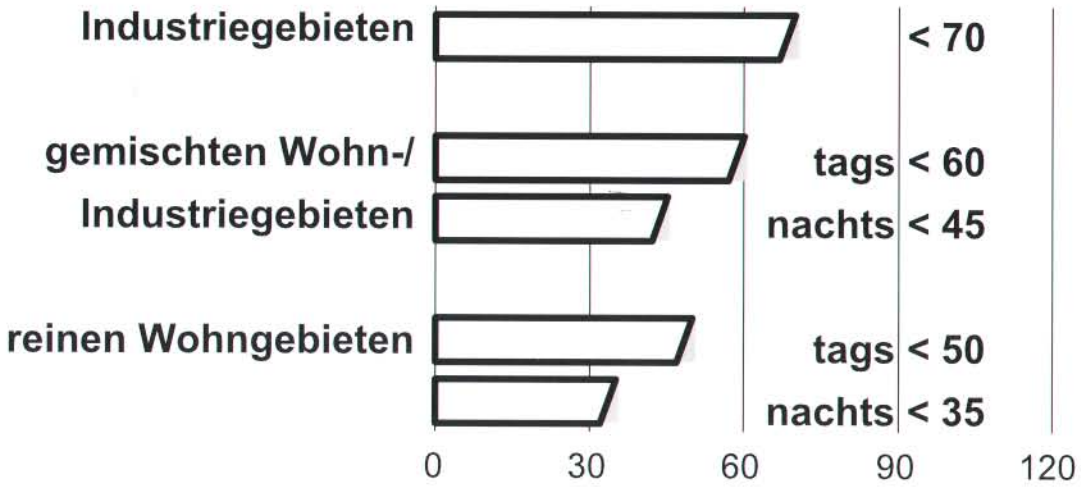


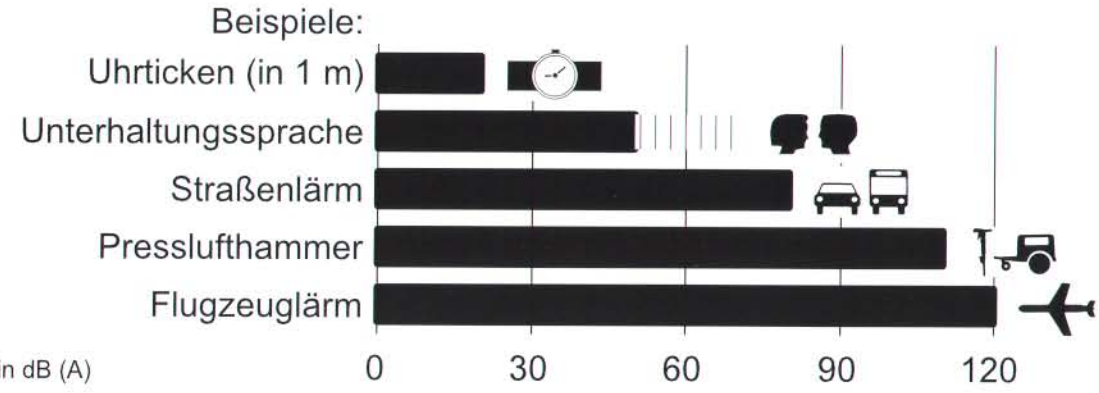
Bild 13


Immissionsschutzrechtliche Vorschriften
Gesetz
BUNDES-IMMISSIONSSCHUTZGESETZ
§§ 4 - 21 Genehmigungs-bedürftige Anlagen
§§ 22 - 25 Nicht Genehmigungs-bedürftige Anlagen
Verordnung
4. BImSchV
9. BImSchV
1. BImSchV
Verwaltungs-vorschrift
TA Luft
TA Lärm
Technische Regeln
DIN-Normen/VDI-Regeln

Grenzwerte des Schalldruckpegels nach TA Lärm bzw. VDI 2058 Blatt 2

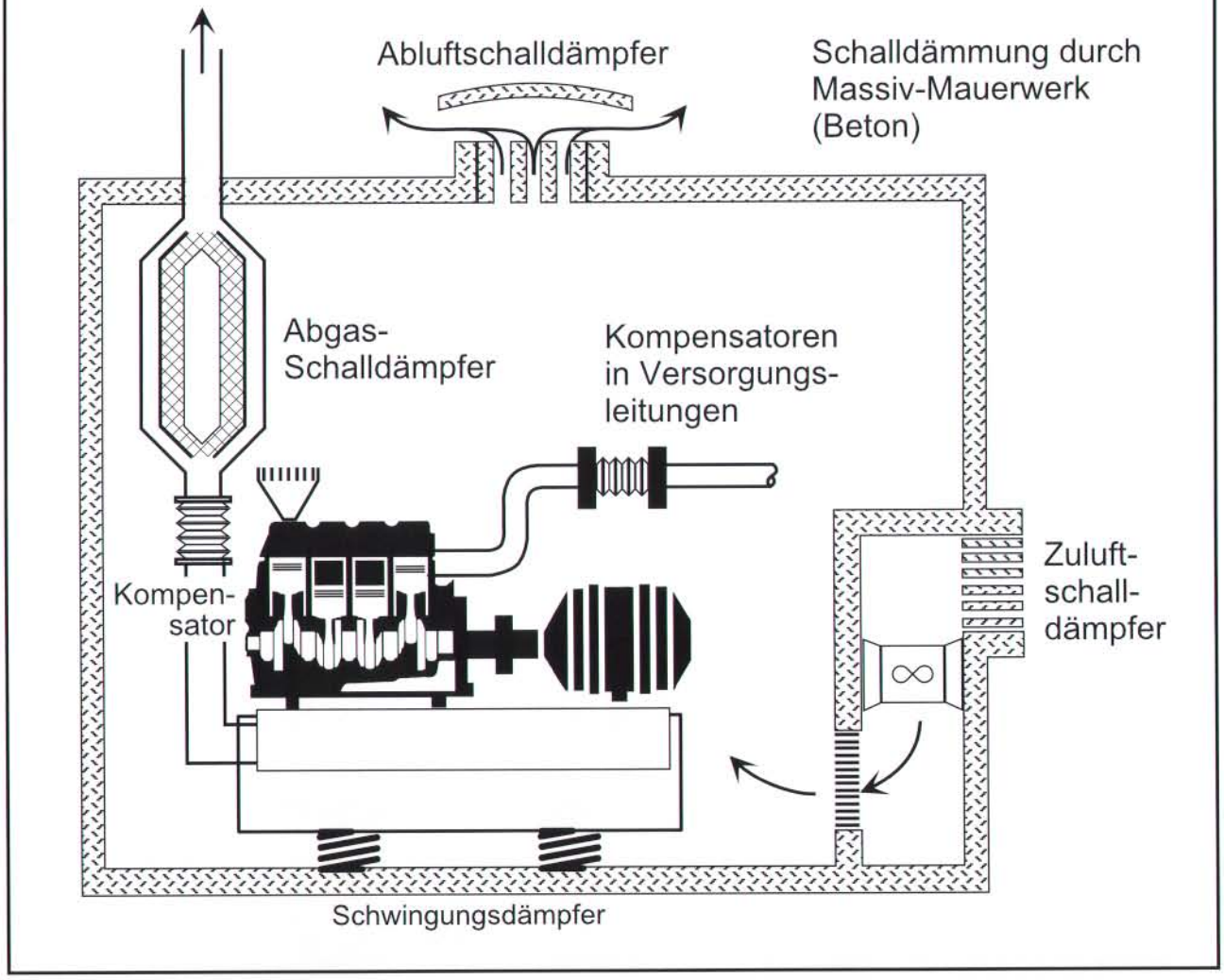
0,5 m vor dem Fenster einer anliegenden Wohnung in:





Angaben in dB (A)

Moderner Schallschutz



Emissionsgrenzwerte für BHKW nach TA Luft

Geltungsbereich	Feuerungswärme-leistung/MW	Emissionsgrenz-werte in mg/m³*
Deponiegas/Altöl etc.	alle	
andere Brennstoffe	≥ 1	
NO_x **		
4-Takt-Motor		500
2-Takt-Motor		800
Selbstzündungsmotoren***	< 3	4.000
	≥ 3	2.000
CO		650
	Massenstrom/ kg/h	
Organische Stoffe		
Klasse I	≥ 0,1	20
Klasse II	≥ 2,0	100
Klasse III	≥ 3,0	150
Staub		
Motoren		130
Einsatz von Rußfiltern ist anzustreben		

* Bezugssauerstoffgehalt im trockenen Abgas 5 Vol.-%
** Keine Anwendung bei Anlagen für Notstrom
*** Emissionsminderungsmaßnahmen sind auszuschöpfen

Empfehlungen des Länderausschusses für Immissionsschutz - LAI - (Mai 1991)

Geltungsbereich	Feuerungswärme-leistung/MW	Emissionswerte mg/m³
Selbstzündungsmotoren	alle	
NO_x		
gasbetriebene Zündstrahlmotoren		500
sonstige Motoren		Einzelfallprüfung, Zielwert 1.000
Staub*		
gasbetriebene Zündstrahlmotoren		50
Sonstige Motoren	< 1**	Einzelfallprüfung, Zielwert 80
	≥ 1	Einzelfallprüfung, Zielwert 50

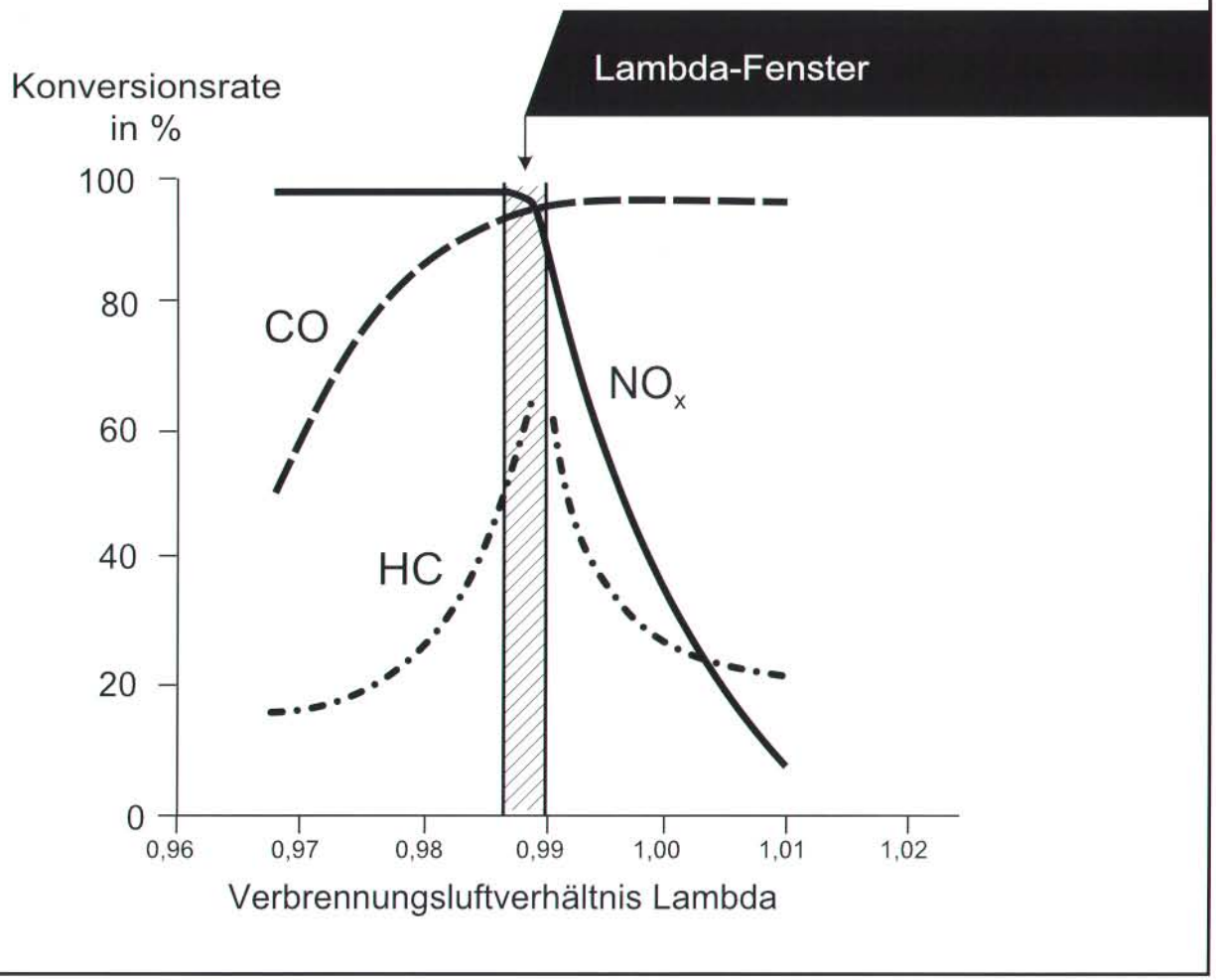
Erreichbar durch folgende ***Technische Maßnahmen***

NO_x	Abgasrückführung
	SCR-Verfahren
Staub*	Motorische Maßnahmen
	Einsatz von Rußfiltern (außer bei Notstromaggregaten)

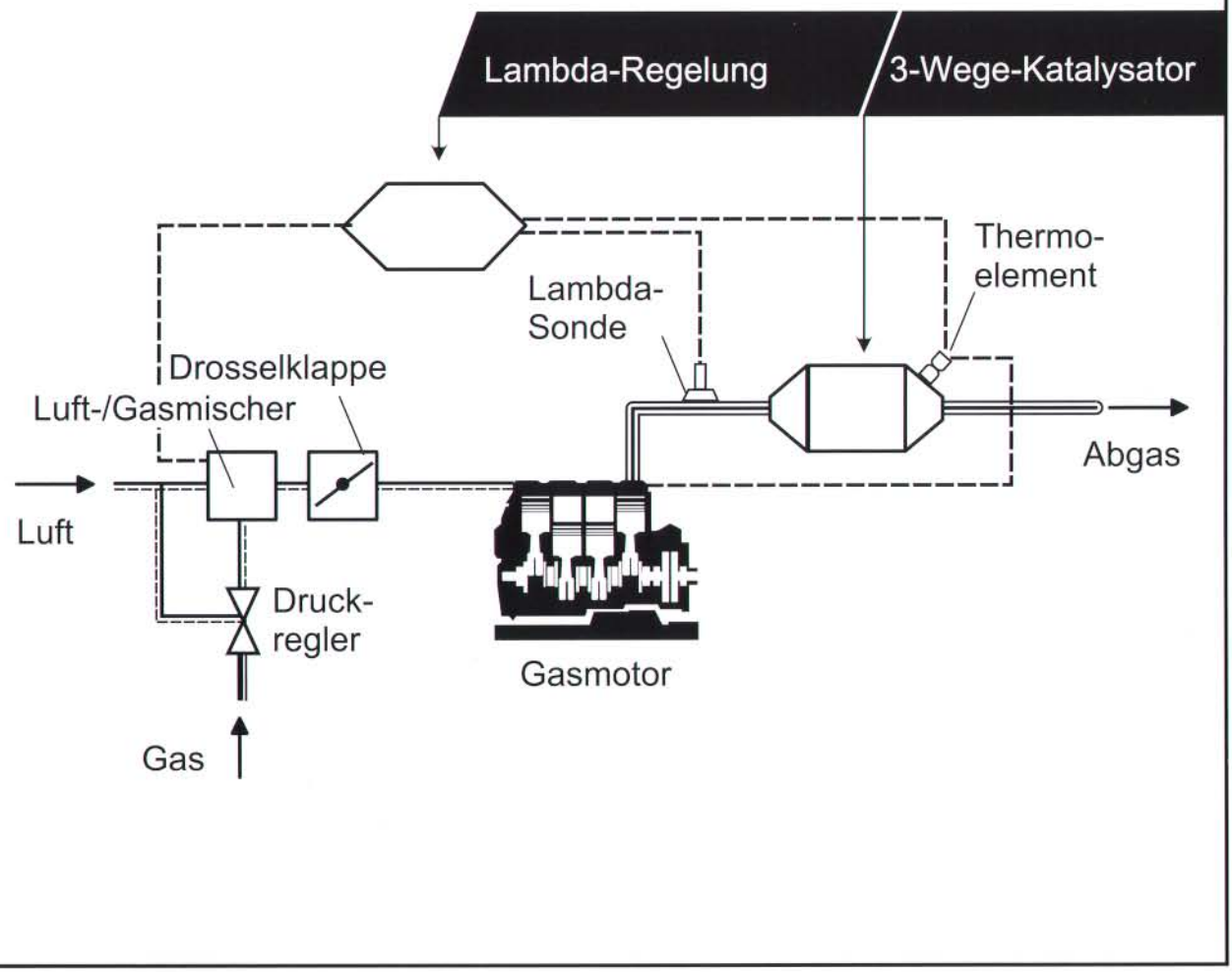
* Nur Neuanlagen

** Bei Notstromaggregaten alle Leistungen

Konversionsraten des 3-Wege-Katalysators

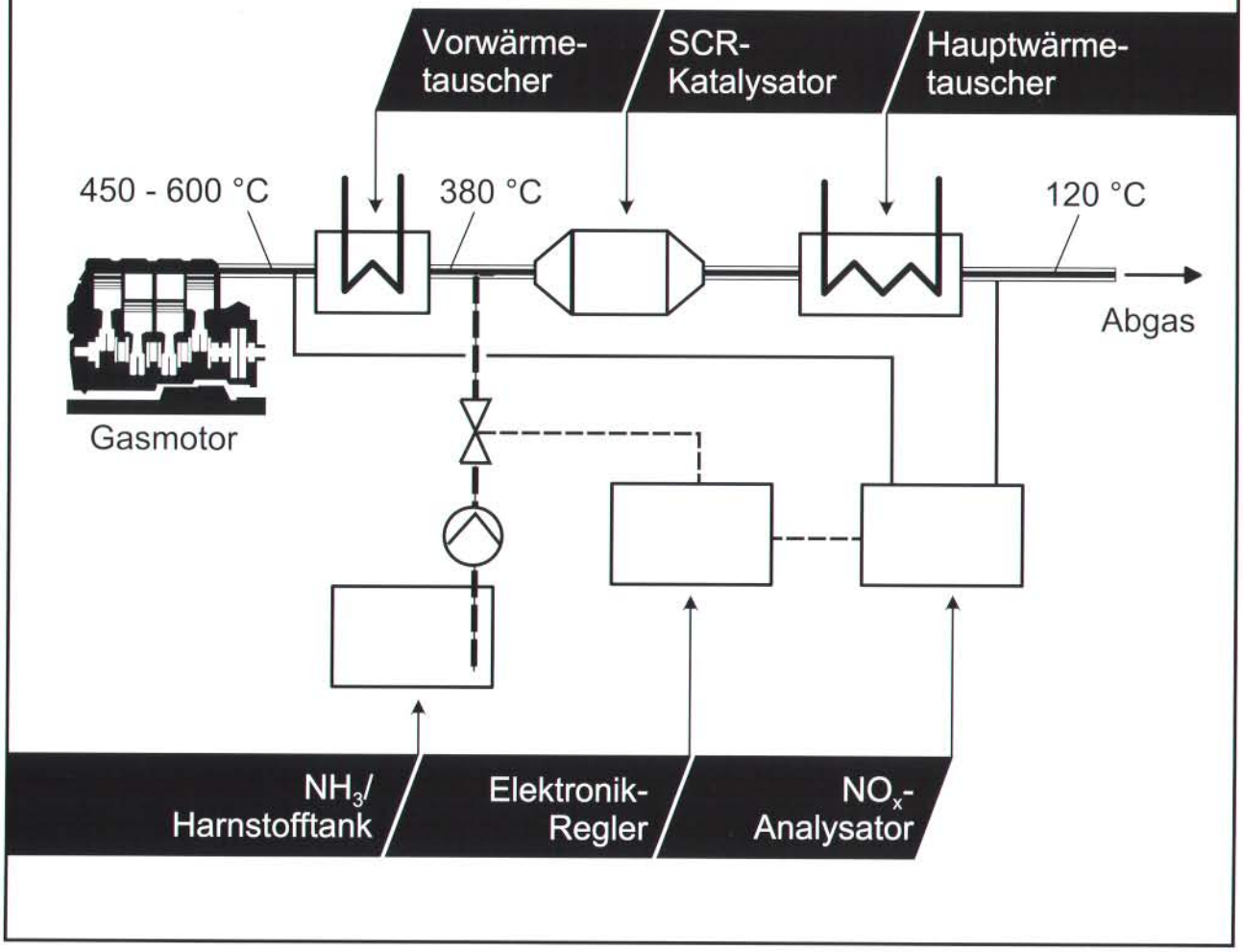


Regelungsschema 3-Wege-Katalysator mit Lambda-Sonde



Regelungsschema SCR*-Katalysator

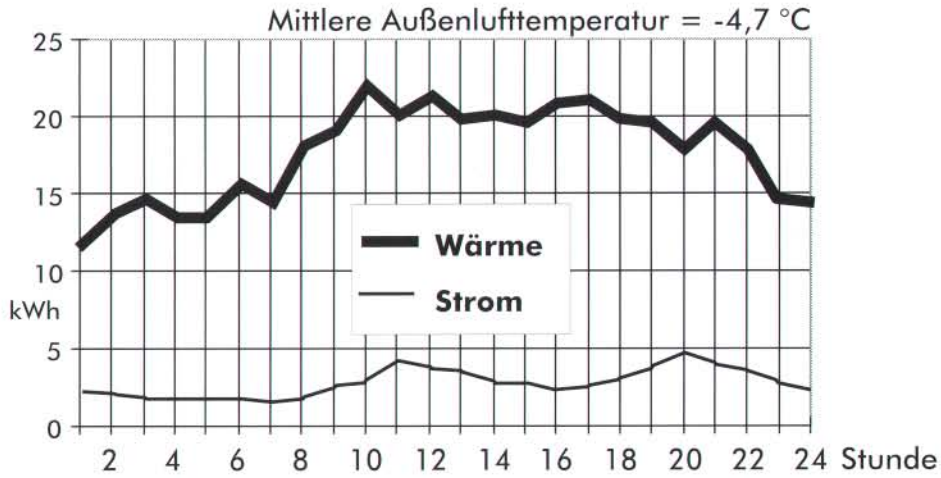
* **S**elective **C**atalytic **R**eduction



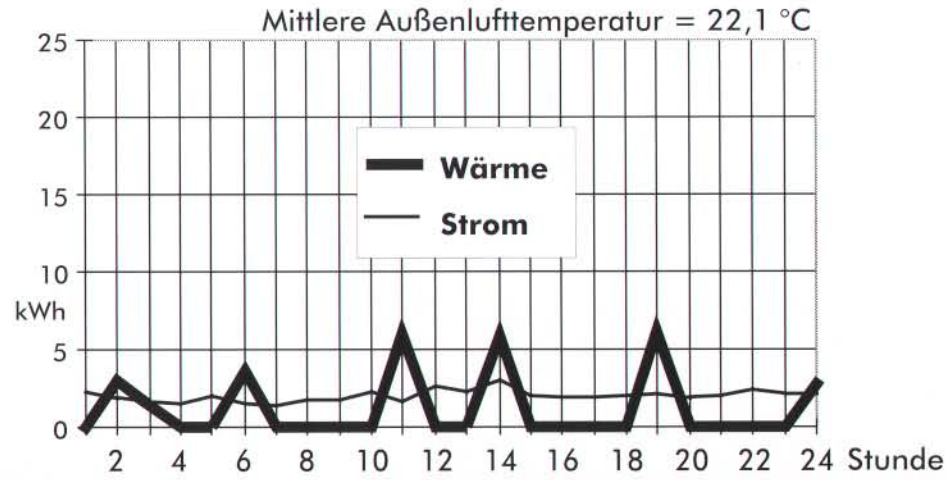
Tagesganglinie: Wärme- und Stromverbrauch

Mehrfamilienhaus

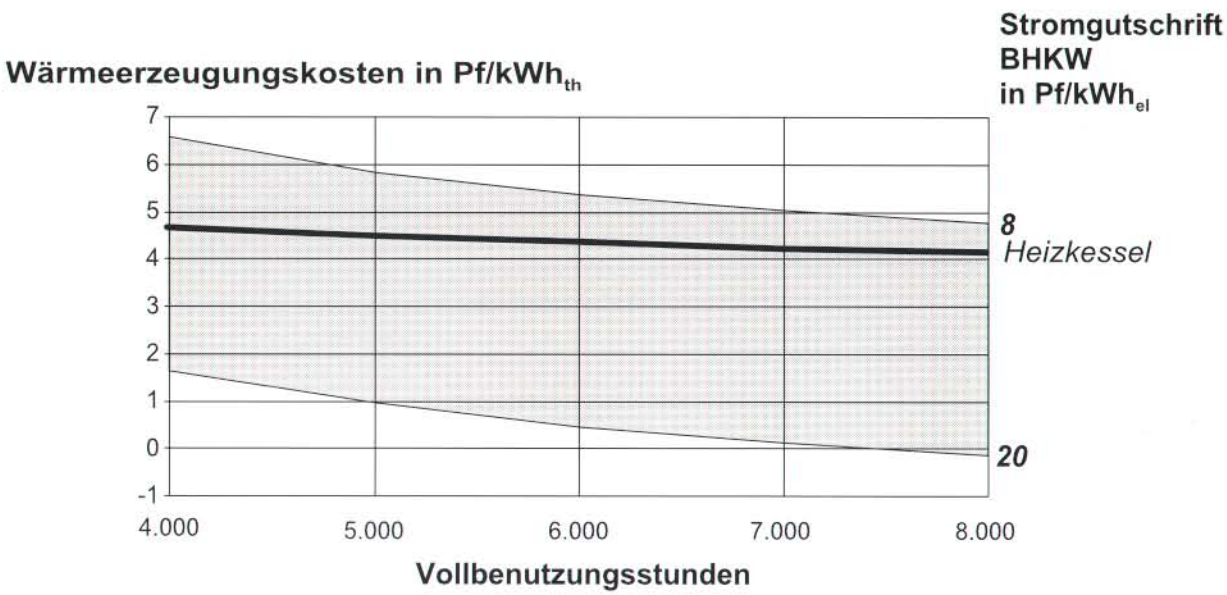
Wintertag



Sommertag

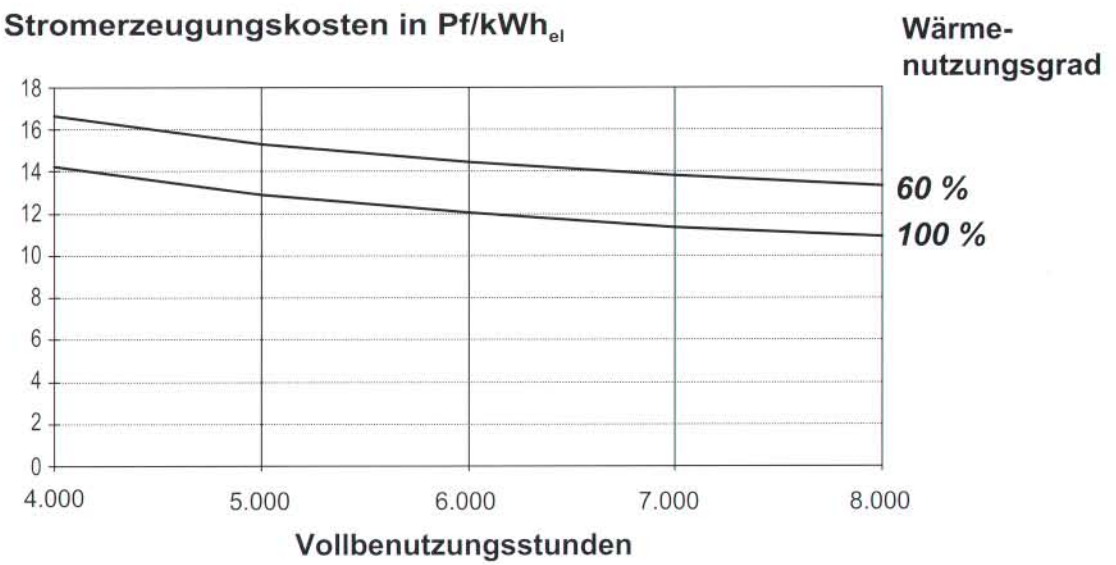


Wärmeerzeugungskosten - Beispiel



	BHKW	Heizkessel
Spez. Investitionskosten in DM/kWh$_{th}$:	917	200
Nutzungsdauer in Jahren:	15	20
Wartung + Instandhaltung in Pf/kWh$_{th}$:	1,83	
Wartung + Instandhaltung in % der Investition/a:		1,5
Nutzungsgrad thermisch in %:	54	90
Zinssatz in %/a:	8	
Gas-Arbeitspreis in Pf/kWh(H_o):	3	
Gas-Leistungspreis in DM/[kW(H_o)a]:	28	

Stromerzeugungskosten - Beispiel



Spez. Investitionskosten in DM/kW$_{el}$:	1.500
Zinssatz in %/a:	8
Gas-Arbeitspreis in Pf/kWh(Ho):	3
Gas-Leistungspreis in DM/[kW(Ho)a]	28
Wartung+Instandhaltung in Pf/kWh$_{el}$:	3
Nutzungsgrad elektrisch in %:	33
thermisch in %:	55
Kessel in %:	90

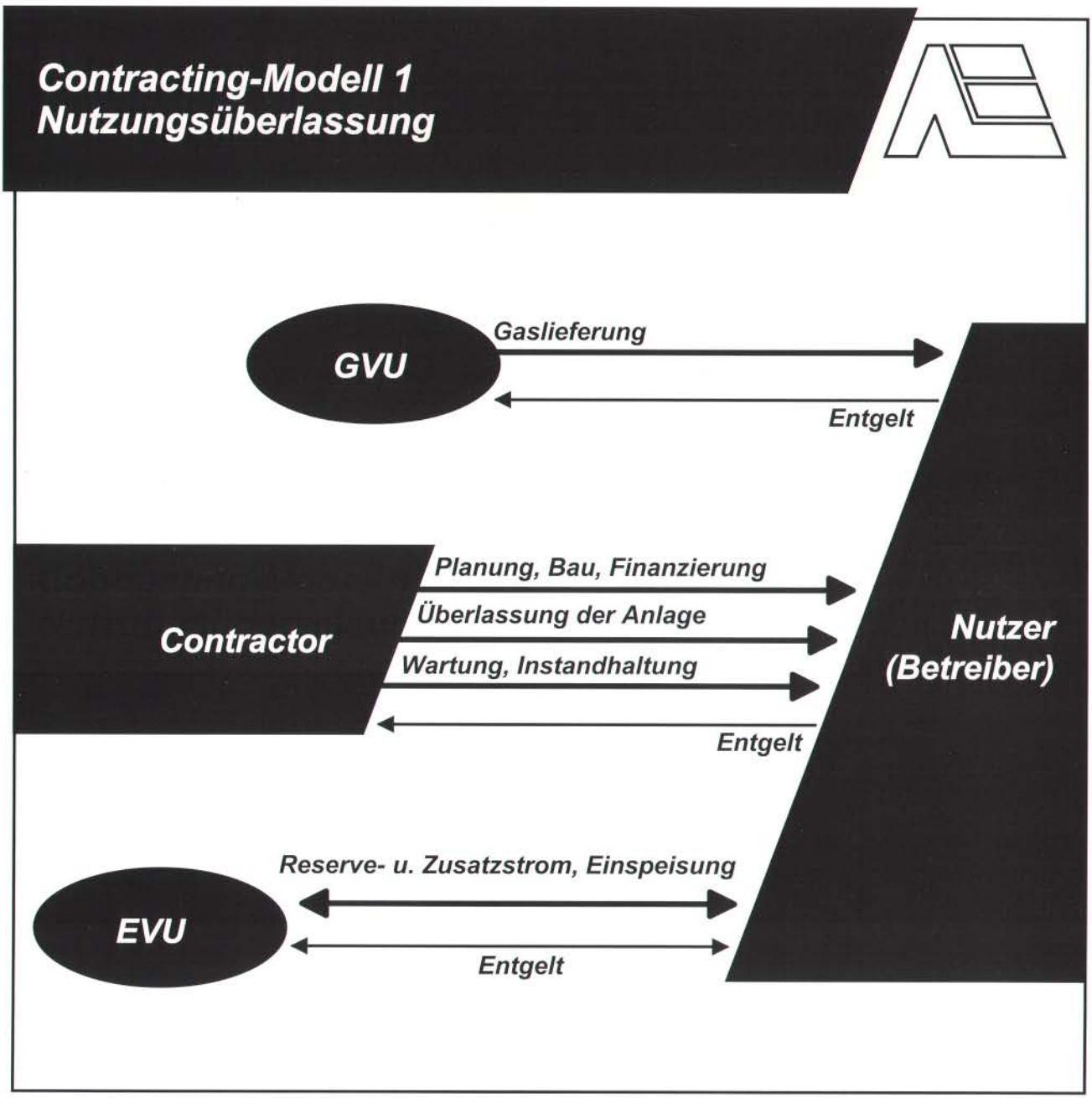

Contracting-Modell 1
Nutzungsüberlassung
GVU
Gaslieferung
Entgelt
Contractor
Planung, Bau, Finanzierung
Überlassung der Anlage
Wartung, Instandhaltung
Entgelt
Nutzer
(Betreiber)
EVU
Reserve- u. Zusatzstrom, Einspeisung
Entgelt

Bild 25

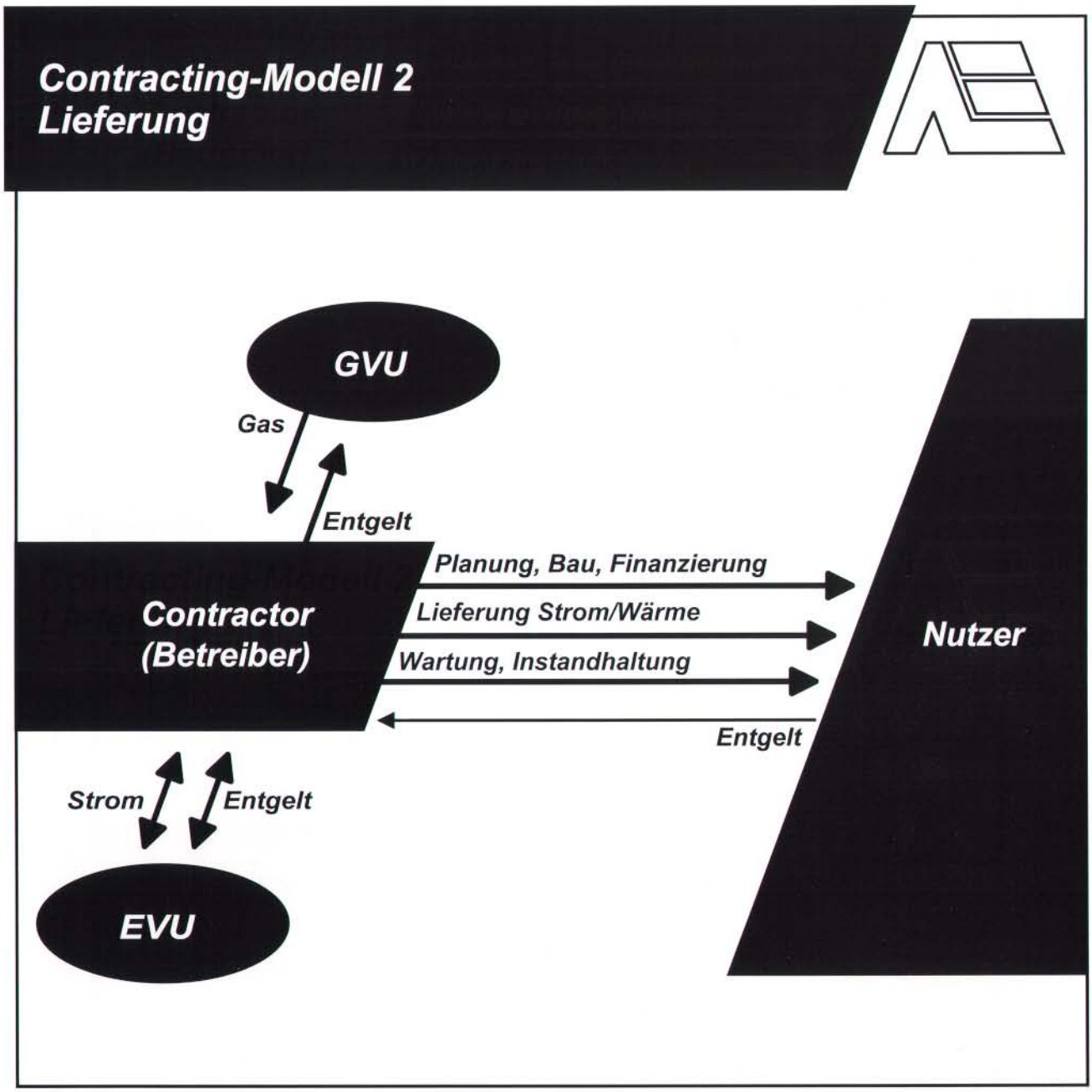

Contracting-Modell 2
Lieferung
GVU
Gas
Entgelt
Contractor
(Betreiber)
Planung, Bau, Finanzierung
Lieferung Strom/Wärme
Wartung, Instandhaltung
Entgelt
Nutzer
Strom
Entgelt
EVU

Bild 26

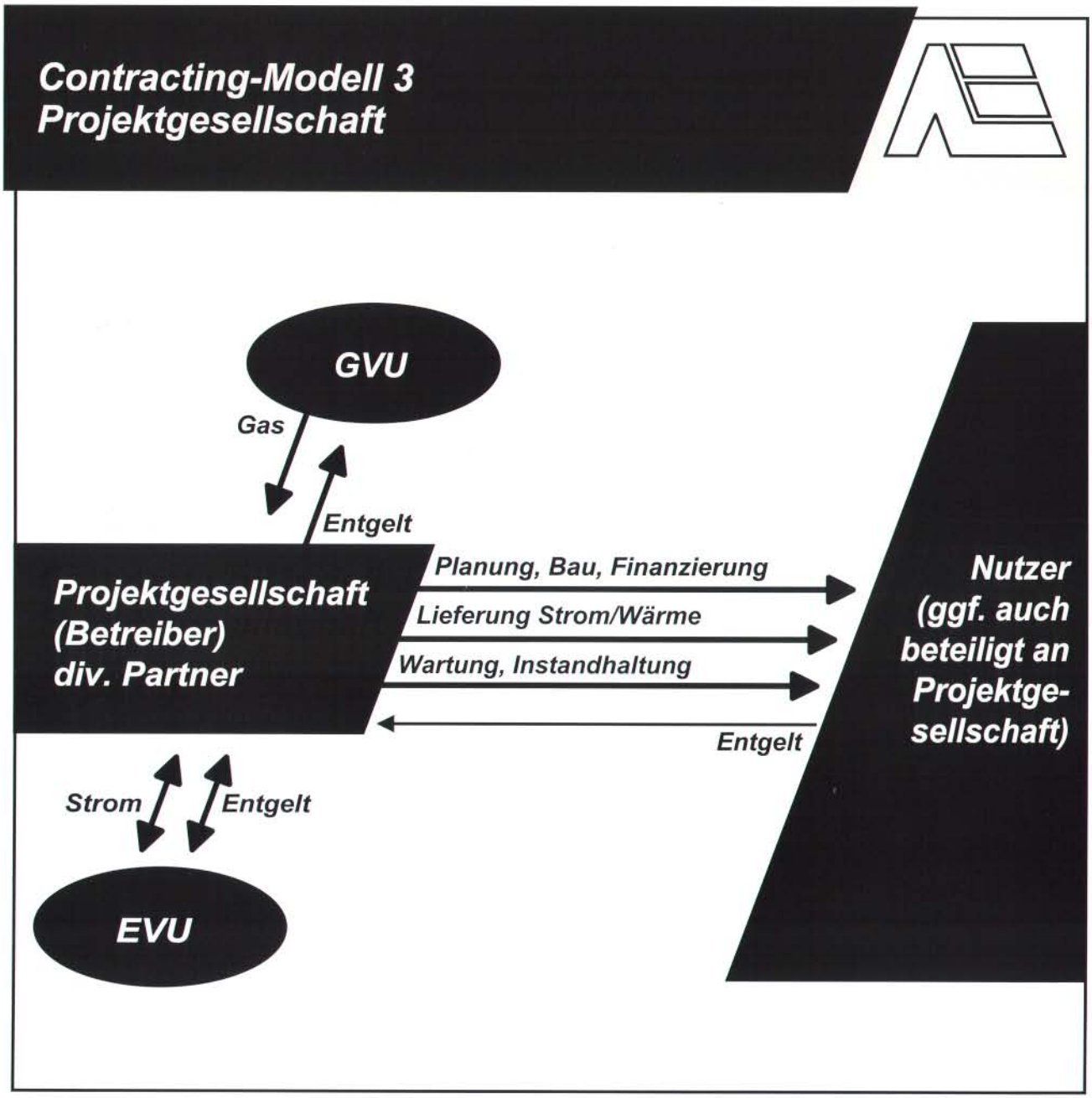
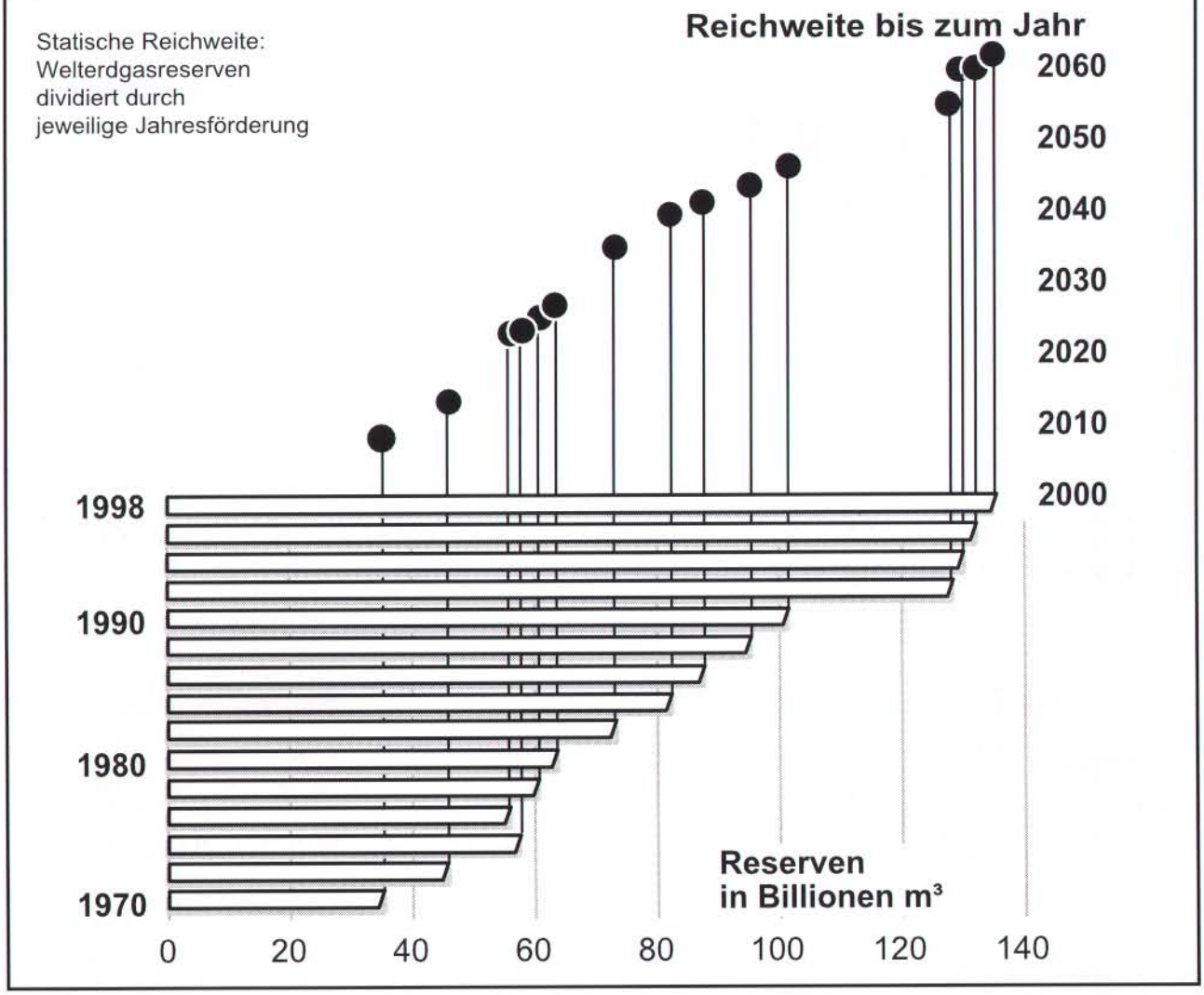
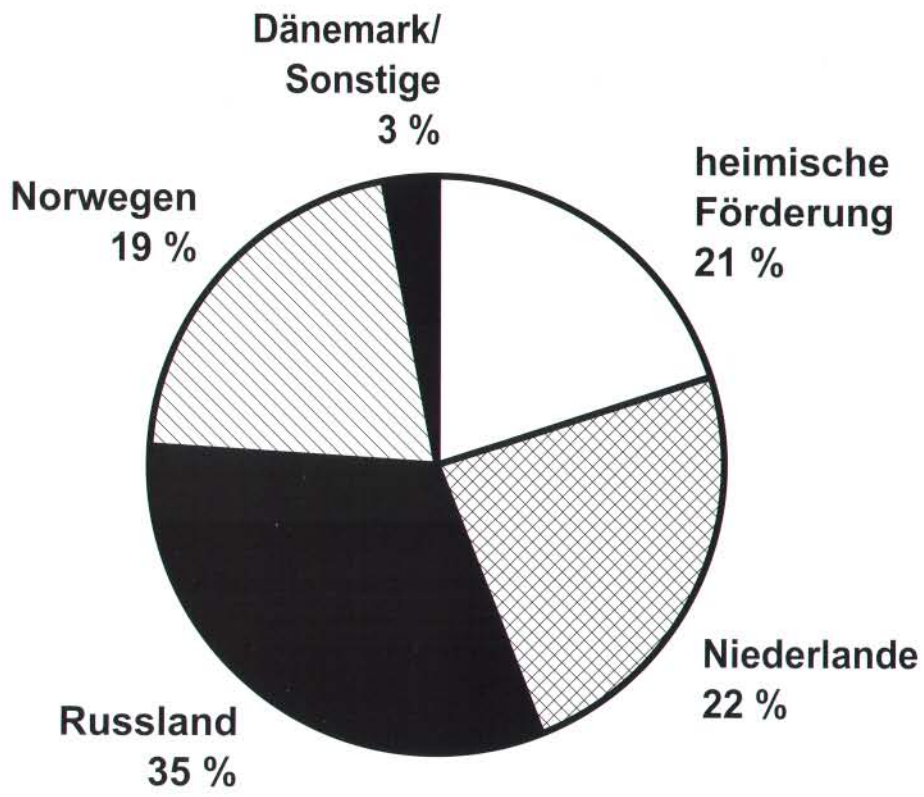

Contracting-Modell 3
Projektgesellschaft
GVU
Gas
Entgelt
Projektgesellschaft
(Betreiber)
div. Partner
Planung, Bau, Finanzierung
Lieferung Strom/Wärme
Wartung, Instandhaltung
Entgelt
Nutzer
(ggf. auch
beteiligt an
Projektge-
sellschaft)
Strom
Entgelt
EVU

Bild 27

Entwicklung der sicher gewinnbaren Welterdgasreserven und ihrer statischen Reichweite



Erdgasaufkommen in Deutschland 1998



Erdgasaufkommen insgesamt: 83 Mrd. m³

BHKW = praktizierte Energieeinsparung und Umweltentlastung

- ca. 35 % weniger Primärenergie gegenüber getrennter Erzeugung von Strom und Wärme
- höherer Gesamtnutzungsgrad (Strom und Wärme) als zentrale Heizkraftwerke
- verschiedene Systeme der Emissionsminderung ermöglichen einen umweltschonenden Betrieb
- verbrauchernaher Einsatz reduziert Transportkosten und vermeidet Verteilungsverluste für Strom und Wärme
- Beitrag zur CO_2-Minderung und damit zur Begrenzung des Treibhauseffektes
- Eignung für Erdgas, Klär-, Müll-, Deponie- und Kohlegas

Vorteile für den Betreiber

- Senkung der Energiekosten
- niedrigere Investitionen als bei konventioneller Fernwärmeerzeugung und -verteilung
- kurze Bauzeit
- gute Anpassungs- und Erweiterungsfähigkeit an den jeweiligen Bedarf durch Modulbauweise
- Hoher Stromanteil an der Nutzenergie (Stromkennzahl gegenüber konventionellen Heizkraftwerken)
- Einsatzmöglichkeit als Notstromaggregat
- gezieltes Abfahren elektrischer Stromspitzen
- Kombinationsmöglichkeiten mit Wärmepumpen, Kälteaggregaten, Verdichtern, Kompressoren, Pumpen etc.

ARBEITSGEMEINSCHAFT FÜR
SPARSAMEN UND
UMWELTFREUNDLICHEN
ENERGIEVERBRAUCH E.V.

Die 1977 gegründete ASUE Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V., ein Zusammenschluss von 40 Gasversorgungsunternehmen, fördert die Weiterentwicklung und weitere Verbreitung sparsamer und umweltschonender Technologien auf Erdgasbasis.

Solchen Techniken den Weg in die praktische Anwendung zu ebnen ist das vorrangige Ziel der ASUE.

Aktivitäten

Fachtagungen
Veröffentlichungen
Preis der deutschen Gaswirtschaft

Arbeitskreise

Blockheizkraftwerke
Erdgas und Umwelt
Gasturbinentechnik
Gaswärmepumpen und Kältetechnik
Haustechnik
Wärmelieferung

Mitgliedsunternehmen

Badische Gas- und Elektrizitätsversorgung AG, Lörrach
Bayerngas GmbH, München
BEB Erdgas und Erdöl GmbH, Hannover
egm Erdgas Mitteldeutschland GmbH, Kassel
EMB Erdgas Mark Brandenburg GmbH, Potsdam
Erdgas Schwaben GmbH, Augsburg
Erdgas Südbayern GmbH, München
Erdgas Südsachsen GmbH, Chemnitz
Erdgas-Verkaufs-Gesellschaft mbH, Münster
Erdgasversorgungsgesellschaft Thüringen-Sachsen mbH (EVG), Erfurt
Ferngas Nordbayern GmbH, Bamberg
Ferngas Salzgitter GmbH
GASAG Berliner Gaswerke AG
Gasanstalt Kaiserslautern AG
Gasfernversorgung Mittelbaden GmbH, Offenburg
Gas-Union GmbH, Frankfurt
Gasversorgung Main-Kinzig GmbH, Gelnhausen
Gasversorgung Osthessen GmbH, Fulda
Gasversorgung Sachsen-Anhalt GmbH, Halle
Gasversorgung Süddeutschland GmbH, Stuttgart
Gasversorgung Westerwald GmbH, Höhr-Grenzhausen
Gasversorgung Westfalica GmbH, Bad Oeynhausen
Gas-Versorgungsgesellschaft Filstal mbH, Göppingen
Gaswerksverband Rheingau AG, Wiesbaden
HEIN GAS Hamburger Gaswerke GmbH
Landesgasversorgung Niedersachsen AG, Sarstedt
Niederrheinische Gas- und Wasserwerke GmbH, Duisburg
Oberhessische Gasversorgung GmbH, Friedberg
RGW Rechtsrheinische Gas- und Wasserversorgung AG, Köln
Ruhrgas AG, Essen
Saar Ferngas AG, Saarbrücken
SpreeGas GmbH, Cottbus
Stadtwerke Essen AG
Stadtwerke Neuss Energie und Wasser GmbH
Stadtwerke Paderborn GmbH
Südhessische Gas und Wasser AG, Darmstadt
Thyssengas GmbH, Duisburg
VNG – Verbundnetz Gas AG, Leipzig
Westfälische Ferngas-AG, Dortmund
Wingas GmbH, Kassel

Das Papier dieser Broschüre ist nicht mit Chlor gebleicht.