



Urbaner Metabolismus

Die städtische Infrastruktur von Berlin

Energie - Wärme

Khaled Damrah
Monika Krecina
Emilia Linkner
Frank Müller

Impressum

Seminarkonzeption und Durchführung:
Michael Prytula

Gestaltung und Bearbeitung der Dokumentation:
Michael Prytula, Anna-Katharina Rost

© bei den Autoren, TU Berlin / GtE 2005

Zitierhinweis

Das vorliegende Dokument ist die pdf-Version eines Seminarbeitrags der jeweils genannten Autoren. Aus dem Dokument sollte in folgender Weise zitiert werden:

Damrah, K. / Krecina, M. / Linkner, E. / Müller, F.: Energie - Wärme.
In: Prytula, Michael (Hg.): Urbaner Metabolismus.
Die städtische Infrastruktur von Berlin.
Technische Universität Berlin, 2005
URL: <http://www.urbaner-metabolismus.de>

Titelbild: BHKW-Aggregat der Firma Dachs (Ausschnitt)
Quelle: Michael Prytula (2004)

Energie - Wärme

Khaled Damrah, Monika Krecina, Emilia Linkner, Frank Müller

Inhaltsverzeichnis

1. Nahwärme in Berlin
2. Fernwärme in Berlin
3. Vergleich Ölheizung - Fernwärme
4. Allgemeiner Kraftwerkszyklus
5. Vorkette Erdgas
6. Heizkraftwerk Mitte
7. Blockheizkraftwerke
8. Unterschied HKW - BHKW
9. Die „Niedrigenergiesiedlung Diestelweg“ in Niederhausen
10. Der Weg zum CO₂-emissionsfreiem Kraftwerk

Einführung

Diese Arbeit befasst sich mit dem Thema „Stoffwechselkreisläufe in der Stadt“, speziell mit dem Thema Energie – Wärme. Die Wärmeversorgung ist ein bedeutender infrastruktureller Baustein im städtischen Versorgungsnetz. Im groben kann man zwischen Fernwärmeversorgung, Nahwärmeversorgung und Einzelanlagen unterscheiden. In Berlin gibt es einen Mix dieser drei Arten. Der größte Fernwärmenetzbetreiber in Berlin ist die BEWAG. Das Berliner Fernwärmeversorgungsnetz hat eine Länge von 1200 km und eine Anschlussleistung von fast 6000 MW. Damit deckt die Fernwärme den größten Teil des Berliner Wärmebedarfs.

Nahwärmekonzepte eignen sich vor allem für kleinere zusammenhängende Komplexe, wie z.B. Gewerbegebiete, Krankenhauskomplexe und kleinere Siedlungen. Daneben gibt es verschiedene kleinere Heizanlagen direkt in den Wohnhäusern.

Unsere Arbeit setzt sich mit den verschiedenen Wärmeenergiekonzepten auseinander und will Voraussetzung, Funktionsprozesse und Vor- und Nachteile der einzelnen Konzepte näherbringen. Dazu erläutern wir anfangs Nah- und Fernwärmeerzeugungskonzepte. Im Anschluss stellen wir am Beispiel des Heizkraftwerks Berlin Mitte den Energieumwandlungsprozess von der Rohstoffgewinnung über den Kraftwerkszyklus bis zur Energiegewinnung dar. Dem gegenüber stellen wir ein Projekt zur Nahwärmeversorgung.

Das gewählte Beispiel ist eine Modellsiedlung für energiesparendes Bauen in Niederhausen. Die Siedlung wird über ein zentrales Blockheizkraftwerk mit Strom und Wärme versorgt. Am Ende wollen wir untersuchen, ob es „optimales“ Wärmeerzeugungskonzept für einen bestimmten Anforderungsfall gibt. Desweiteren sollen die Vor- und Nachteile der verschiedenen Konzepte dargestellt werden und mögliche Ausblicke für die Weiterentwicklung zur CO₂- Reduzierung und zur Erzielung besser Wirkungsgrade geben werden.

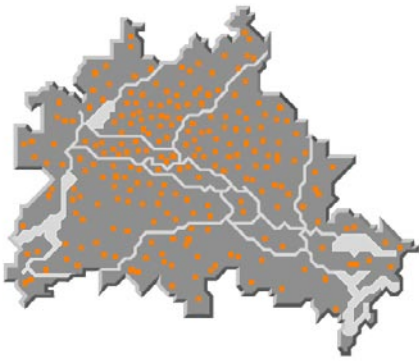


Abb. 1
 Nahwärme - Wärmeerzeugungsanlagen in Berlin
 Quelle: BEWAG, www.bEWAG.de

1. Nahwärme in Berlin

Wie man im Groben zwischen Nah- und Fernwärmekonzepten unterscheiden kann, lassen sich diese Erzeugungsformen noch weiter differenzieren. Nahwärme wird zum einen in Kraftwerken (Blockheizkraftwerken) und zum anderen in Einzelheizungsanlagen erzeugt. Die nächste Gliederungsstufe der Anlagen bildet die Brennstoffart. Von den konventionellen Brennstoffen Kohle, Öl und Gas ist das Erdgas am umweltschonendsten. Kohle tritt momentan als Energielieferant zunehmend in den Hintergrund. Ökologische Alternativen, vor allem für Kleinanlagen, bilden z.B. Holzhackschnitzel und Biogas.

Für die Brennstoffausnutzung gibt es verschiedene Anlagen mit unterschiedlichen Nutzungsgraden. Für Blockheizkraftwerke ist besonders der Dampf-Gas-Motor hervorzuheben, da die heißen Abgase mehrfach für Strom- und Wärmeerzeugung genutzt werden, ist der Wirkungsgrad höher als bei anderen Anlagen.

Die Einzelfeuerungsanlagen werden meist mit Öl und Gas betrieben, auch hier werden die Holz-Kohle-Öfen zunehmend vermieden, da sie mit ihren hohen Emissionen die Umwelt belasten.

Herkömmliche Heizungsanlagen müssen bestimmte Grundanforderungen erfüllen, die einem möglichst sparsamen Umgang mit dem eingesetzten Brennstoff zum Teil im Wege stehen: Die Temperatur des Heizwassers im Kessel muss mindestens 65 Grad Celsius betragen, sonst würde es zur Kondensation von Wasserdampf und zur Zerstörung des Brennerraums kommen. Die Abgastemperatur muss je nach Schornsteinquerschnitt eine bestimmte Höhe besitzen, damit ein ausreichender Zug gewährleistet ist und kein Wasserdampf kondensiert, der den Schornstein zerstört.

Neuere Kesselkonstruktionen können einen großen Teil der bisher verlorengegangenen Energie nutzen. Die modernen Kessel sind anders konstruiert und aus hochwertigeren Materialien gebaut. Dadurch ist es möglich, die Kesseltemperatur unter 65 Grad Celsius zu senken. Da nicht mehr Wärme produziert als momentan gebraucht wird, sind die Auskühlungsverluste des Kessels geringer. Die Vorlauftemperatur, also die Temperatur, mit der das Heizwasser zu den Heizkörpern gepumpt wird, muss in diesem Fall nicht mehr durch einen Mischer hergestellt werden, sondern sie wird direkt im Kessel erzeugt.



Abb. 2
 Kesselanlage Schönhauser Allee- Arcaden, Schönhauser Allee 75
 Die Anlage besteht aus einem Brennwertkessel (1.600 kW) der Firma Buderus. Sie ist auf die Verfeuerung von Erdgas mit Gasgebläsebrennern der Firma Riello ausgelegt. Die Kesselanlage wurde in der Dachheizzentrale im 5. Obergeschoss der Schönhauser Allee-Arcaden errichtet und versorgt den Gebäudekomplex mit Wärme zur Raumheizung und Lüftung.
 Quelle: BewagWärme - Optimale Versorgung direkt vor Ort, Feb. 2002

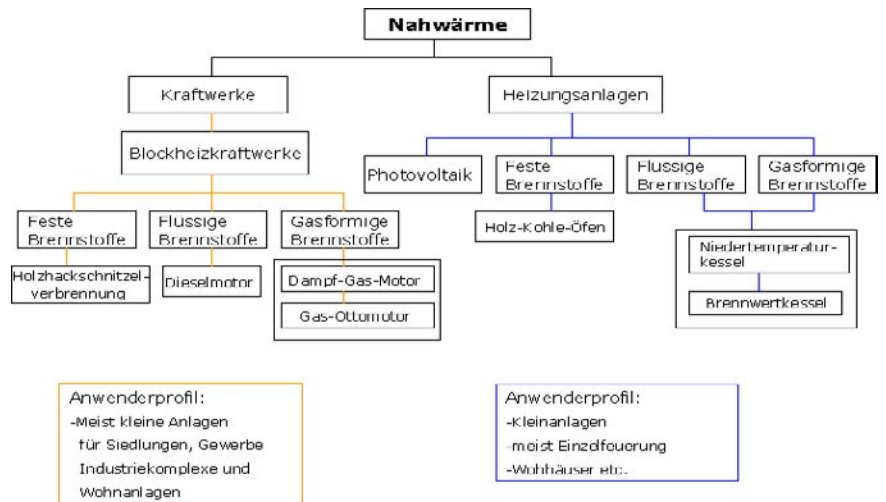


Abb. 3
 System Nahwärmeerzeugung
 Quelle: Eigene Darstellung

Der Einsatz von BHKW ist nur empfehlenswert, wenn es einen gleichzeitigen Bedarf an Strom und Wärme in räumlicher Nähe gibt, dies sind vor allem Wohnhaussiedlungen, kleinere Gewerbegebiet, größere Krankenhäuser und öffentliche Einrichtungen.

Das Berliner Nahwärmenetz der BEWAG wird über 190 kleinere dezentrale Wärmanlagen mit einer Gesamtleistung 108 MW gespeist. Einige der Anlagen erreichen eine Höchstleistung von 10 MW. Für die Wärmeversorgung weitaus bedeutender sind die Fernwärme-Erzeugungsanlagen und das damit verbundene 1200 km lange Fernwärmeverteilungsnetz. Es gibt 10 Heizkraftwerke, ein Heizwerk und ein großes Blockheizkraftwerk; zusammen erreichen sie eine Leistung von 6425 MW.

Im allgemeinen haben Blockheizkraftwerke im Nahwärmenetz energetische, öko-logische und ökonomische Vorteile gegenüber konventionellen Heizkraftwerken. Setzt man die eingesetzte Primär-energie mit 100% gleich, so gibt es im dezentralen BHKW 10% Umwandlungsverluste, dass entspricht einer 90 prozentischen Brennstoffausnutzung. Der Strom-Wärme-Mix entspricht etwa 30 zu 90 Prozent. Demgegenüber sind die Umwandlungsverluste im zentralen HKW etwa um fünf Prozent höher, hinzukommen Leitungsverluste von etwa sechs Prozent (1% Strom, 5% Fernwärme).

2. Fernwärme in Berlin

In den Heizkraftwerken und Heizwerken wird die benötigte Wärmeenergie erzeugt, die Anlagen sind über ein Verbundnetz zusammengeschlossen. Verteilt wird die erzeugte Wärme im Westteil Berlins über ein 3-Leiter-System und im Ostteil über ein Zwei-Leiter-System. Die Vernetzung der verschiedenen Kraftwerke untereinander garantiert gute Versorgungssicherheit auch wenn eine Anlage komplett ausfallen sollte.

Das Berliner Fernwärmenetz zählt mit 1.200 km Leitungslänge und einer Wärmeleistung von 7.700 MW zu den größten Europas. Die BEWAG ist mit Abstand der größte Anbieter, daneben sind in Berlin noch andere kleine Unternehmen beteiligt: Fernheizwerk Märkisches Viertel GmbH (FHMV), Fernheizwerk Neukölln AG, Blockheizkraftwerk Träger- und Betreibergesellschaft Berlin GmbH (BTB), Energie-Anlagen Berlin (EAB GmbH), GASAG (Berliner Gaswerke AG).



Abb. 4
Kesselanlage und Nahwärmenetz, Westphalweg 15 c
Die Anlage liegt im Innenhof eines dreigeschossigen Gebäudekomplexes mit insgesamt 574 Wohneinheiten. Sie besteht aus zwei Niedertemperaturkesseln der Firma Buderus (Kesselleistung jeweils 1.320 kW) und ist auf die Verfeuerung von Erdgas mit Gebläsebrennern der Firma Riello ausgelegt. Aus dieser eigenen Kesselanlage liefert die BEWAG die Wärme und verteilt sie über ihr Nahwärmenetz bis zu den Hausübergabestationen.
Quelle: BewagWärme - Optimale Versorgung direkt vor Ort, Feb. 2002



Abb. 5
Heizkraftwerke und Heizwerke der BEWAG
Seit Mitte der neunziger Jahre werden der größte Teil der Wohnungen Berlins, etwas über 550.000 Wohnungen, mit Fernwärme beheizt. Die Tendenz ist weiter steigend. Mit Gas werden rund 500.000 Wohnungen beheizt. Der Anteil der mit Öl beheizten ist seit 1995 leicht zurückgegangen und lag 1998 bei rund 470.000 Wohneinheiten. Stark rückläufig ist seit den 80er Jahren der Anteil der mit Kohle beheizten Wohnungen, welcher sich heute noch auf ca. 200.000 Wohneinheiten beläuft. Die Zahl der Wohnungen mit Nachtstromspeicherheizungen hat ebenfalls abgenommen und beträgt noch gut 30.000 Wohnungen.
Quelle: BewagWärme - Optimale Versorgung direkt vor Ort, Feb. 2002

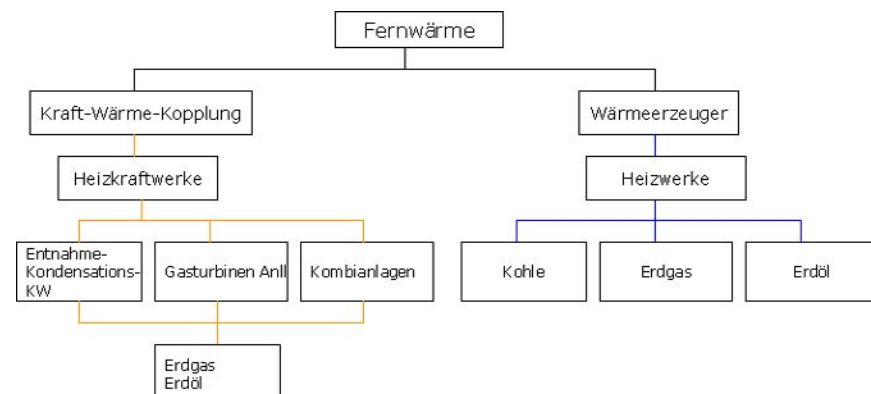


Abb. 6
Fernwärme - Systemanalyse
Quelle: Eigene Darstellung

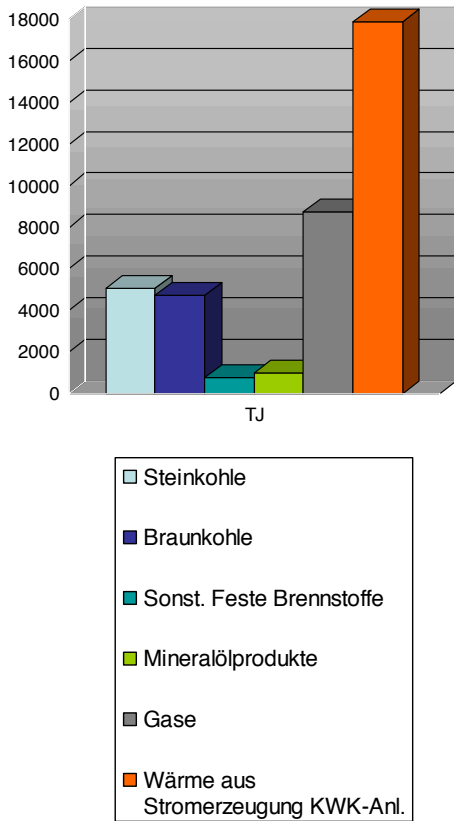


Abb. 7
 Wärmeerzeugung nach Energieträgern
 Quelle: BewagWärme - Optimale Versorgung
 direkt vor Ort, Feb. 2002

Bei der Fernwärmeerzeugung kann man zwei grundsätzliche Arten unterscheiden: zum einen gibt es Heizwerke, die dienen der ausschließlichen Wärmeerzeugung. Das heiße Abgas bleibt bei dieser Technik ungenutzt. Die moderne Alternative sind Heizkraftwerke, die funktionieren nach dem Prinzip der Kraft-Wärme-Kopplung. Hier wird gleichzeitig Strom und Wärme erzeugt und die im Abgas enthaltene Energie mehrfach genutzt. Auch hier gibt es unterschiedliche technische Systeme. Kombianlagen sind die fortschrittlichsten, sie haben den höchsten Wirkungsgrad.

Der Energiebedarf im Fernwärmebereich erreichte 1991 mit über 50.000 TJ seinen Spitzenwert, danach sank das Fernwärmeaufkommen kontinuierlich auf 38.635 TJ im Jahr 1999. Dies liegt zum einen an einer verbesserten Wärmedämmung, insbesondere der Plattenbauten im Ostteil der Stadt, zum anderen an der Erneuerung des Fernwärmenetzes und der Übertragungsstationen.

Das größte Vorhaben der BEWAG war der Neubau des Gas- und Dampfturbinen-Kraftwerks am Standort des alten Heizkraftwerks Mitte, das 1997 ans Netz ging. Mit dem in HKW-Mitte erzeugten Strom werden etwa 10 Prozent des derzeitigen Bedarfs von Berlin gedeckt. Mit seiner Fernwärmeleistung lassen sich ca. 60.000 Wohnungen beheizen. Durch das neue Heizkraftwerk wird eine Reduzierung der CO₂-Emissionen um eine Millionen Tonnen pro Jahr erreicht.

Energie wird umweltschonend durch Kraftwärme-Kopplung in Heizkraftwerken erzeugt, dadurch wird der Brennstoff optimal ausgenutzt. Dadurch werden in Berlin jährlich Brennstoffe eingespart, was umgerechnet 530 Mio. Litern Heizöl entspricht, somit werden Emissionen in Höhe von 1,5 Mio. Tonnen CO₂ von vornherein vermieden. Außerdem ist die Abgasreinigung in den großen Kraftwerken durch aufwendige Filteranlagen viel effizienter als bei kleinen Einzelanlagen.

Die Umstellung von Sammelheizungsanlagen, z.B. bei Altbauten, ist relativ unproblematisch, da das hausinterne Heizungsnetz aus Leitungen und Heizkörpern in den meisten Fällen erhalten bleiben kann. Es muss lediglich eine Fernwärme-Hausstation im Keller eingerichtet werden. Der alte Heizkessel kann demontiert werden.

3. Vergleich Ölheizung - Fernwärme

Stellt man einen einfachen Jahreskostenvergleich zwischen einer Ölheizung mit 12 KW und einer Fernwärmeleistung von 12 KW für ein Einfamilienhaus auf, liegen die Jahreskosten für Fernwärme etwa 25% niedriger. Dies liegt vor allem daran, dass die Wartungs- und Instandhaltungskosten bei der Fernwärme entfallen außerdem schlagen sich die anteiligen Anschaffungskosten für die Ölheizungsanlage erheblich auf die Kostenseite nieder.

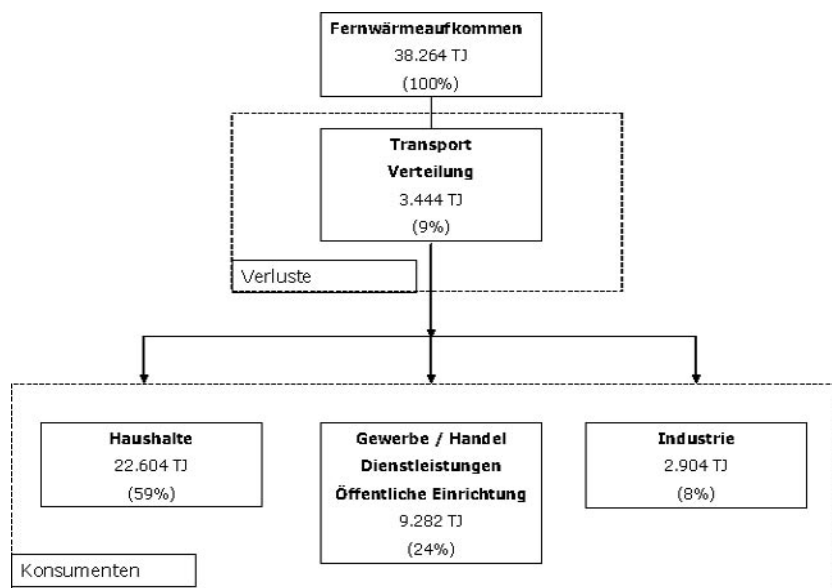
Zeigt der Jahresheizkostenvergleich noch deutliche Vorteile für die Fernwärmeversorgung, wird beim Blick auf die Verteilung der Wärmeenergie der große Nachteil der Fernwärmeversorgung deutlich.

Bei der Verteilung des heißen Wassers über das Fernwärmeleitungsnetz gibt es durch die weiten Weg enorme Verteilungsverluste. Etwa neun Prozent der Wärmeenergie gehen auf diesem Weg verloren. Eine einfache Rechnung macht die hohen Verluste anschaulich:

Geht man vom jährlichen Heizwärmebedarf eines Einfamilienhauses aus (ca. 16.800 kW/h), dann könnten mit den jährlichen Fernwärmeverlusten etwa 57.000 Einfamilienhäuser ein Jahr lang beheizt werden!

Jahresheizkosten im Vergleich (Einfamilienhaus 12 KW)		
	Ölheizung	Fernwärme
Maximale Heizlast	12 KW	12 KW
Wärmebedarf/Jahr	16.800 Kw/h	16.800 KW/h
Heizölverbrauch/Jahr	2.069 Liter	
Öl, 2.069 Liter à 0,44	848,29 €	-
Instandhaltung	90,84 €	-
Kaminkehren	75,78 €	-
Strom für Ölbrenner	32,70 €	-
Arbeitspreis: 16800 Kw/h à € 0,05	-	818,00 €
Grundpreis : 15,55/Kw/Jahr	-	186,62 €
Messpreis: € 8,58/Monat	-	102,90 €
Abschreibung / Jahr	661,32 €	87,21 €
Jahreskosten inkl. MwSt	2.050,48 €	1.434,00 €

Abb. 8
 Kostenvergleich Ölheizung- Fernwärme
 Quelle: <http://www.fernwaerme.at/Kosten>



Fernwärmeverluste:

3.444 TJ = 3.444.000.000.000.000 J = 3.444.000.000 MJ

1 kWh = 3,6 MJ >>> 3.444.000.000 MJ = 956.666.666 kWh

Jahreswärmebedarf durchschnittliches Einfamilienhaus: 16.800 kWh/a

57.000 Einfamilienhäuser könnten ein Jahr lang mit Fernwärme Beheizt werden!

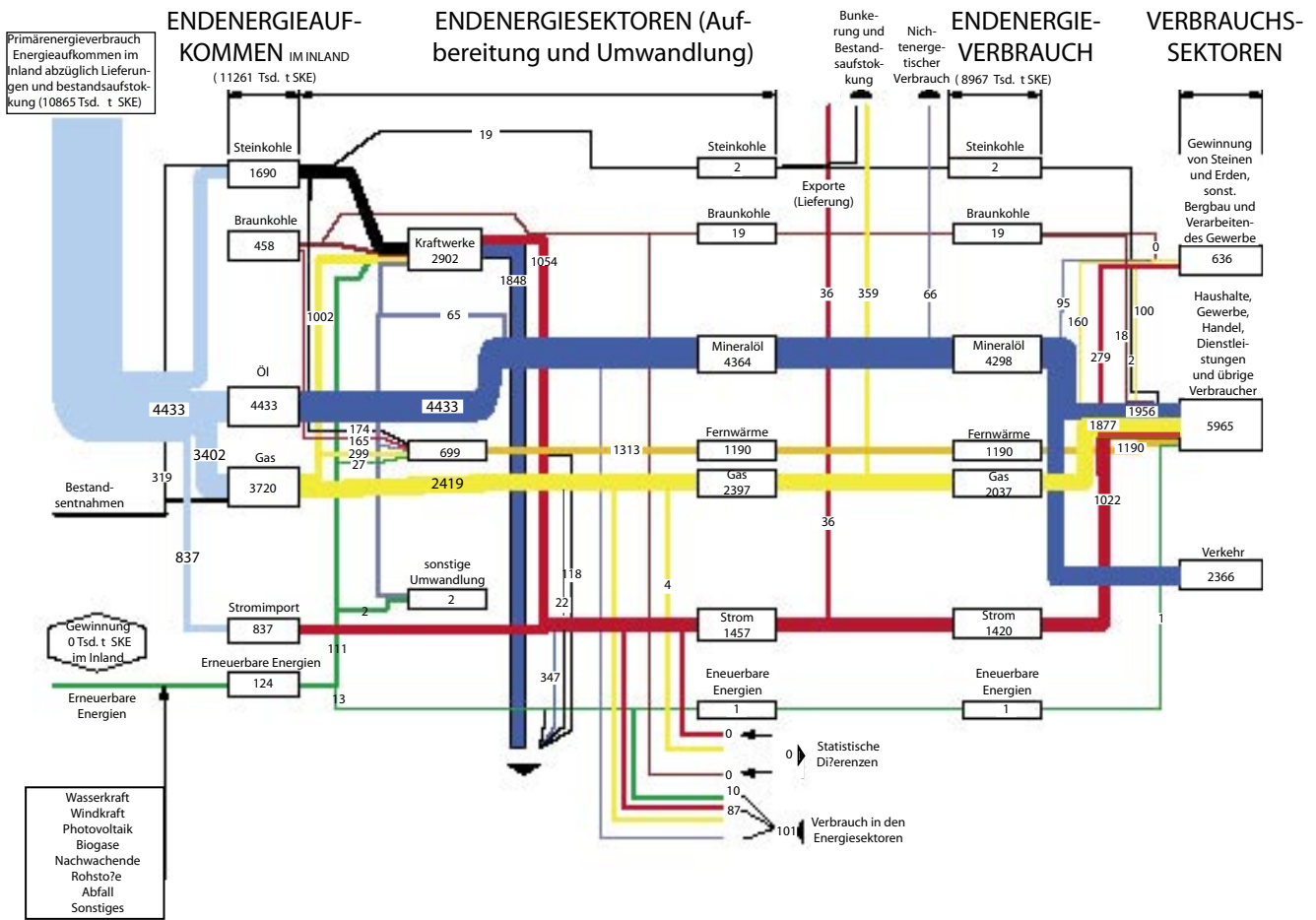


Abb. 9
 Energiebilanz Berlin (Energieflussschema)
 Quelle: Senatsverwaltung für Wirtschaft, 2002

Die folgende Darstellung des Energiesystems beschreibt die Flüsse von Gütern (Energieträgern, -formen bzw. Material) von der Rohstoff-Förderung über verschiedene Umwandlungs-, Transport-, Speicher- und Verteilungsstufen bis hin zum Export oder zur Endnutzung:

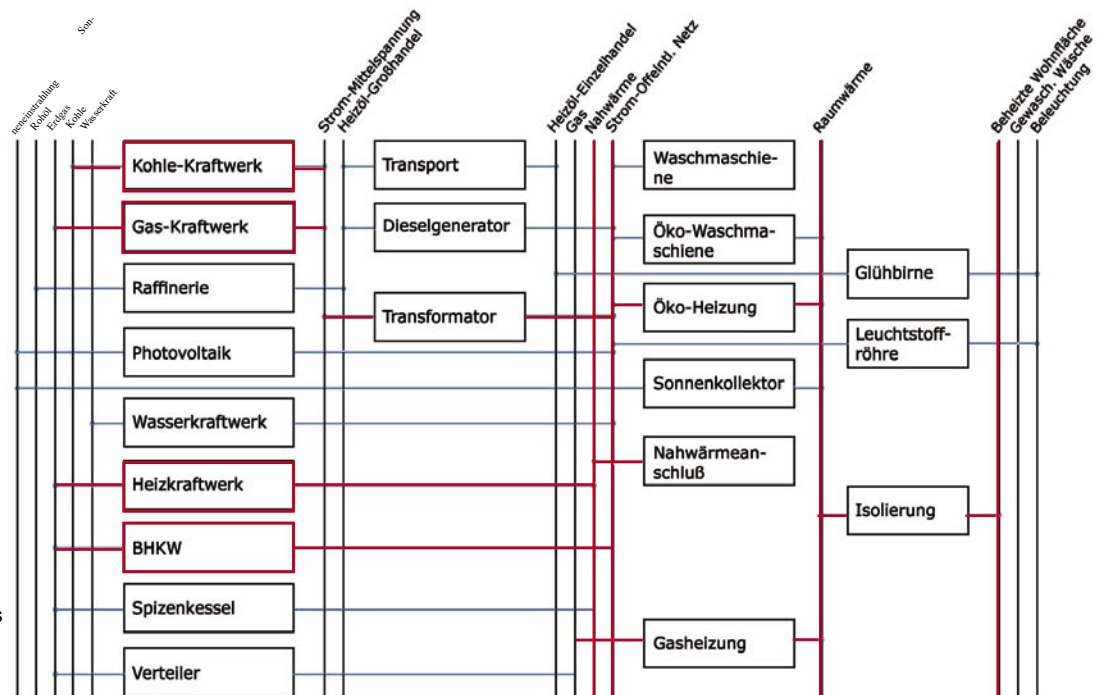


Abb. 10
 Vereinfachtes Schema eines Referenzenergiesystem
 Quelle: VDI Berichte 1457, 1999

4. Allgemeiner Kraftwerkszyklus

Die Herstellphase kann man als eine vorgelagerte Prozesskette zum eigentlichen Hauptprozess der Energieerzeugung bezeichnen. Dieser Prozesskette wiederum sind verschiedene weitere Ketten vorgelagert, so entstehen z.B. unterschiedliche Emissionen bei der Rohstoffgewinnung, beim Transport, und bei der Verarbeitung der Rohstoffe zu Baumaterialien. Die sind alles unterschiedlich energieaufwendige Prozesse, die unterschiedlich stark Emissionen erzeugen. Wirtschaftlich gesehen, entstehen durch Emissionen indirekte Kosten aber der Bau des Kraftwerks bedeutet andererseits für den Eigner einen wirtschaftlichen Mehrwert.

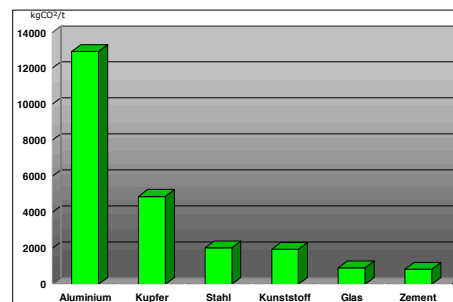


Abb. 11
CO₂-Emission von Werkstoffen
Quelle: VDI Berichte 1093, B. Lewin, Berlin

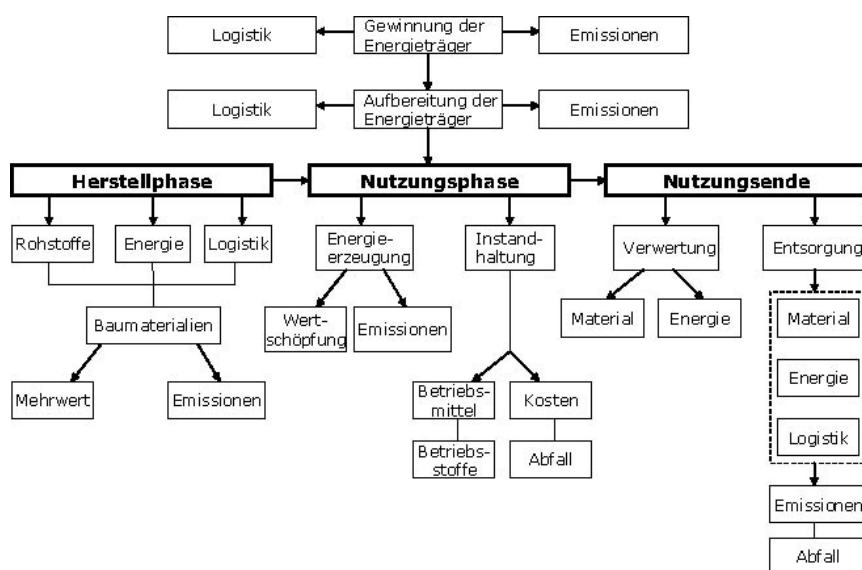


Abb. 12
Das Diagramm zeigt die allgemeinen Kraftwerksprozesse von der Herstellungsphase über die Nutzungsphase bis hin zum Nutzungsende.
Quelle: Eigene Darstellung

Wir waren bemüht, für unser Referenzobjekt, das HKW Berlin-Mitte, Daten über Erstellung dieses Kraftwerks zu erhalten, aber wir haben vom Betreiber leider kein Material erhalten. Im Allgemeinen kann man aber sagen, dass je höher der Veredlungsgrad eines Rohstoffes ist, auch höhere Kosten und ein höherer Energieaufwand notwendig sind. Man kann dazu ein Äquivalent aus Schadstoffausstoß je erzeugter Menge des jeweiligen Materials bilden. So entstehen beispielsweise bei der Aluminium- und Kupferherstellung im Vergleich zur Zementherstellung hohe Emissionen.

Hieraus kann man ableiten, dass die eigentliche Gebäudeerstellung im Vergleich zur technischen Ausstattung mit Turbinen und der Technik, die erforderlich ist, prozentual geringere Kosten und Emissionen erzeugt. Denn die Gebäudehülle besteht eher aus low-tech Materialien, aber für die Turbinen und alle beweglichen und der großen Hitze ausgesetzten Anlagenteile sind wegen der enormen Belastungen aufwendige Metalllegierungen notwendig.

Der Nutzungsphase wiederum sind ebenfalls verschiedene Prozessketten vorgelagert. So müssen beispielsweise Energieträger gewonnen und aufbereitet werden, dazu sind finanzielle Mittel nötig und beim Rohstoffgewinnung, -transport und -veredelung entstehen unterschiedliche CO₂-Emissionen.

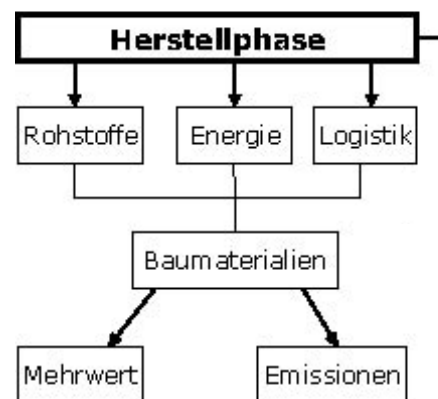


Abb. 13
Systemausschnitt Herstellungsphase
Quelle: Eigene Darstellung

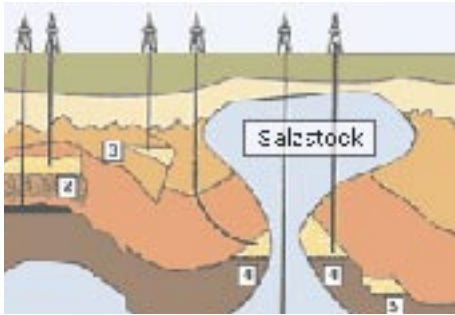


Abb. 14
Erdgasentstehung
Quelle: Keine Angabe

5. Vorkette Erdgas

Diese Vorkette wollen wir am Beispiel des Rohstoffs Erdgas verdeutlichen. Erdgas lagert zumeist in mehreren Metern Tiefe unter der Erdoberfläche oder dem Meeresgrund. Zurzeit sind Vorkommen bis zu einer Tiefe von 7000 m bekannt. In diesen Erdgasfeldern aus porösen Gesteinsschichten steht das Gas- in Abhängigkeit von der Tiefe – unter einem Druck von bis zu 300 bar. Zu den bedeutendsten Vorratsregionen der Erde zählen unter anderem Russland, der Nahe Osten, der Arabische Golf und Nordamerika mit den USA. Das weltgrößte Vorkommen befindet sich unter dem Atlantik in bis zu 7000 Metern Tiefe. Deutschland deckt etwa 19 Prozent des gesamten Erdgasbedarfs der deutschen Gaswirtschaft aus heimischen Quellen. Lieferländer sind Russland (37%), Norwegen (21%), Niederlande (17%) sowie Großbritannien und Dänemark (6%).

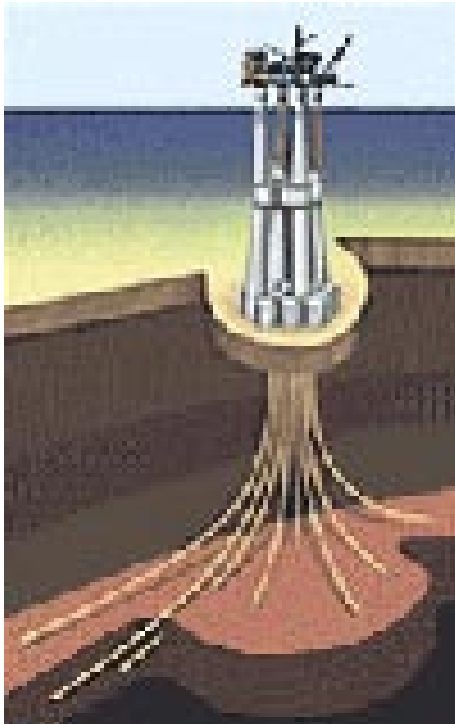


Abb. 15
Bohrinsel
Quelle: Keine Angabe

Das Erdgas entstand vor Jahrtausenden aus organischen Stoffen wie tierischem und pflanzlichen Plankton. Nach dem Absterben der Mikroorganismen lagerten sie sich am Grunde der Meere ab. Im Laufe der Zeit lagerten sich darüber andere Sedimentschichten ab, so dass keine Luft mehr an das abgestorbene Plankton gelangte, es entstand Faulschlamm. Dieser entwickelte sich über lange Zeiträume langsam zu Erdgasmuttergestein. Bakterien zersetzen die eingeschlossen, abgestorbenen Kleinstlebewesen. Muttergestein gelangt durch weitere Überlagerungen von Gesteinsmaterial in größere Tiefen.

Die dort herrschenden Temperaturen und hohen Drücke führen dazu, dass das Erdgas aus dem Muttergestein ausgepresst wird und nach oben steigt, dort trifft es auf undurchlässige Gesteinsschichten. Darunter sammelt es sich unter sogenanntem Speichergestein. Riesige Bohrsinseln sind für die Erdgasförderung auf See notwendig.

Die Baukosten sind enorm, für die Statfjord- Bohrsinsel betragen sie beispielweise zwei Milliarden Euro. Das gewonnene Gas wird auf zwei Arten transportiert. Für den Schiffstransport wird das Gas auf $-162\text{ }^{\circ}\text{C}$ heruntergekühlt, dadurch verflüssigt sich das Gas und das Volumen verringert sich auf 1/6000. In großen Seehäfen, z.B. Rotterdam gibt es spezielle Terminals, an denen die Schiffe entladen werden, der Weitertransport erfolgt über Pipelines. Innerhalb Europas gibt es ein riesiges Fernleitungsnetz. Verdichterstationen, alle 100 km bis 200 km, sorgen für den richtigen Transportdruck, die Verdichter benötigen Energie. Um den Druck des Gases auf die örtlichen Leitung anzupassen, gibt es sogenannte Reduzierungsanlagen.

Die bei der Druckreduzierung frei werdende Energie wird dabei zur Stromerzeugung genutzt. Die Fernleitungen mit einem Durchmesser bis zu 160 Zentimeter münden letztlich in Hausanschlüssen mit einem Durchmesser von 5 Zentimeter. Fernleitungen, regionale Leitungen und örtliche Leitungen in Deutschland ergeben eine Gesamtlänge von 360.000 km. Die Kraftwerke sind mit diesem Netzwerk verbunden und erhalten auf diesem Weg ihren Brennstoff.



Abb. 16
Förderstandorte und Transport
Quelle: Keine Angabe

Aus den Brennstoffen wird im Kraftwerksprozess Wärmeenergie und Strom erzeugt. Je nach Brennstoff und Kraftwerkstechnologie entstehen unterschiedlich stark Emissionen. Bei den großen Kraftwerken sind zum Teil aufwendige Instandhaltungsmaßnahmen verbunden, sie bedeuten oftmals einen hohen finanziellen und materiellen Aufwand. In regelmäßigen Abständen müssen die Anlagenteile, besonders die Turbinen und Generatoren gewartet werden und die Betriebsstoffe ausgetauscht werden. Die ausgetauschten Betriebsstoffe müssen aufwendig entsorgt beziehungsweise recycelt werden.

6. Heizkraftwerk Mitte

Den Energieumwandlungsprozess erläutern wir anhand des Heizkraftwerks Berlin-Mitte. Dieses Kraftwerk liegt mitten in der Stadt zwischen Wohn- und Gewerbegebieten direkt an der Spree, deshalb wurden hohe Anforderungen an den Betrieb der Anlage gestellt. Zum Anwohnerschutz wurden die Schadstoff- und Lärmemissionsgrenzen auf ein Minimum eingeschränkt. Zum Betrieb der Anlage ist die Lage an der Spree erforderlich, hier wird Kühl- und Betriebswasser gewonnen und das Heizöl wird auf dem Schiffsweg geliefert. Andererseits erfordert die Nähe zum Wasser hohe Anforderungen an den Gewässerschutz.

Diese Auflagen machten es notwendig, eine der modernsten und effizientesten Anlagen der Welt zu errichten.

Das HKW-Mitte hat eine elektrische Leistung von 380 MW, die Spitzenheizleistung liegt bei 240 MW, somit ist es der größte Wärmelieferant im Verbundnetz der BEWAG. Durch die günstige Lage, direkt in Verbrauchernähe, sind die Wärmeverteilungsverluste sehr niedrig und die Beeinträchtigung der Umwelt gering. Das Kraftwerk Mitte versorgt unter anderem den Bereich Potsdamer und Leipziger Platz. Es können insgesamt etwa 60.000 Wohnungen sowie rund 500 öffentliche Gebäude versorgt werden.

Das Heizkraftwerk Mitte ist die einzige Gas- und Dampfturbinen-Kombi-anlage in Berlin. Das HKW besteht aus zwei Gasturbinen, zwei Abhitze-kesseln und einer Dampfturbine mit drei Heizkondensatoren. Erdgas bzw. leichtes Heizöl werden in den Brennöfen verbrannt. Die heißen Abgase strömen über die Schaufelräder der Gasturbine, durch die Drehbewegung wird im Generator Strom erzeugt. Die heißen Abgase werden weiter genutzt, sie durchlaufen den Abhitze-kessel und lassen das Kesselwasser verdampfen. Dieser Dampf treibt wiederum eine Dampfturbine an, so wird ein zweites Mal Strom durch einen Generator erzeugt. Anschließend gelangt der Dampf in die drei Wärmetauscher, dort gibt er seine noch nutzbare Wärmeenergie an das Heiznetz-wasser ab. Über dieses Netz gelangt die Wärme zum Verbraucher. Die Vorlauf-temperatur beträgt etwa 135°C, die Rücklauf-temperatur liegt zwischen 50 und 70°C.

Im Sommer ist der Wärmebedarf naturgemäß geringer, es muss weniger Heizenergie bereitgestellt werden. Somit wird im HKW-Mitte auch entsprechend weniger Strom erzeugt, denn für die effiziente Nutzung der KWK müssen Heizmenge und Stromerzeugung gekoppelt sein, die Anlage arbeitet also „wärmegeführt“.



Abb. 17
Standort Heizkraftwerk Mitte
Quelle: www.bewag.de, Januar 2001 HKW Mitte

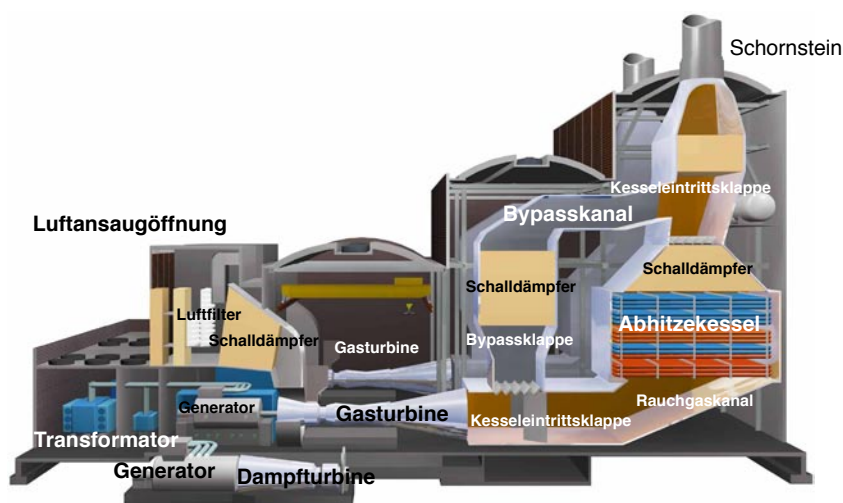


Abb. 18
Funktionsschnitt- Kraftwerk Mitte
Quelle: www.bewag.de, Januar 2001 HKW Mitte



Abb. 19
 Luftbild Heizkraftwerk Mitte:
 Quelle: www.bewag.de, Januar 2001 HKW Mitte

- 1 Kombianlage
- 2 Schornsteine der Kombianlage
- 3 Heißwassererzeuger
- 4 Schornsteine der Heißwassererzeuger
- 5 Erdgasmess- und -verdichtungsstation
- 6 Heizöltank
- 7 Schiffsentadestelle
- 8 Einlaufbauwerk
- 9 Werkstatt/Lager
- 10 Verwaltungsgebäude
- 11 110-kV-Schaltanlage und Besucherzentrum
- 12 Altes Kraftwerksgebäude

Im Heizkraftwerk-Mitte werden bis zu 90 Prozent der eingesetzten Primärenergie in Strom und Wärme umgewandelt, in einem herkömmlichen stromerzeugenden Kraftwerk liegt der Energienutzungsgrad bei nur etwa 40 Prozent. Die Anlage ist für den Betrieb mit leichtem Heizöl und Erdgas ausgelegt.

Jedoch wird im Heizkraftwerk Mitte vorrangig Erdgas als Brennstoff eingesetzt, da es ein günstigeres CO₂-Emissionsverhalten als Heizöl hat. Mit der modernen Gas- und Dampfturbinentechnik und durch die Kraft-Wärme-Kopplung werden zudem Effizienzwerte erreicht, die deutlich über dem weltweiten Durchschnitt der Energieerzeugungsanlagen mit fossilen Brennstoffen liegen. Gegenüber der Altanlage des Heizkraftwerkes Mitte können ca. 60 Prozent der CO₂-Emissionen eingespart werden. Das Heizkraftwerk Mitte leistet damit einen bedeutenden Beitrag zum Klimaschutz.

Die spezifischen CO₂-Emissionen der Stromerzeugung des Heizkraftwerkes Mitte liegen unter dem bundesweiten Durchschnitt, bei dem der gesamte Energieträgermix Deutschlands inklusive eines Anteils von ca. 30 Prozent Kernenergie Berücksichtigung findet. Für die durch das Heizkraftwerk Mitte erzeugte Fernwärme ergeben sich im Vergleich zu erdgasbetriebenen Einzelfeuerstätten hat dieses Kraftwerk ebenfalls geringere Emissionen.

Durch die Steigerung des elektrischen Wirkungsgrades konnten die spezifischen Emissionen, bezogen auf die Strom- und Wärmeerzeugung, nochmals gesenkt werden. Die absoluten Emissionen stiegen aufgrund der für die Produktionssteigerung notwendigen größeren Brennstoffmenge.

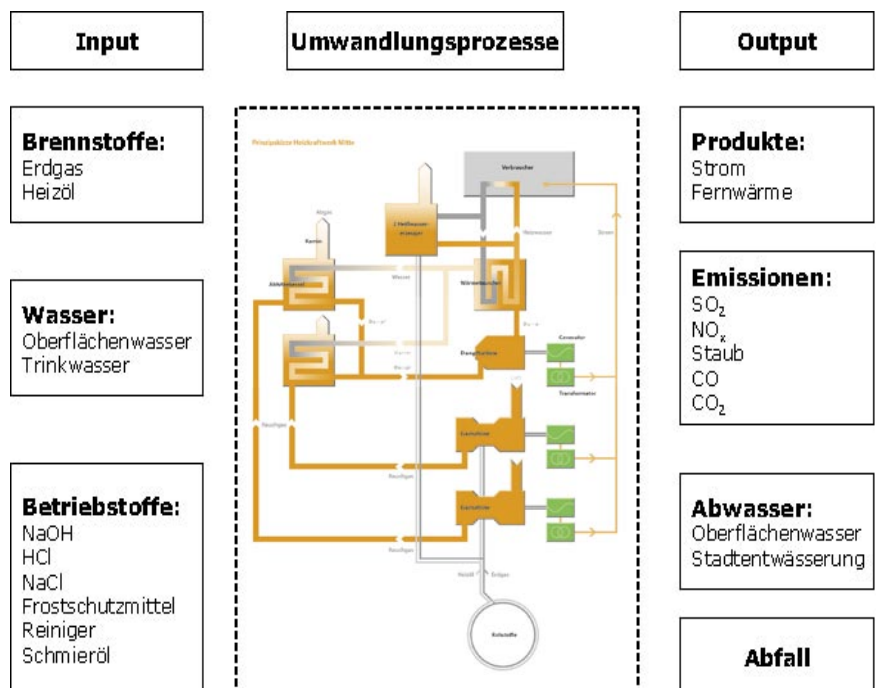


Abb. 20
 Kraftwerk - Wandlungsprozesse
 Input- Output- Modell
 Quelle: Eigene Darstellung
 Datenquelle: BEWAG

Prinzipskizze Heizkraftwerk Mitte

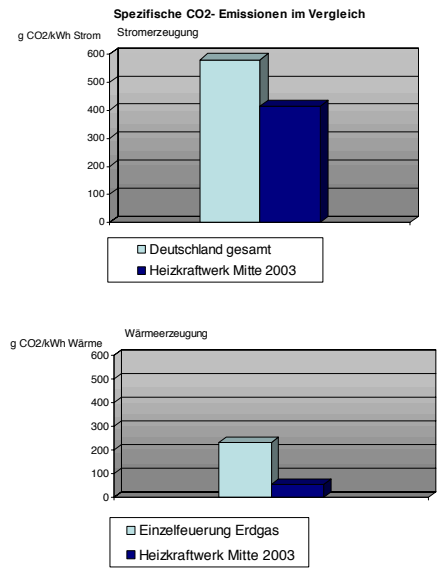
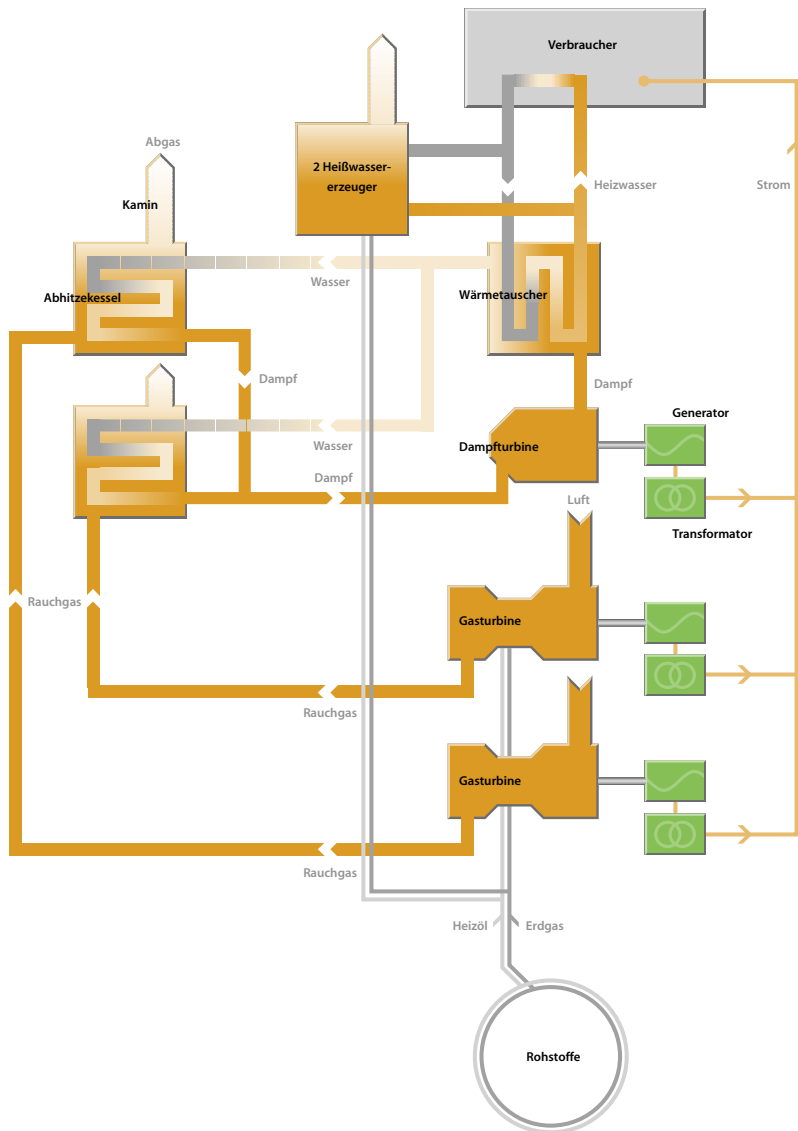


Abb. 21
Spezifische CO₂-Emissionen im Vergleich
Quelle: BEWAG

Abb. 22
Prinzipskizze Heizkraftwerk Mitte
Umwandlungsprozess
Quelle: BEWAG

Systemkette der Energieerzeugung

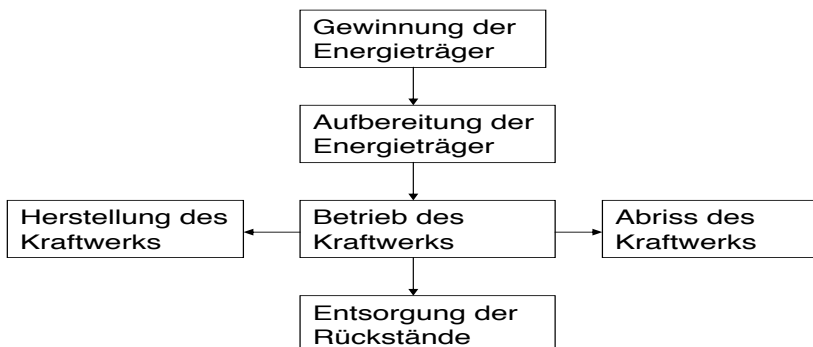


Abb. 23
Systemkette der Energieerzeugung
Quelle: eigene Darstellung

Umwandlungsprozesse:



Abb. 24
Systemausschnitt Umwandlungsprozesse
Quelle: Eigene Darstellung

Kraftwerks-Emissionen

Bei der ökologischen Bewertung des Brennstoffeinsatzes und der Kraftwerkstechnik darf man nicht nur die reinen Emissionen aus der Verbrennung berücksichtigen. Auch die vor- und nachgelagerten Prozessketten tragen mehr oder weniger stark zu CO_2 -Emissionen bei. Es zeigt sich, dass die Kombianlagen (Gas- und Dampfturbinen) sowohl im direkten Verbrennungsprozess als auch in den Vor- bzw. Nachketten die beste ökologische Bilanz bieten.

Im Diagramm auf der folgenden Seite sind nicht nur die CO_2 -Emissionen aus der Verbrennung berücksichtigt, sondern auch die indirekten CO_2 -Emissionen aus vor- und nachgelagerten Prozessketten. Gegenüber den CO_2 -Emissionsfaktoren bei der Verbrennung der fossilen Energieträger hat sich die Reihenfolge geändert: Die Steinkohle führt zu höheren spezifischen CO_2 -Emissionen als die Braunkohle, dies liegt vor allem an den Methanausschleusungen.

Methan ist wie Kohlendioxid ebenfalls ein klimarelevantes Gas, es wird im Steinkohlebergbau und bei der Förderung und beim Transport von Erdgas freigesetzt. Methan hat gegenüber Kohlendioxid eine um den

Khaled Damrah, Monika Krecina, Emilia Linkner, Frank Müller

Faktor 32 höhere Treibhauswirkung pro Molekül. Dies kann in ein CO₂-Äquivalent umgerechnet werden und findet Einfluss im unten aufgeführten Diagramm.

Der CO₂-Emissionsfaktor beim Energiesystem mit dem erdgasbefeuerten GuD beträgt nur ungefähr ein Drittel gegenüber dem konventionellen Steinkohlekraftwerk. Hauptursache für die CO₂-Emissionen aus der vor- und nachgelagerten Prozesskette ist der Erdgastransport durch die Pipelines.

Der Einfluss der vor- und nachgelagerten Prozesskette ist auch bei den Energiesystemen mit fossilen Energieträgern bedeutend – beim Energiesystem mit dem Steinkohlekraftwerk machen diese etwa 40% aus und bei demjenigen mit dem GuD 14%. Auch zwischen den häufig als CO₂-frei angesehenen Erneuerbaren und der Kernenergie gibt es auffällige Unterschiede. Das Photovoltaikkraftwerk führt zu CO₂-Emissionen auf dem halben Niveau des Energiesystems mit dem GuD. Dies liegt vor allem an der energieintensiven Herstellung des Siliziums und der geringen Sonneneinstrahlung in Deutschland. Die Energiesysteme mit dem Kernkraftwerk und dem Windkraftwerk haben demgegenüber ein sehr niedriges CO₂-Emissionsniveau.

Die CO₂-Emissionen der vor- und nachgelagerten Prozesskette haben ganz unterschiedliche Hauptursachen: Bei der Kernenergie und dem Erdgas sind es die Emissionen aus dem Energieverbrauch bei Aufbereitung und Transport (energiebedingte CO₂-Emissionen), bei der Steinkohle die angesprochenen Methanausschleusungen – also prozessbedingte Emissionen – und bei der Photovoltaik sind es die Materialbedingten Emissionen.

Beim Energiesystem mit GuD ist die Höhe der CO₂-Emissionen durch den Erdgastransport in den Pipelines und den Methanfreisetzungen beeinflusst. Die statistische Reichweite der inländischen Erdgaslagerstätten beträgt etwa 15 Jahre. Langfristig muss das Erdgas aus immer weiter entfernten Gebieten bezogen werden. Schon heute beträgt die durchschnittliche Transportentfernung von importiertem Erdgas 3.700 km. Für den Transport des Erdgases müssen über 12% des Erdgases in den Verdichterstationen eingesetzt werden.

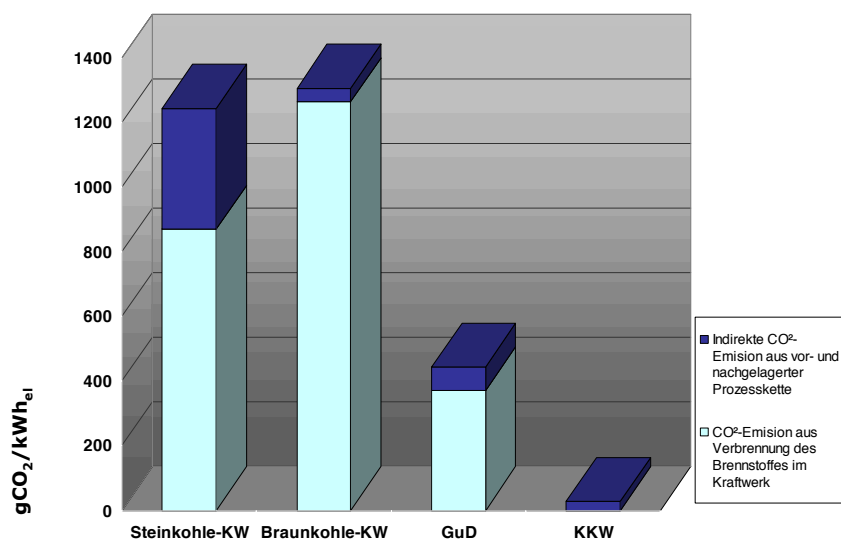
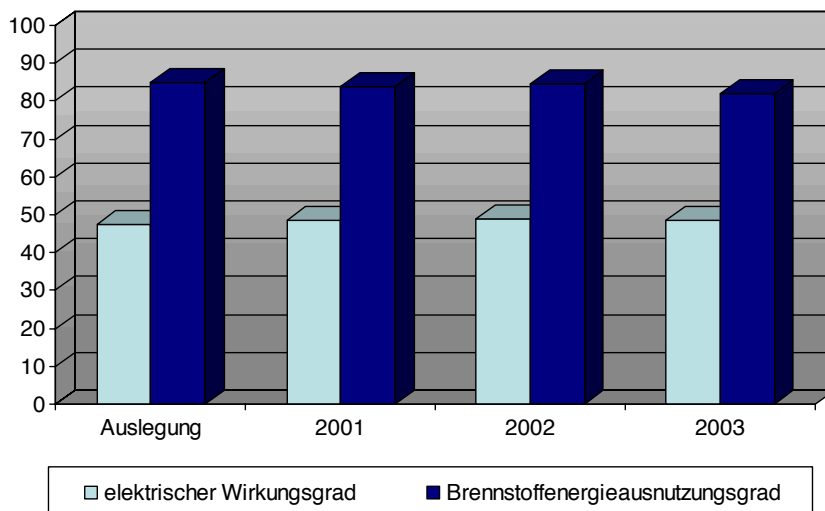


Abb. 25
CO₂-Emission der Energiesysteme zur
Stromerzeugung
Quelle: VDI Berichte 1093, B. Lewin, Berlin

Elektrischer Wirkungsgrad und Brennstoffenergieausnutzungsgrad



Produktion in GWh

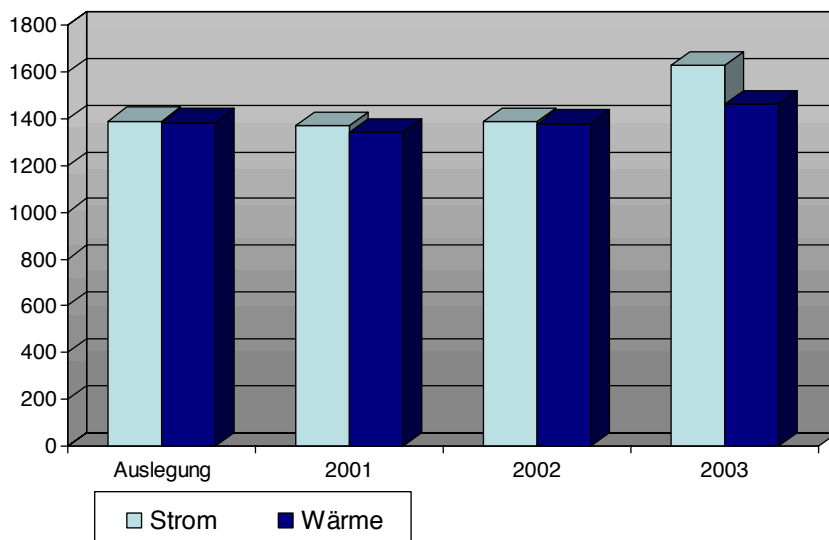


Abb. 26
CO₂ - Emission der Energiesysteme zur
Stromerzeugung
Quelle: VDI Berichte 1093, B. Lewin, Berlin

- durch fortlaufende Optimierung der Anlagen konnten die
ursprünglichen Auslegungswerte des Kraftwerks
übertroffen werden

7. Blockheizkraftwerke

Entwicklung der Blockheizkraftwerke

Neben den zentralen Energieversorgern haben sich seit 1990 eine Reihe von neuen Strom- und Wärmeversorgern etabliert, welche die überwiegende Zahl der dezentralen Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen betreiben. Die 62 bis zum Jahr 1998 genehmigten BHKW-Anlagen haben insgesamt eine elektrische Leistung von rund 70,6 MW, wovon rund 22,4 MW auf den Eigenbedarf der jeweiligen Betreiber entfallen. Das Leistungsspektrum dieser Anlagen reicht von Kleinanlagen (12 kW) bis zu mittleren Anlagen mit einer Kapazität von mehreren Megawatt. Einsatzmöglichkeiten bestehen bei der Ablösung von Heizwerken, bei der Energieversorgung von Krankenhäusern, neuen Wohn- und Gewerbegebieten sowie neuen Großverbrauchern in Berlin. Die dezentrale Stromerzeugung ist im Rahmen von Förderprogrammen des Landes Berlin gefördert worden.

Daten nach 1998 liegen nicht vor, da mit der Novellierung des Energiewirtschaftsgesetzes Blockheizkraftwerke nicht mehr genehmigungspflichtig sind und somit neue Anlagen nicht mehr erfasst werden.

Eines der ersten Blockheizkraftwerke Berlins (BHKW) entstand schon Anfang der 80er Jahre in der Ufa Fabrik. Damals wurde ein ausgedienter LKW zur Strom- und Wärmeerzeugung umfunktioniert.

Der Dieselmotor trieb einen Generator an und die im Kühlwasser und Abgas enthaltene Energie wurde mit Hilfe von selbst-gebauten Wärmetauschern zur Heizung und Warmwassererzeugung genutzt. Schon damals reduzierte eine Rauchgas-wäsche die Schadstoffe im Abgas. Dieser noch vergleichsweise primitive Anlage erzeugte etwa 50 Kilowatt Strom und rund 100 Kilowatt Wärme und nutzte die im Brennstoff enthaltene Energie bereits deutlich besser aus, als die besten Kohlekraftwerke.

Der Hauptvorteil eines Blockheizkraftwerkes liegt darin, dass seine Leistung viel besser an den tatsächlichen Energiebedarf anpassbar und die Entfernung bis zu den Verbrauchern sehr klein ist. Somit bleiben hier die Energieverluste viel geringer als bei einem Großkraftwerk.



Abb. 27
Erstes BHKW in Selbstbauweise 1981
Quelle: <http://www.ufafabrik.de>

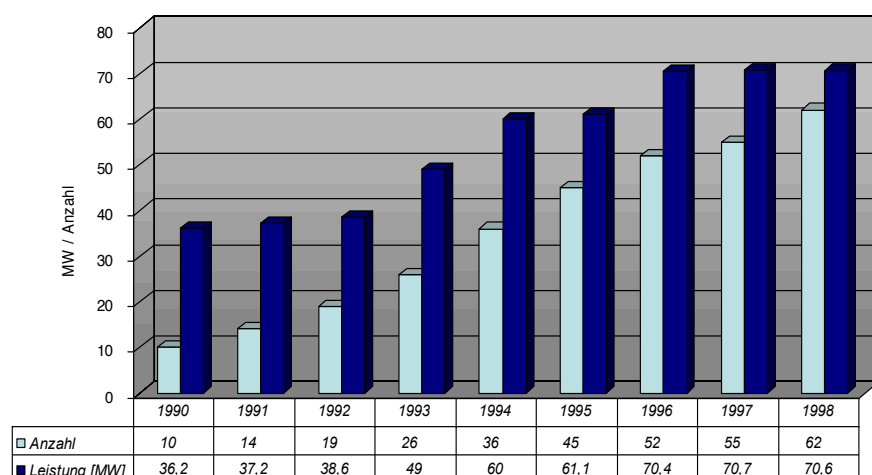


Abb. 28
BHKW in Berlin 1990 - 1998
Quelle: VDI Berichte 1093, B. Lewin, Berlin



Abb. 29
 Modernes Blockheizkraftwerk 1993
 Quelle: <http://www.ufafabrik.de>

1994 wurde die alte Anlage durch ein computergesteuertes Kraft-Wärme-System mit noch höherem Wirkungsgrad ersetzt. Dessen Kernstück sind zwei Sechszylinder-Motoren und zwei Spezialgeneratoren, die zusammen rund 88 kW Strom und 190 kW Wärme erzeugen. Ihr Treibstoff ist Erdgas, das bei der Verbrennung wesentlich weniger Schadstoffe freisetzt als Kohle oder Heizöl. Ein Katalysator reinigt das Abgas der Motoren und ein Wärmetauscher nutzt die Abwärme zum Heizen. Der größte Teil der so erzeugten Elektrizität wird auf dem Gelände selber verbraucht. Ein Teil des Stroms gelangt in das Netz der BEWAG, was der ufaFabrik einen kleinen Erlös pro Kilowattstunde einbringt; der konventionell erzeugte Strom aus der Steckdose kostet allerdings erheblich mehr. Auf den greift die ufaFabrik nur bei erhöhtem Bedarf zurück, etwa bei parallelen Doppelveranstaltungen mit hohem Beleuchtungsaufwand. Die Gebäude der ufaFabrik sind heute zudem durch ein modernes, gut isoliertes Leitungssystem an die zwei BHKWs angeschlossen, was die Wärmeverluste zusätzlich verringert. In der Vergangenheit lieferten die BHKWs mit rund 300.000 kWh 75% des Strombedarfs der ufaFabrik; nur ca. 100.000 kWh mussten von der BEWAG bezogen werden. Die Grafik macht die Unterschiede der Umweltbelastung zwischen konventioneller und alternativer Erzeugung des jährlichen Strombedarfs der ufaFabrik deutlich. Seit Oktober 2003 hat die ufaFabrik ihren Stromlieferanten gewechselt und bezieht seitdem 100% igen Ökostrom aus regenerativer Energie.

8. Unterschied HKW - BHKW

Im allgemeinen haben Blockheizkraftwerke im Nahwärmenetz energetische, ökologische und ökonomische Vorteile gegenüber konventionellen Heizkraftwerken.

Setzt man die eingesetzte Primärenergie mit 100% gleich, so gibt es im dezentralen BHKW 10% Umwandlungsverluste, dass entspricht einer 90 prozentischen Brennstoffausnutzung. Der Strom-Wärme-Mix entspricht etwa 30 zu 90 Prozent.

Demgegenüber sind die Umwandlungsverluste im zentralen HKW etwa um fünf Prozent höher hinzukommen Leitungsverluste von etwa sechs Prozent (1% Strom, 5% Fernwärme). Dies entspricht einem Brennstoffnutzungsgrad von 79%.

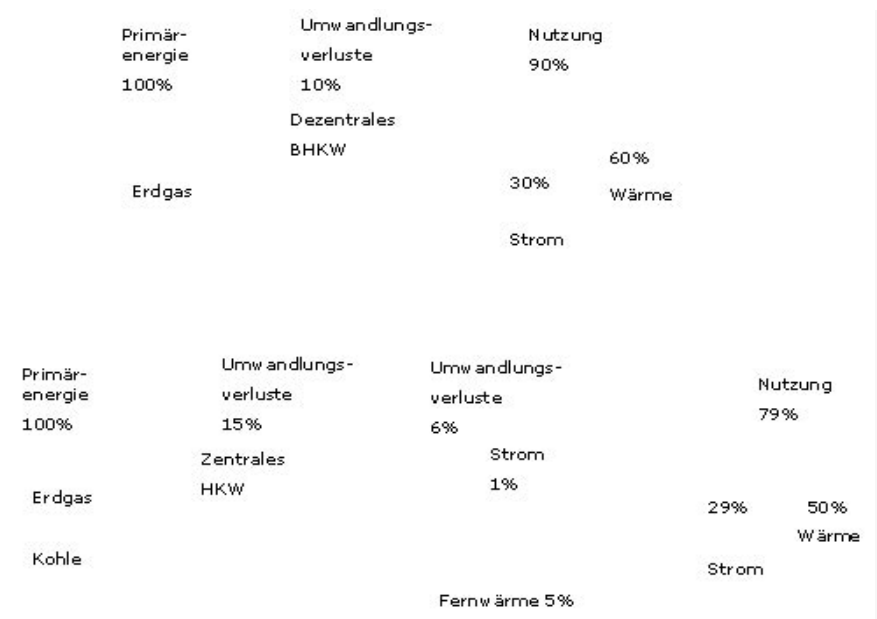


Abb. 30
 Wirkungsgradvergleich HKW - BHKW
 Quelle: keine Angabe

9. Die „Niedrigenergiesiedlung Diestelweg“ in Niederhausen

Die Siedlung ist eine Art Modellprojekt für ökologisches Bauen, sämtliche Daten wurden erfasst und ausgewertet.

Ein zentrales Blockheizkraftwerk versorgt die 41 Wohneinheiten (durchschnittliche Wohnfläche 132m²) der Siedlung. Schon bei der Planung der Siedlung wurde auf flächensparendes Bauen und kompakte Bauweise geachtet, die Häuser wurden zu Gruppen zusammengefasst, um ein günstiges A/V-Verhältnis zu erzielen und Heiznetzlänge kurz zu halten (533 m). Die Gebäude liegen an einem Südhang und haben ihre Hauptausrichtung nach Süden. Große transparente Flächen ermöglichen ein hohes Maß an passiver Solarenergienutzung.



Abb. 31
Luftbild Niedrigenergiesiedlung Diestelweg
Quelle: IWU: „Niedrigenergiesiedlung Diestelweg“ in Niederhausen, Darmstadt 1994

Die Wärmeerzeugung und –verteilung besteht aus verschiedenen Teilsystemen. Die Heizzentrale versorgt die Gebäude über ein Nieder-temperatur- Nahwärmenetz. Das Nahwärmenetz dient zur Verteilung der Wärme im Siedlungsgebiet an die einzelnen Gebäude. Die Haustechnik übernimmt dann die Verteilung der Wärme innerhalb des jeweiligen Gebäudes an die einzelnen Räume. Die Energie wird durch ein Gas-Motorheizkraftwerk erzeugt, Strom und Wärme werden gleichzeitig bereitgestellt.

Im Vergleich mit herkömmlichen Neubausiedlungen kann durch die Kombination der Niedrigenergiebauweise mit einer auf diese abgestimmten rationellen Versorgungstechnik der Primärenergieverbrauch auf weniger als 40 Prozent, die CO₂ –Emissionen sogar auf 20 Prozent gesenkt werden.

Die Niedrigenergiehäuser in der Siedlung „Distelweg“ unterscheiden sich nicht wesentlich in der Gestaltung von einem Reihenhäuser-Neubau. Die in Niederhausen gebauten Reihenhäuser besitzen einen lückenlosen, qualitativ hochwertigen Wärmeschutz, eine dichte Gebäudehülle, kompakte Gebäudeformen und eine kontrollierte Lüftung. Der jährliche Bedarf an Heizwärme konnte damit gegenüber den gesetzlichen Anforderungen um 50 % auf unter 70 kWh pro m² Wohnfläche reduziert werden. Nach der seit 1995 geltenden 3. Wärmeschutzverordnung sind immer noch Werte um 100 kWh/(m²a) zulässig.



Abb. 32
Nahwärmenetz der Niedrigenergiesiedlung
Diestelweg
Quelle: IWU: „Niedrigenergiesiedlung Distelweg“ in Niederhausen, Darmstadt 1994

Jede dieser Hauseinheiten hat eine Wohnfläche von 123 m², die auf 2 Geschossen verteilt sind. Die Südhälfte liegt ein halbes Geschoss tiefer als die Nordhälfte und ist nicht unterkellert. Anhand des Grundrisses ist die kompakte Bauweise sehr gut zu erkennen. Das A/V- Verhältnis, das als Quotient zwischen thermischer Hüllfläche und Volumen ein Maß für die Kompaktheit der Gebäudegruppe ist, erreicht einen Wert von 0,64 m⁻¹. Die Verglasungsflächen der Südfassade sind mit 13 m² pro Gebäude mehr als doppelt so groß wie die der Nordfassade. Somit wird für ausreichend Belichtung in den Häusern gesorgt.

Die Außenwände bestehen aus 17,5 cm Kalksandsteinmauerwerk, das von außen mit einer 12cm starken „Thermohaut“ (Wärmedämmverbundsystem) gedämmt wird. Auf der Wandoberfläche werden Polystyrol- Dämmplatten verlegt und anschließend unter eines Armierungsgewebes verputzt.

Im Dachbereich ist der Sparrenzwischenraum mit 20 cm Mineralfaser-Wärmedämmung verfüllt. Raumseitig verhindert eine Folie als Dampfbremse das Eindringen von Feuchtigkeit in die Konstruktion und gleichzeitig als Windschutz den unkontrollierten Luftaustausch nach außen. Als Sichtschalung dienen Gipskartonverbundplatten mit zusätzlichen 5cm Dämmung.

Die Dämmung des Fußbodens gegen Keller bzw. Erdreich wurde in einer Stärke von 12cm (inkl. Trittschalldämmung) auf der Betonplatte verlegt, sie dient als Auflager für den schwimmenden Estrich.

Für die Fenster wird Wärmeschutzverglasung eingesetzt, die eine um 50 bis 60% bessere Dämmwirkung als herkömmliche Isolierverglasung besitzt. Dies wird erreicht durch eine Silberbedampfung der inneren Scheibe zur Reflektion der Wärmestrahlung sowie eine Füllung des Scheibenzwischenraumes mit dem Argon zur Unterdrückung der Konvektion. Die Scheiben unterscheiden sich optisch nicht wahrnehmbar von herkömmlicher Isolierverglasung. Der mittlere U-Wert der Hausgruppe beträgt 0,34 W/(m²K), nach Wärmeschutzverordnung zugelassen wäre in diesem Fall ein Wert von 0,71 W/(m²K).

Die kontrollierte Lüftung gewährleistet eine von Witterung und Bewohnerverhalten unabhängige, dauerhaft hohe Luftqualität bei Begrenzung der Wärmeverluste. Bei den hier eingesetzten einfachen Abluftanlagen entlüftet ein kleiner Ventilator kontinuierlich die Feuchträume Küche, Bad und WC. Frischluft strömt über regelbare Zuluftventile in die Wohn- und Schlafräume nach.

Ein Blockheizkraftwerk (BHKW) mit mehreren Verbrennungsmotoren erzeugt gleichzeitig Wärme und Strom, sowie Spitzenkesseln, den Restbedarf an Wärme abdecken.

In der Bauphase wurden anfangs zwei Gasbrennwertkessel, mit einer Nennwärmeleistung von 170 kW, installiert. Später wurden die Kessel durch Klein- BHKW- Module ergänzt, mit einer elektrischen Leistung von ca. 12 kW und eine thermische Leistung von ca. 35 kW. Die Kessel dienen dann nur noch dem Spitzenlastbetrieb und als Ausfallreserve.

Das Nahwärmenetz verteilt die in der Heizzentrale erzeugte Wärme, an die einzelnen Gebäude zur Deckung des Brauchwasser- und Heizenergiebedarfs. Dieses Netz unterscheidet sich erheblich von der bei Fernwärmeversorgung üblichen Technik. Aufgrund der niedrigen Vorlauftemperatur (70°C) für Fern- bzw. Nahwärmeversorgung können flexible-, sehr kosten- und zeitsparende Wärmeleitungen verlegt werden. Aus energetischer Sicht besitzen die niedrigen Heizwassertemperaturen zusätzlich den Vorteil, dass die Wärmeverluste der Verteilungen und Übergabestationen gering gehalten werden.

Im Keller der Gebäuden befindet sich jeweils eine Wärme- Übergabestation, welche die Schnittstelle zwischen dem Wärmenetz und der Haustechnik bildet und besitzt zusätzlich verschiedene Regelfunktionen. Für die Warmwasserbereitung sind die Wärmeübergabestationen zusätzlich mit Plattenwärmetauschern ausgestattet, die teilweise direkt als Durchlauferhitzer arbeiten, teilweise auch an einen Brauchwasserspeicher angeschlossen sind. Aufgrund des geringen Heizwärmebedarfs der Niedrigenergiehäuser und der damit gestiegenen Bedeutung der Warmwasserbereitung ergibt sich über das Jahr ein relativ hoher Grundlastanteil - gute Bedingungen für Kraft-Wärme-Kopplung. Die beiden Heizkraftanlagen erzeugten ca. 77 MWh Strom, wodurch in Kondensationskraftwerken ca. 230 MWh Brennstoff eingespart werden konnte.



Abb. 33
16 cm starke „Thermohaut“ auf der Außenwand
Quelle: IWU: „Niedrigenergiesiedlung Distelweg“ in Niederhausen, Darmstadt 1994

Anzahl der Wohneinheiten	41 WE
Durchschnittliche Wohnfläche	132 m ²
Maximale Heizlast pro m ² Wohnfläche	55 W/m ²
Maximale Heizlast pro Gebäude	7,3 kW
Thermischer Anschlußwert Siedlung	340 kW
Jahresheizwärmebedarf pro m ² Wohnfläche	70 kWh/(m ² a)
Jahreswärmebedarf pro Gebäude incl. Warmwasser	11.452 kWh/a
Jahreswärmebedarf Siedlung	470 MWh/a

Abb. 34
Kenndaten Niedrigenergiesiedlung Distelweg
Quelle: IWU: „Niedrigenergiesiedlung Distelweg“ in Niederhausen, Darmstadt 1994

Überblick über die technischen Daten

Siedlung

- Anzahl der Wohneinheiten 41
- Durchschnittliche Wohnfläche 132m²
- Spezifische maximale Heizlast 55W/m²
- Maximale Heizlast pro Gebäude 7,3 kW
- Thermischer Anschlußwert Siedlung 340 kW

Gebäude

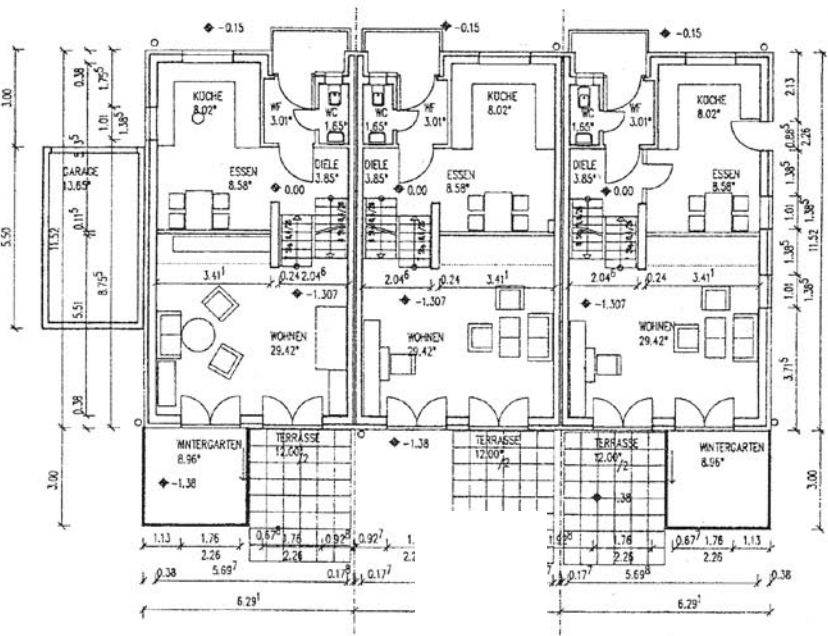
- mittlerer k-Wert: 0,34W/(m²K)
- maximal zulässig nach WSchVO 82: 0,71W/(m²K)
- Dämmung:
 - Außenwand: 12 bis 15cm EPS-Thermohaut
 - Dach: 20 bis 25cm MF-Dämmung zwischen Sparren
- Fenster: Wärmeschutz-Isolierverglasung (k=1,5W/(m²K))

Wärmeversorgung/Haustechnik

- Wärmeerzeugung 2 Brennwertkessel à 170kW Nennwärmeleistung
 2- 3 BHKW-Module à 5,5 kW/15kW
- Wärmeleistung flexible Wärmeleitung mit Kunststoffmediumrohr, Nennweite DN 20 bis DN 40, Terrassenlänge ca. 500 m, verlegt größtenteils in Einschleiftechnik
 Temperaturspreizung:70/40°C
- Haustechnik Wärmeübergabestationen mit Direktspeisung ins Hausnetz und Wärmetauscher für Brauchwasser
 Wärmeabgabe über konventionelle Radiatoren- Heizkörper
- Warmwasserbereitung Verwendung des Wärmetauschers
 - als Durchlauferhitzer bei 18 Objekten
 - zum Heizen eines Brauchwasser-Speichers bei 23 Objekten
- Kontrollierte Lüftung mechanische, kontinuierliche Entlüftung für Küche, Bad und WC; Frischluft durch Zuluftventil in den Wohnräumen, Zu- und Abluft feuchtegeregelt, max. elektrische Leistungsaufnahme des Ventilators: 40 W

Die Siedlung besteht aus 12 Hausgruppen, so wird ein günstiges A / V Verhältnis erreicht und die Leitungswege des Wärmenetzes sind kurz. Die Gebäude sind an einem Südhang ausgerichtet und die großen Verglasung an der Südseite erlauben gute solare Gewinne, dagegen wirken die Nordfassaden geschlossen.

Die Siedlung in Niedernhausen entstand Mitte der neunziger Jahre als Modellprojekt für die Niedrigenergiebauweise und die Betreibung einer Siedlung mit einem Blockheizkraftwerk. Werden Niedrigenergiehäuser in zusammenhängenden Baugebieten realisiert, kann die Wärme zentral in Kraft-Wärmekopplung erzeugt werden.



ERDGESCHOSS

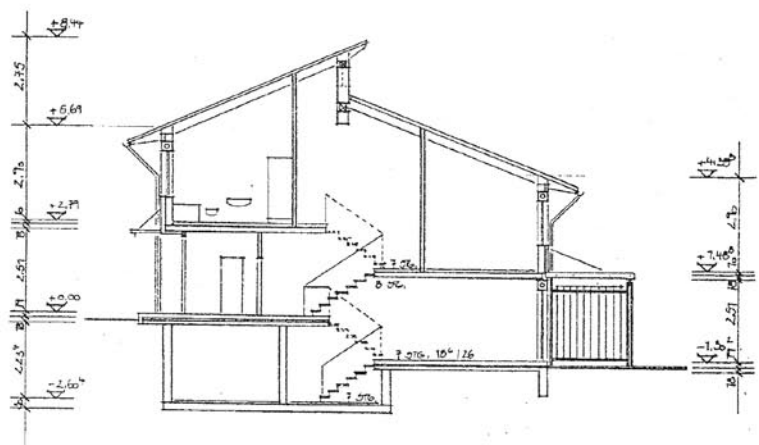


Abb. 35
 Grundriss EG und Schnitt einer Hausgruppe
 Quelle: IWU: „Niedrigenergiesiedlung Distelweg“ in Niedernhausen, Darmstadt 1994

Khaled Damrah, Monika Krecina, Emilia Linkner, Frank Müller

Es sollte gezeigt werden, dass die Mehrinvestitionen, die durch energie-sparende Bauweise entstehen, gezielte Energieeinsparungen mit sich bringen und so wiederum Kosten sparen helfen. Alle Häuser wurden in Niedrigenergiebauweise errichtet, der Heizwärmebedarf liegt bei höchstens $70 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ und damit um 60% niedriger als bei konventioneller Neubauten dieser Zeit.

Heutzutage ist bei vielen Bauprojekten schon der Passivhausstandard üblich mit einem Energiekennwert unter $10 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$. Niedrigenergiebauweise (kompakte Gebäudeform) ist spätestens seit der Energiesparverordnung 2004 gängige Praxis.

Schwieriger zu beurteilen ist Frage nach dem Einsatz von Blockheizkraftwerken. In Niedernhausen scheint das Nahwärmekonzept ökologisch und ökonomisch gut zu funktionieren. Die kompakte Siedlungsform, führt zu kurzen Leitungswegen für die Wärmeversorgung und somit zu geringen Transportverlusten. Dies wiederum führt neben den effizient arbeitenden Brennwertkesseln zu Brennstoffeinsparungen und gleichzeitig zu verminderten CO_2 -Emissionen.



Abb. 36
25 cm Dämmung zwischen den Dachsparren
Quelle: IWU: „Niedrigenergiesiedlung Distelweg“ in Niederhausen, Darmstadt 1994

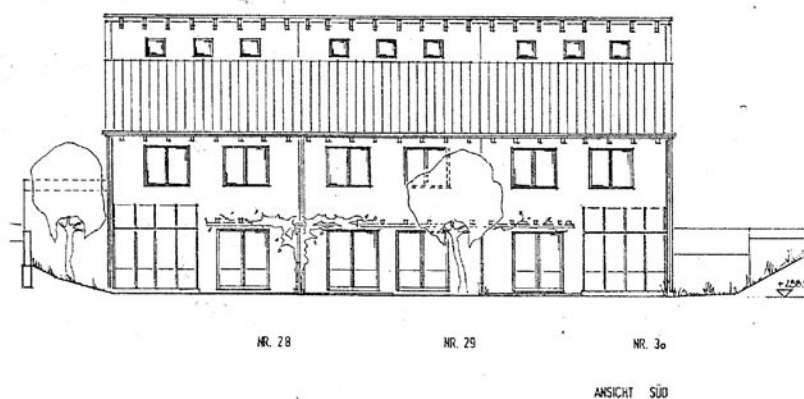
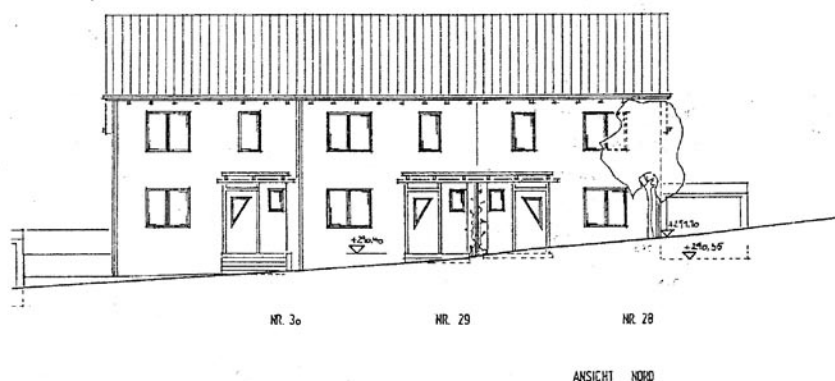


Abb. 37
Grundriss EG und Schnitt einer Hausgruppe
Quelle: IWU: „Niedrigenergiesiedlung Distelweg“ in Niederhausen, Darmstadt 1994

Zur besseren Bewertung des Nahwärmekonzeptes in dieser Siedlung haben wir in einer Tabelle verschiedene andere Siedlungen und die spezifischen Einflussparameter auf das Nahwärmenetz zusammengestellt.

In der Tabelle sind die Siedlungsformen nach ihrer Bauweise strukturiert, nach Reihenhäusern, grossen Mehrfamilienhäusern und Einfamilienhäusern. Es zeigt sich, dass neben der Siedlungsfläche und der Netzlänge vor allem die Siedlungsform starken Einfluss auf die Netzverluste hat. Kompakte Siedlungen mit einer hohen Gebäudedichte führen zu möglichst geringen Netzverlusten. Dagegen haben freistehende Einfamilienhaus-siedlungen die höchsten Netzverluste.

Diese Beispiele zeigen, dass die Frage nach dem Einsatz eines Blockheizkraftwerks nicht pauschal beantwortet werden kann. Schon in einem frühen Planungsstadium sollte man sich darüber Gedanken machen, ob man für die Wärmeversorgung ein Blockheizkraftwerk in Betracht zieht, dann daraus ergeben sich wie gesehen Anforderungen an die Planung der Siedlung.

Bei anderen Bauaufgaben scheint es von Anfang an sinnvoll ein BHKW in betracht zu ziehen. Als Beispiel dafür kann man grössere zusammenhängende Komplexe heranziehen: in den Schönhauser-Allee-Arcaden gibt es ein BHKW mit Brennwertechnik. Gleichzeitiger Bedarf an Wärme und Strom in räumlicher Nähe sind vorhanden.

Ein weiterer wichtiger Punkt ist die Möglichkeit der Stromeinspeisung in das öffentliche Versorgungsnetz. Durch den infolge der Liberalisierung des Strommarktes verursachten Preiswettbewerb kam es vor wenigen Jahren zu erheblichen Einbußen beim Erlös für KWK-Anlagen, so dass besonders in der industriellen Anwendung Stagnation eingetreten ist.

Jedoch sind wir der Meinung dass sich mit steigenden Rohstoffpreisen auch der Strom erheblich verteuern wird und die Einspeisung und Eigen-erzeugung von Strom wieder wirtschaftlich attraktiv wird.

Beispiele	Wärme- versorgung	Siedlungs- fläche	Anzahl der Gebäude	Anzahl der Wohneinheiten (WE)	Netzlänge	Gebäude- dichte	spezifische Netzlänge	Netz- verluste
		ha			m	1 / ha	m / Geb	m / WE

Reihenhäuser

Niedernhausen	Nahwärme	1,7	41	41	533	24,12	13	13	12%
HH-Bramfeld	Nahwärme	4,7	123	123	1300	26,17	10,6	10,6	10%
S-Birkhof	Gas	1,2	45	45	605	37,50	13,4	13,4	12%
S-Chausseefeld	Gas	1,7	68	68	577	40,00	8,5	8,5	8%
Schopfheim	Gas	4,4	97	97	1194	22,04	12,3	12,3	11%

große Mehrfamilienhäuser

S-Birkhof	Gas	2,0	16	112	349	8,00	21,8	3,1	5%
S-Chausseefeld	Gas	3,6	42	404	1041	9,17	24,8	2,6	5%
Schopfheim	Gas	2,0	18	85	438	9,00	24,3	5,2	9%

Einfamilienhäuser

BI-Waldquelle	Nahwärme	3,4	50	105	1136	14,70	22,7	10,8	11%
Wiemshheim-Kazenloch	Öl	10,1	174	174	3750	17,20	21,5	21,5	15%
Bredstedt, B-16	Nahwärme	2,2	22	22	547	10,00	24,9	24,9	17%

Wärmebedarf: freistehendes EFH: 17500kWh/(a*WE)
Reihenhaus: 13900kWh/(a*WE)
grosses Mehrfamilienhaus: 7200kWh/(a*WE)

Abb. 38
Vergleich verschiedener Siedlungen und Gebäudetypologien hinsichtlich Infrastrukturaufwand für Nahwärmekonzepte
Quelle: IWU: „Niedrigenergiesiedlung Distelweg“ in Niedernhausen, Darmstadt 1994

10. Der Weg zum CO₂-emissionsfreiem Kraftwerk

Dezentrale Wärmeerzeugungsanlagen haben also gegenüber der Fernwärmeversorgung in vielen Fällen wirtschaftliche und ökologische Vorteile. Jedoch wird die Energieversorgung über Betreiber-Gesellschaften wie die BEWAG weiterhin den größten Baustein zur Strom- und Wärmeversorgung darstellen. Deshalb führt jede Verbesserung in der Kraftwerkstechnologie durch die eine Steigerung des Wirkungsgrades oder eine Verringerung des CO₂-Ausstoßes erreicht wird, zu enormen Einsparpotenzialen von Ressourcen und zu einer Verringerung von Treibhausgasen.

Deutsche Kraftwerke erreichen im Schnitt derzeit einen Wirkungsgrad von etwa 38 Prozent. Im letzten Jahrzehnt in Betrieb gegangene neue Kohlekraftwerke liegen bereits zwischen 40 und 45 Prozent. Es werden bereits Konzepte und Materialien entwickelt, die nach 2010 zum Einsatz kommen werden: Kohlekraftwerke sollen einen Wirkungsgrad von 50 bis 55 Prozent erreichen und erdgasbetriebene GuD-Kraftwerke etwa 65 Prozent. Erdgaskraftwerke haben in den letzten Jahren mit 58 Prozent Wirkungsgrad einen hohen technischen Standard erreicht. Die Forschung hat das Ziel, Kohlekraftwerke mit einer vergleichbaren Effizienz wie Erdgaskraftwerke zu entwickeln.

Die Anzahl der gasbetriebenen Kraftwerke hat in den letzten Jahren zugenommen, der Betrieb von kohlebetriebenen Kraftwerken ging leicht zurück. Einige Experten erwarten in den nächsten Jahren eine Umkehr dieses Trends. Dies ist vor allem mit der Verfügbarkeit der Brennstoffe begründet. Der durchschnittliche Transportweg für Erdgas beträgt zur Zeit schon etwa 3.700 km und wird sich in den nächsten Jahren noch erweitern, da das Gas aus immer weiter entfernten Regionen herantransportiert werden muss. Die künftige Verknappung des Rohstoffes Erdgas in unserer Nähe und die damit verbundenen weiten Transportwege führen zwangsläufig zu einer Verteuerung des Erdgases. Es wird davon ausgegangen, dass sich Erdgas in den nächsten 20 Jahren um 15 Prozent verteuert, während der Kohlepreis im selben Zeitraum ebenfalls um 15 Prozent sinken könnte. Deshalb beschäftigt sich die Forschung auch mit der besseren Rohstoffausnutzung und CO₂-Verminderung bei Kohlekraftwerken.

Die Kraftwerke in Deutschland haben in den letzten 20 Jahren durch technische Maßnahmen (z.B. Entschwefelung und Erstickung der Rauchgase) und durch Inbetriebnahme effizienter Neuanlagen ihre Umweltbilanz verbessert. Im Vergleich zu 1990 (1990 = 100%) emittierten die Kraftwerke in Deutschland im Jahr 2001 nur noch ca. 67 Prozent des Kohlenmonoxids, 47 Prozent der Stickoxide und 12 Prozent des Schwefeldioxids. Die Kohlendioxidemissionen gingen im selben Zeitraum um 16 Prozent zurück.

Die vermehrte Errichtung neuer Kraftwerke wird in Deutschland und Europa ab dem Jahr 2010 zu erwarten sein, da Anlagen aus den 60er und 70er Jahren altersbedingt ersetzt werden müssen.

Der Einsatz regenerativer Energien wie Wind, Biomasse, Geothermie und Solarenergie wird durch staatliche Programme und Gesetze gefördert. Jedoch ist es in Deutschland wohl nicht möglich die gesamte Energieversorgung auf regenerative Energien umzustellen, es wird ein wirtschaftlich und umweltverträglicher Energieträgermix angestrebt. Also ist es zwingend notwendig neue Technologien für fossil befeuerte Kraftwerke zu entwickeln, die mit den umweltpolitischen Zielen vereinbar sind und eine wirtschaftliche Energieerzeugung auch weiterhin zu ermöglichen.

Aus den energiewirtschaftlichen und umweltpolitischen Rahmenbedingungen gibt es eine Reihe von Anforderungen an zukünftige Kraftwerkstechnik. Zur Verringerung des CO₂-Ausstosses und zur Ressourcenschonung sind Steigerungen des Anlagen-wirkungsgrades unbedingt nötig. Hierzu sind Weiterentwicklungen der Prozessführungen im Kraftwerk und eine Verbesserung von Kraftwerkskomponenten voranzutreiben. Es wird davon ausgegangen, dass durch diese Maßnahmen eine Anhebung des Wirkungsgrades auf 50 Prozent für Kohlekraftwerke und 60 Prozent für GuD-Anlagen erreicht werden kann. Dadurch ließen sich im Vergleich zur heute in Deutschland installierten Technik etwa 30 Prozent der CO₂-Emissionen einsparen.

Höhere CO₂-Minderungsziele lassen sich durch Steigerung des Wirkungsgrades nicht erreichen, hierzu muss über andere Möglichkeiten nachgedacht werden. Es sind Verfahren angedacht, bei denen das erzeugte CO₂ möglichst vollständig abgeschieden werden kann. Damit verbunden ist die Frage nach der Verwertung und Speicherung des abgeschiedenen CO₂ und der dadurch verursachten Kosten.

Gaswäschen zur CO₂-Abscheidung sind im Prinzip bekannt und erprobt, Nachteil der Gaswäschen ist eine erhebliche Senkung des Kraftwerkswirkungsgrades. Je nach Abscheideverfahren und Kraftwerkskonzept ergeben sich Wirkungsgradeinbußen von 6 bis 14 Prozent. Dies erfordert bei gleicher Nennleistung einen Mehrbedarf von Brennstoff von 10 bis 35 Prozent und erhebliche zusätzliche Investitionen (30 bis 150 Prozent). Zur Zeit werden verschiedene CO₂-Abscheideverfahren erforscht. Man schätzt, dass der kommerzielle Einsatz etwa 2020 möglich sein wird, bis dahin versucht man die Investitionskosten und Wirkungsgradverschlechterungen zu senken. Mit dieser Technologie geht man von CO₂-Abscheideraten von > 90 Prozent aus.

Das CO₂ wird nach der Abscheidung zum Zweck des Transports und der Speicherung auf 110 bar komprimiert und verflüssigt. Die derzeitigen CO₂-Verwertungsmöglichkeiten können lediglich 0,1% des freigesetzten CO₂ binden. Weitergehende Möglichkeiten können sich zukünftig durch den Einsatz von CO₂ als chemischer Grundstoff ergeben. Geht man von heute bestehender Technologie aus, liegt der verwertbare Anteil zur Herstellung von chemischen Produkten lediglich bei einem Prozent der Gesamtemissionen. Schätzungen gehen davon aus, dass bei Einsatz der Technik in etwa 20 Jahren fünf Prozent des anfallenden CO₂ verwertet werden könnten. Langfristiges Potential zur CO₂-Verwertung liegt in der Herstellung von Brennstoffen. Diese Vision wird als Wasserstoffszenario bezeichnet: Dazu Bedarf es der kostengünstigen Bereitstellung von Wasserstoff; auf dieser Grundlage lässt sich dann z.B. Methanol erzeugen. Methanol dient dann zum gefahrenarmen Transport und Lagerung als Wasserstoffträger.

Brennstoff	Spez. CO₂- Emissionsfaktor kg/KWh	relativ zu Erdgas %
Erdgas	0,230	100
Heizöl EL	0,300	130
Steinkohle	0,380	165
Braunkohle	0,450	196
Holz	0,021	9
Strommix BRD	0,740	

Abb. 39
 Spezifische Emissionsfaktoren verschiedener Brennstoffe
 Quelle: keine Angabe

Zur Nutzung des CO₂ Bedarf es noch grossen technischen und wissenschaftlichen Aufwand. Darum ist die CO₂-Speicherung ein unerlässlicher Bestandteil der Entwicklung CO₂-freier Kraftwerke. Möglichkeiten zur CO₂-Speicherung in Deutschland gibt es in erschöpften Gasfeldern sowie in wirtschaftlich nicht abbaubaren Kohleflözen. Die Kosten für Transport und Speicherung werden in Deutschland auf etwa 10 – 24 €/t Kohlendioxid geschätzt. Für andere Regionen kommt die Reinjektion des CO₂ in Ölfelder in Frage. Auch auf diesem Gebiet besteht noch wesentlicher Forschungsbedarf bezüglich der Fragen der Langzeitsicherheit und der großtechnischen Realisierbarkeit.

Quellen

H.Geipel BMWA: Innovative Technologien zur Energieerzeugung auf dem Weg zum CO2-freien Kohle- und Gaskraftwerken, Berlin Mai 2004

PD Dr. Malte Förster / Dr. Frank Neumann: Innovative Technologien zur Energieerzeugung, Thema: „Potentiale der Druckkohlenstaubfeuerung und zukünftige alternative Kraftwerksprozesse“, Berlin Mai 2004

IWU Institut Wohnen und Umwelt: Die „Niedrigenergiesiedlung Horst Menje, Tobias Loga Distelweg“ in Niederhausen, Darmstadt, November 1994

VDI Verein Deutscher Ingenieure: VDI- Gesellschaft Energietechnik Integrierte Energiesysteme, Düsseldorf 2000

VDI Verein Deutscher Ingenieure: Kumulierte Energie- und Stoffbilanzen- ihre Bedeutung für Öobilanzen, Düsseldorf 1993

VDI Verein Deutscher Ingenieure: Fortschrittliche Energiewandlung und -Anwendung, Düsseldorf 1999

Senatsverwaltung für Stadtentwicklung: Energiebericht 1997-2000, Energie- und Klimaschutzpolitik in Berlin

Senatsverwaltung für Wirtschaft, Arbeit und Frauen: Energiebilanzen für das Land, Berlin, 2001 und 2002

URL: <http://www.berlin.de/SenWiArbFrau/energie/index.html>

<http://www.bewag.de> Heizkraftwerk Mitte, Januar 2001

<http://www.bewag.de> Heizkraftwerk Mitte-Umwelterklärung
Umweltbericht 2002
Dezentrale Energieversorgung
Strom- und Wärmeerzeugung
Bautechnische Innovation

<http://www.bibb.de> Umsetzung und Ergebnisse- BHKW, Bundesinstitut für Berufsausbildung, 2004

<http://www.bine.de> Effiziente Kraftwerke

<http://www.fernwärme.at/Kosten> Vergleich Ölheizung- Fernwärme

<http://www.gasag.de> Energie UpDate, 2002

<http://www.ufafabrik.de> Erstes BHKW in Selbsbauweise 1981