



Urbaner Metabolismus

Die städtische Infrastruktur von Berlin

Energie - Strom

Agapi Dimitriadou
Evangelia Komi
Maria Lykou

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:

Dimitriadou, A. / Komi, E. / Lykou, M.: Energie - Strom.

In: Prytula, Michael (Hg.): Urbaner Metabolismus.

Die städtische Infrastruktur von Berlin.

Technische Universität Berlin, 2005

URL: <http://www.urbaner-metabolismus.de>

Titelbild: Kühlturm Kraftwerk Reuter-West, Berlin-Ruhleben

Quelle: Michael Prytula (2004)

Energie - Strom

Inhaltsverzeichnis

1. Strombedarf in Deutschland und Berlin
2. Stromerzeugung und Emissionen
3. Prognose der installierten Kraftwerksleistung bis 2020 in Deutschland
4. Verteilung des Stroms
5. Das Heizkraftwerk Mitte
6. Thesen

1. Strombedarf in Deutschland und Berlin

Der Stromverbrauch in Deutschland hat in den letzten zehn Jahren rasant zugenommen. Dabei ist der größte Anteil des Stromverbrauchs in der Industrie, von 1993 bis 2000 überdurchschnittlich um 9,6% gestiegen. Allerdings ist der Stromverbrauch in den stromintensiven Industriezweigen (eisenschaffende und chemische Industrie) in diesem Zeitraum absolut gesunken. Eine noch größere Steigerungsrate im Stromverbrauch mit 20% ist in diesen zehn Jahren im Bereich Handel und Gewerbe zu beobachten, der immerhin 14% des gesamten Stromverbrauchs ausmacht. Im Gegensatz dazu ist der Stromverbrauch im Bereich private Haushalte im selben Zeitraum unterdurchschnittlich nur um 2,2% gestiegen.

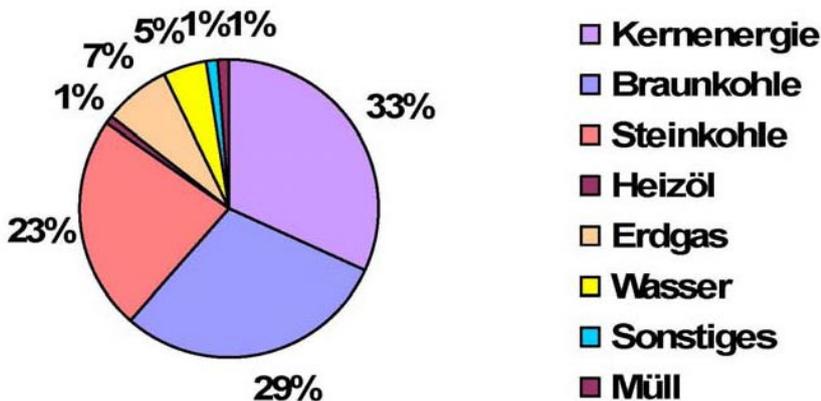


Abb. 1
Primärenergieverbrauch in Deutschland 2003
Eigene Darstellung
Datenquelle: Energiebilanz 2001-2002,
Senatsverwaltung für Wirtschaft, Arbeit und
Frauen, Berlin

In Abb. 1 wird der Primärenergieverbrauch in Deutschland im Jahre 2002 skizziert. In Prozentzahlen wird die Gesamtenergie Deutschlands wie folgt aufgeteilt: 33% Kernenergie, 29% Braunkohle, 23% Steinkohle, 7% Erdgas, 5% Wasser und 3% Sonstiges.

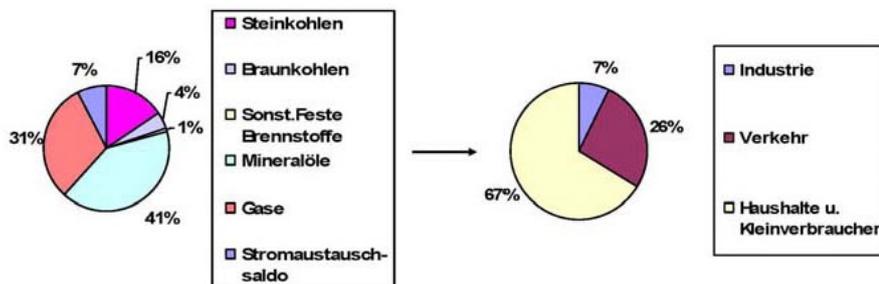


Abb. 2
Primär- und Endenergieverbrauch in Berlin 2003
Quelle: Eigene Darstellung
Datenquelle: Senatsverwaltung für Wirtschaft,
Arbeit und Frauen, Berlin

Der Stromverbrauch im Land Berlin ist seit 1990 von 13.438 GWh auf 12.934 GWh im Jahr 2000 leicht gesunken. Der anteilige Verbrauch im Bereich der Haushalte hat sich in diesem Zeitraum von etwa 32 % auf rund 37 % erhöht. Der Stromverbrauch bei der Industrie ist dagegen von ca. 26 % auf etwa 17 % gesunken. Der Anteil im Bereich Handel und Gewerbe hat sich von rund 24 % auf ca. 29 % erhöht. Bei den öffentlichen Einrichtungen einschließlich des Fahrstroms hat sich der Anteil am Stromverbrauch von 19 % auf 17 % reduziert.

In Abb. 2 wird der Primär- und Endenergieverbrauch in Berlin im Jahre 2003 beschrieben. Die Mehrheit der Kraftwerke ist mit Steinkohle und Erdgas betrieben. Das liegt an die großen Mengen von Kohle, die zum Beispiel aus Lausitz transportiert werden. Erdgas gilt als der umweltfreundlichste Brennstoff mit den geringsten Emissionen. Somit wird der größte Teil der Energie von Steinkohle und Erdgas (52% bzw. 35%) erzeugt. Der Rest wird von Braunkohle, sonstigen fossilen Brennstoffen und Mineralölprodukten produziert. Davon wird 67% für die Haushalte, 26% für den Verkehr und 7% für die Industrie verbraucht. Es ist zu beobachten, dass der Stromverbrauch in den Bereichen Haushalte und Verkehr angestiegen ist.

Reserven und Ressourcen von Primärenergieträgern

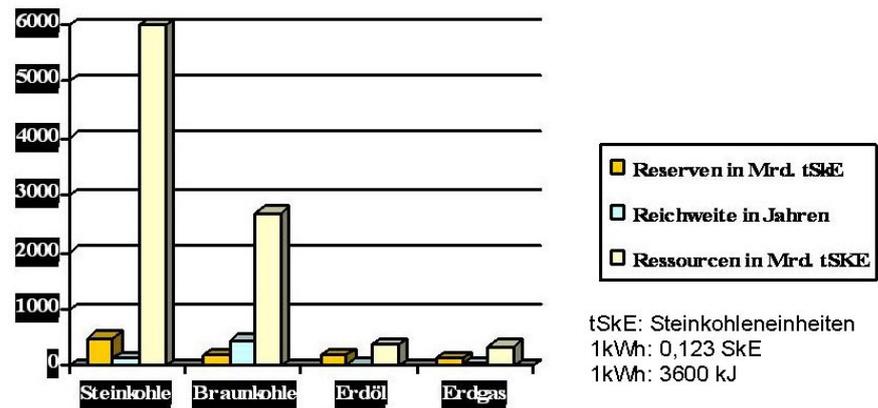


Abb. 3
 Ressourcen und Reserven von Primärenergie-trägern
 Quelle: Eigene Darstellung
 Datenquelle: V-Btro Steinkohletag 11.11.03
 (Steag Gesellschaft)

In Abb. 3 wird die Menge an Ressourcen der unterschiedlichen Brennstoffe genauer dargestellt. Die Ressourcen von Steinkohle sind in Vergleich zu den anderen Brennstoffen sehr groß (6000 Mrd. t SkE), jedoch kann aber zurzeit erst 1/6 genutzt werden. Steinkohle schneidet auch, was die Reichweite anbelangt, gut ab (noch 160 Jahre). Im Gegensatz dazu, hat Braunkohle die zweitgrößten Ressourcen (2700 Mrd. t SkE). Allerdings ist die Reichweite (in Jahren) von Braunkohle die größte (460 Jahre).

Erdgas ist heutzutage eines der populärsten und umweltfreundlichsten fossilen Brennstoffen. Es wird nämlich wegen seiner geringen Luftschadstoff-Emissionen bevorzugt. Wie aber in Abb. 3 zu sehen ist, hat Erdgas sehr begrenzte Ressourcen (370 Mrd. t SkE) und eine Reichweite für erst 60 Jahre. Erdöl hat mittlerweile genauso wenige Ressourcen (nur 390 Mrd. t SkE) und wird voraussichtlich nur noch 40 Jahre ausreichen. Außerdem ist Erdöl im Vergleich mit Erdgas nicht so umweltfreundlich.

2. Stromerzeugung und Emissionen

Abb. 4 stellt die Minderungsrate von CO₂-Emissionen, im Sektor Endenergieverbrauch und Stromverbrauch für den Zeitraum von 1991 bis 2000 pro Einwohner und pro Jahr dar. Der Stromverbrauch pro Einwohner und pro Jahr bleibt konstant. Die CO₂-Emissionen und der Stromverbrauch pro Einwohner pro Jahr sind ein wenig reduziert aber, wie schon erwähnt, steigt der gesamte Energieverbrauch.

	Einheit	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
CO ₂ -Emissionen pro Einwohner pro Jahr	tCO ₂ /E	8,612	7,809	8,213	7,905	7,704	7,840	7,539	7,532	7,537	7,499
Endenergieverbrauch pro Einwohner und Jahr	kWh/E	22.185	19.287	21.990	21.123	20.887	21.766	21.246	21.414	21.655	22.145
Stromverbrauch pro Einwohner und Jahr	kWh/E	3.904	3.862	3.815	3.762	3.760	3.780	3.773	3.826	3.840	3.847

Abb. 4
Allgemeine Daten
Quelle: Eigene Darstellung
Datenquelle: Energiebericht 1997-2000,
Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, Berlin

Die Stromerzeugung spielt eine wichtige Rolle zur Luft- und Klimabeschädigung, da durch die verschiedenen Prozesse in den Kraftwerken, Luftschadstoffemissionen produziert werden. Besonders die Kraftwerke, die mit Kohle betrieben werden, haben sehr hohe CO₂-Emissionen. Das liegt hauptsächlich an der Zusammenstellung von Kohle, die Kohlenstoff enthalten. Es wird intensiv daran gearbeitet, damit die Emissionen von Kohlenkraftwerken reduziert werden können. Die Modernisierung vieler existierender Anlagen, sowie auch die Integration des Kraft-Wärme Kopplung Prinzips ist erforderlich. Jedoch ist es noch nicht möglich, aufgrund der mangelnden Technik, diese Emissionen bedeutend zu reduzieren oder auch ganz herabzusetzen.

Allein die Kohlendioxidemissionen sind für etwa die Hälfte des anthropogenen Treibhauseffektes weltweit verantwortlich. In Deutschland verursachen sie über 80 % des Treibhauseffektes. Kohlendioxid bildet daher einen Leitindikator für die Klimagasemissionen.

Die Entwicklung der Berliner CO₂-Emissionen über die letzten 100 Jahre verdeutlicht sowohl den Einfluss von Industrialisierung und Wirtschaftswachstum, als auch die erheblichen Emissionsminderungen.

Im Mai 2000 hat der Senat das Landesenergieprogramm für die Jahre 2000 – 2003 beschlossen. Grundlage hierfür ist das Berliner Energiespargesetz, das für die Erstellung des Landesenergieprogramms auch die Beteiligung der Öffentlichkeit vorsieht. Als Ziel der Landesklimapolitik ist im Landesenergieprogramm festgelegt, den Energieverbrauch und damit die Treibhausgase weiter zu reduzieren. Der Berliner Senat hat vor dem Hintergrund der Klimaschutzdiskussionen in Deutschland ein eigenes CO₂-Minderungsziel beschlossen. Bis zum Jahr 2010 sollen die CO₂-Emissionen Berlins pro Einwohner auf ein Niveau, das um 25 % unter dem von 1990 liegt, zurückgeführt werden.

Kohlendioxid-Emissionen können grundsätzlich nicht gemessen, sondern über den Verbrennungseinsatz der verschiedenen Energieträger berechnet werden. Insofern unterscheiden sich die CO₂-Emissionen von den anderen Luftschadstoffen (z.B. Schwefeldioxid, Stickoxide usw.), da es in Vergleich mit ihnen, für CO₂ keine direkten Messdaten aus den großen Verbrennungsanlagen gibt.

Schadstoffemissionen in Berlin

In Mikrogramm je m³

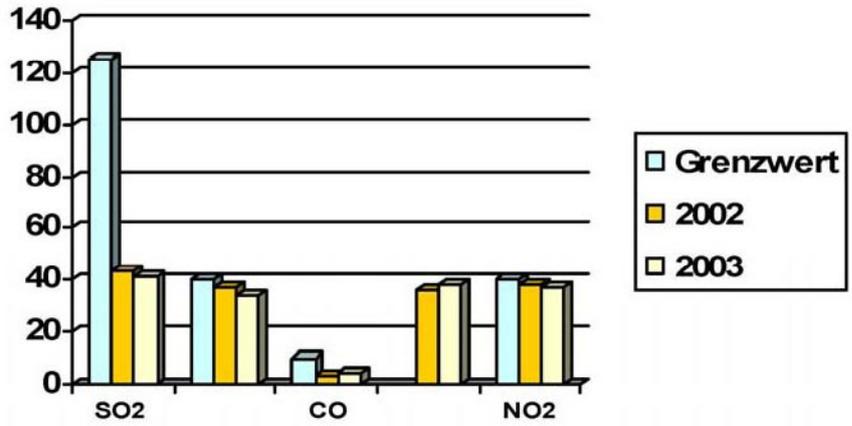
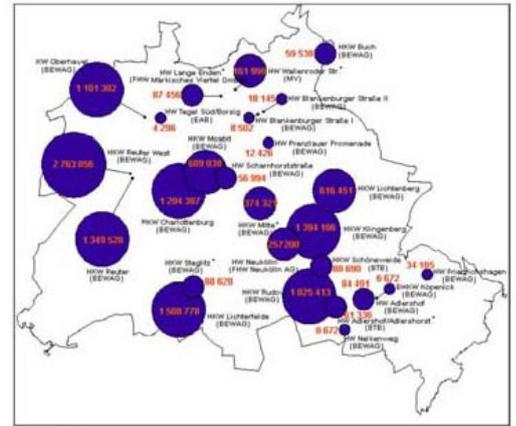


Abb. 5
 Schadstoffemissionen in Berlin in Mikrogramm je m3
 Quelle: Eigene Darstellung
 Datenquelle: Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, Berlin

CO2 - Emissionen



Jahresbilanz in Deutschland

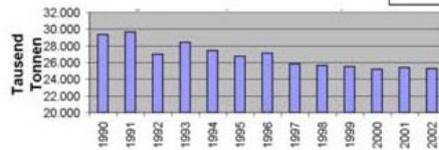


Abb. 6
 CO2-Emissionen in Berlin
 Quelle: Eigene Darstellung
 Datenquelle: Energiebericht 1997-2000, Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, Berlin

Kraftwerke in Berlin

Energieträger	Emissionsfaktor g CO2/kWh
Strom	922
Rohbraunkohle (Lausitz)	396
Braunkohlenbrikett	360
Steinkohle	335
Schweres Heizöl	281
Leichtes Heizöl	281
Erdgas	198
Fernwärme (je nach Netz)	72...493

Abb. 7
 Spezifische Kohlendioxidemissionen verschiedener Brennstoffe
 Quelle: Eigene Darstellung
 Datenquelle: Berechnung des Öko-Instituts 1994

Abb. 6 zeigt die Durchschnittsemissionen von CO₂ aller Kraftwerke im Lande Berlin. Das Verhältnis Energieerzeugung-Emissionen in den einzelnen Kraftwerken ist in dieser Tabelle anschaulich. Die kleine Tabelle zeigt uns die Jahresbilanz der CO₂-Emissionen in Deutschland. Es ist zu bemerken, dass die Emissionen seit 1997 unbedeutend reduziert wurden.

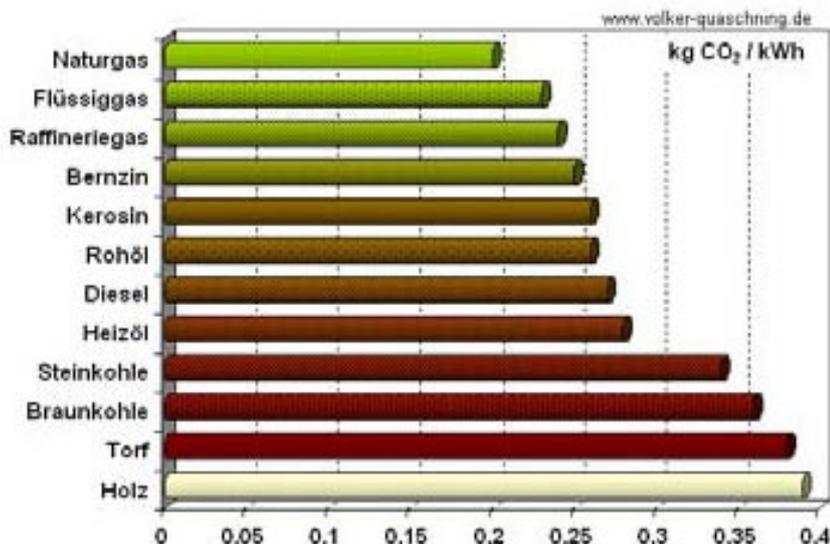


Abb. 8
Spezifische Kohlendioxidemissionen verschiedener Brennstoffe
Quelle: BWE

3. Prognose der installierten Kraftwerksleistung bis 2020 in Deutschland

Wie sieht es nun für die nächsten Jahre aus? Die Prognose für das Jahr 2020 zeigt den Anstieg der Kraftwerksleistung bei den Wasserkraftwerken und bei den Windkraftwerken in Deutschland. Genauer bis 2020 wird bei den wasserkraftbetriebenen Anlagen ein geringer Anstieg der installierten Leistung vorgesehen, während der Anteil der Windenergieanlagen im diesem Betrachtungszeitraum auf das Doppelte steigt. Die installierte Leistung bei den Energieträgern aus den Bereichen Biomasse, sonstige Gase, Geothermie, Solarthermie, Photovoltaik und Müllverbrennung bleibt annähernd konstant.

Kernenergie	22.375	4.240
Steinkohle	33.335	15.283
Braunkohle	23.647	12.907
Öl	6.743	485
Erdgas	19.527	11.404
Wasserkraft	7.320	7.855
Wind	12.027	23.044
Sonstige Energieträger	3.371	3.116

Abb. 9
Prognose der installierten Kraftwerksleistung bis 2020 in Deutschland
Quelle: Eigene Darstellung
Datenquelle: Climate Change (Berechnung des Öko-Instituts 1994)

4. Verteilung des Stroms

Die Übertragung der elektrischen Energie kann in den verschiedenen Spannungsebenen nur kabelgebunden übertragen werden. Für diese Aufgabe stehen Freileitungen und Kabel zur Verfügung. Zur möglichst verlustarmen Übertragung der elektrischen Energie vom Kraftwerk zum Verbraucher wird die elektrische Energie über mehrere Spannungsebenen transportiert. Die optimale Spannungsebene wird je nach zu übertragender Leistung und der Entfernung gewählt.

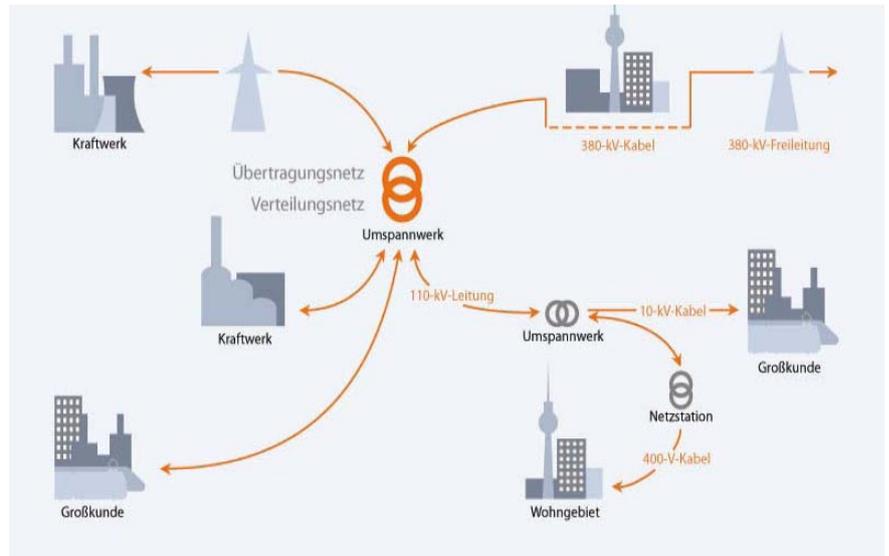


Abb. 10
 Prinzipieller Aufbau eines regionalen Netzes
 Quelle: BEWAG

Das Höchstspannungsnetz ist ein Übertragungsnetz. Es verteilt die größtenteils von Kern- und Kohlekraftwerken eingespeiste Energie landesweit an Transformatoren die nahe an den Verbrauchsschwerpunkten liegen. Diese Kraftwerke übernehmen die Grundlastversorgung. Das Höchstspannungsnetz ist auch an das internationale Verbundnetz angeschlossen. Die Spannung bei diesem Netz kann 380kV oder größer sein.

Das Hochspannungsnetz sorgt für die Grobverteilung von elektrischer Energie. Leitungen führen hier in verschiedene Regionen, Ballungszentren oder große Industriebetriebe. Abgedeckt wird ein Leistungsbedarf von 10 bis 100 MW. Die Spannung des Stroms beträgt an diesem Punkt 110kV. Das Mittelspannungsnetz verteilt den Strom an die Transformatorstationen des Niederspannungsnetzes (Umspannwerke) oder Einrichtungen wie zum Beispiel Behörden, Schulen oder Fabriken. Stadtwerke, die ebenfalls Kraftwerke oft auch mit Kraft-Wärme-Kopplung betreiben, speisen ihren Strom in dieses Netz. Die Stromspannung dabei beträgt 10kV.

Die Niederspannungsnetze sind für die Feinverteilung zuständig. An den Netzstationen wird der Strom auf 230 oder 400 V transformiert und damit werden Haushalte, Industrie, Gewerbe und Verwaltungen versorgt. Daneben gibt es auch noch Leitungen mit hochgespanntem Gleichstrom für Übertragung über weite Strecken, insbesondere Seekabel (Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung).

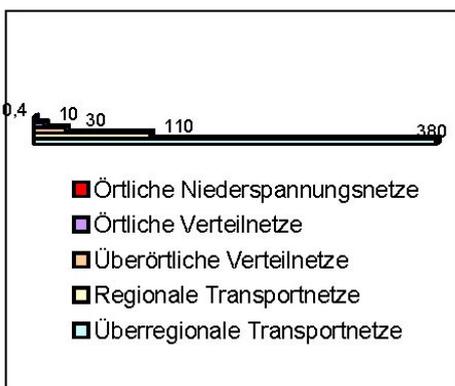


Abb. 11
 Stromspannungen bei den verschiedenen Übertragungsnetzen
 Angaben in kV
 Quelle: Eigene Darstellung
 Datenquelle: BEWAG

Agapi Dimitriadou, Evangelia Komi, Maria Lykou

Seit der Liberalisierung des Strommarktes im Jahre 1998 kann jeder Kunde seinen Stromlieferanten selbst bestimmen. Die Voraussetzung für die freie Wahl des Stromanbieters ist, dass die Netzbetreiber ihren Leitungsnetzen andere Lieferanten zur Verfügung stellen. In Deutschland ist die Stromversorgung recht vielfältig. Ende 2003 waren ca. 1100 Unternehmen auf dem Strommarkt aktiv.

Im Bereich der Höchstspannungsnetze sind die Netze der einzelnen Betreiber zum nationalen Verbundnetz zusammengeschlossen. Zurzeit sind dies vier Netzbetreiber in Deutschland: EnBW Transportnetze AG, E.ON AG Netz GmbH, RWE Transportnetz Strom GmbH und die Vattenfall Europe Transmission GmbH.

Nach Angaben des VDN (Verband der Netzbetreiber) beim Verband der Elektrizitätswirtschaft beträgt die Anzahl der in Deutschland im Jahre 2003 installierten Transformatoren 557.000 Stück. Diese Betreiber sind Mitglieder im UCTE (Union for the Coordination of Transmission of Electricity) und somit auch am europäischen Verbundsystem beteiligt.

Neben diesen vier Netzbetreibern gibt es noch um die 900 weiteren Netzbetreiber, die auf regionaler Ebene agieren, also im Bereich der Mittel- und Niederspannungsnetzen.

Für die Netzspannung in den Niederspannungsnetzen, wurden mit der internationalen Norm IEC 38, 6. Ausgaben 1983, eine weltweite Vereinheitlichung angestrebt. Mit der Übernahme dieser Norm musste danach in der Bundesrepublik Deutschland die bisherige Nennspannung 220/380 V durch den neuen Wert 230/400 V ersetzt werden. Für die Umstellung ist eine Übergangsfrist bis zum Jahre 2008 vorgesehen.

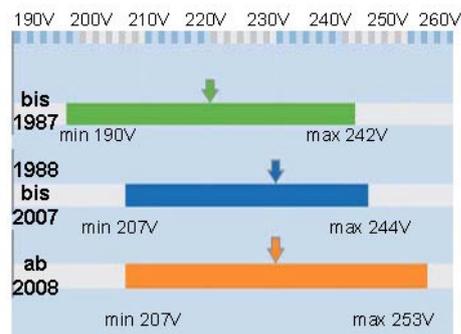
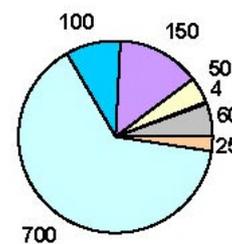


Abb. 12
Verschiedene Nennspannungen im öffentlichen Niederspannungsnetz bei der Umstellungsphase in Deutschland
Quelle: Eigene Darstellung
Datenquelle: Bewag



- Überregionale Verbundunternehmen
- Regionale Versorger
- Mittlere und kleinere Stadt- und Gemeindewerke
- Größere Stadtwerke
- Kleinere private lokale Versorger
- Händler, Ökostromanbieter
- Reine Stromerzeuger

Abb. 13
Große, kleinere und mittlere Stromversorger in Deutschland, ohne private Betreiber von Windanlagen und kleinen Wasserkraftwerken
Stand 2003

Quelle: Verband der Elektrizitätswirtschaft (VDEW), Berlin



Abb. 14
Netzbetreiber in Deutschland
Quelle: Verband der Elektrizitätswirtschaft (VDEW), Berlin

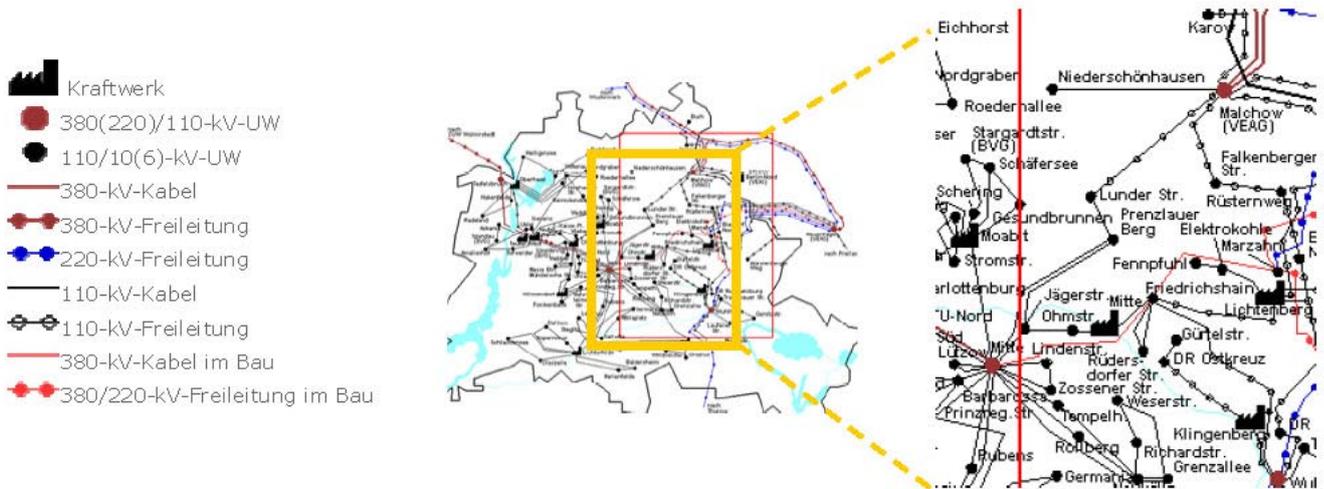


Abb. 15
 Verschiedene Spannungsnetze in Berlin
 Stand 1998
 Quelle: Senatsverwaltung für
 Stadtentwicklung, Berlin

In Berlin ist die Bewag der Netzvertreiber und zu 84% auch der Stromanbieter. Der übrige 16% wird von Yellow Strom GmbH, Überlandwerk Groß-Gerau GmbH und Spar Plus Berlin angeboten.

Berlin ist das größte städtische Versorgungsgebiet Deutschlands, größer als München, Frankfurt und Stuttgart zusammen. Diese Tatsache, sowie die besonders hohe Anschlussdichte erfordern ein außerordentlich komplexes Leitungsnetz mit einer Länge von ca. 40.000 km. Es besteht zu rund 98% aus unterirdisch verlegten Kabeln und zu etwa 2% aus Freileitungen, die nur im Ostteil Berlins zu finden sind.

Der Westteil Berlins ist seit 1994 über eine 380 kV-Leitung von dem Umspannwerk Wolmirstedt aus über die Schaltstation Teufelsbruch in Spandau an das europäische Verbundnetz angeschlossen. Das Ostteil Berlins ist seit Jahrzehnten über mehrere 220 kV- und 110 kV- Leitungen zwischen den Umspannwerken Malchow, Heizkraftwerk Lichtenberg und Wuhlheide der Bewag mit den Spanwerken Neuenhagen (im Osten) und Thyrow (im Süden mit den überregionalem Netz verbunden.

Die Lücke zwischen den beiden Teilnetzen wurde mit dem Leitungsabschnitt zwischen Umspannwerk Marzahn und Friedrichshain im Jahr 2000 abgeschlossen. So konnten ca. 30 km Freileitungen (220 kV- 110 kV) im Bezirk Marzahn aufgegeben werden.

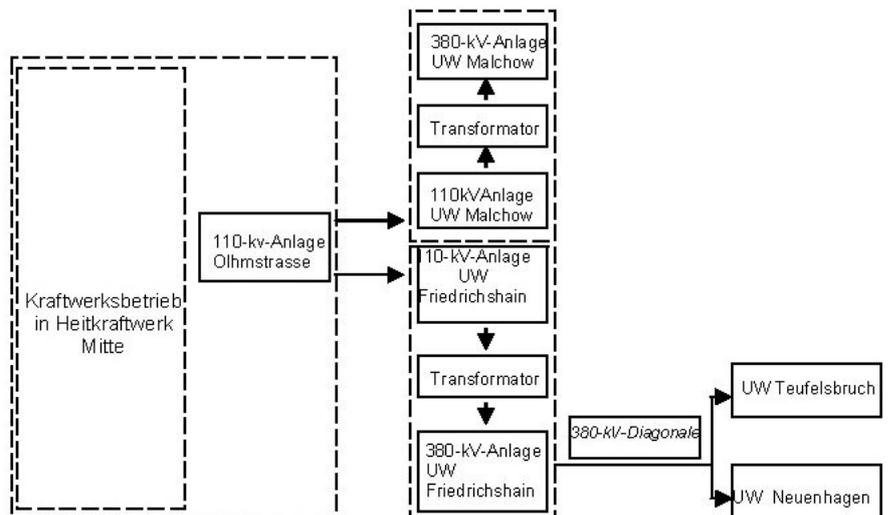


Abb. 16
 Systemdarstellung der Stromübertragung für das Heizkraftwerk Mitte in Berlin. Von der Anlage in der Ohlmstrasse gelangt der Strom in die Anlagen von den Umspannwerken in Malchow und in Friedrichshain, danach wird er in einer anderen Spannungsebene transformiert, um auf dieser Weise möglichst verlustfrei verteilt zu werden.
 Quelle: Eigene Darstellung
 Datenquelle: BEWAG

Als Beispiel für ein Übertragungssystem in Berlin, kann man die Anlage von Heizkraftwerk Mitte betrachten. Der produzierte Strom vom Kraftwerk wird durch die Anlage in der Olmstrasse weiter an anderen Transformatoren geleitet, und auf dieser Weise wird der Strom transportiert.

5. Das Heizkraftwerk Mitte

Das Heizkraftwerk Mitte wurde als Beispiel ausgewählt, da es eine ganz neue und moderne Anlage ist. Außerdem hat es die Besonderheit, dass es mitten in der Stadt liegt. Das bedeutet, dass es sehr hohe Standards an Umweltauflagen erfüllen muss.

Wir betrachten das HKW als ein System, das mit seiner Umgebung agiert. Man kann die Teilsysteme vom HKW im Input-Output Diagramm erkennen (Abb. 19). Die werden anschließend ausführlich erklärt.



Abb. 17
Heizkraftwerk Mitte
Quelle: BEWAG



Abb. 18
Kraft- und Heizkraftwerke Berlins
Quelle: BEWAG

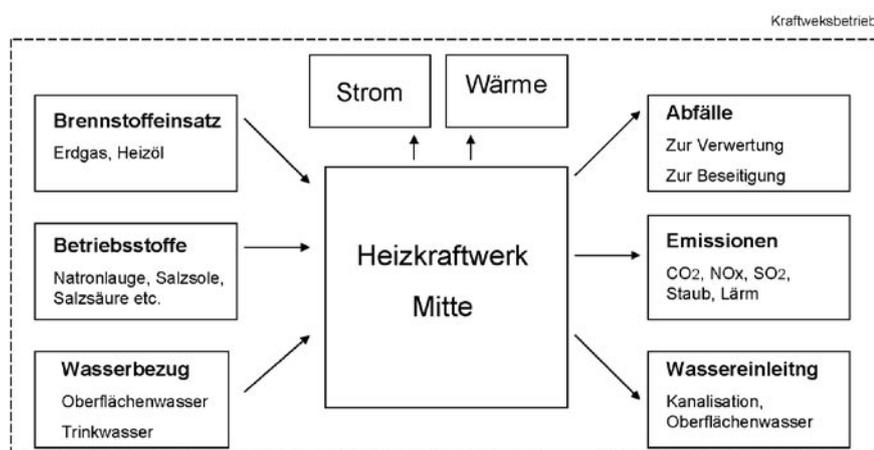


Abb. 19
Input-Output diagramm von HKW-Mitte
Eigene Darstellung

5.1 Geschichte des Standortes

Am Standort Heizkraftwerk Mitte ist seit 1964 ein Heizkraftwerk in Betrieb. Am Anfang wurde es mit Schweröl aus Russland betrieben und seit 1982 mit Erdgas. Das Heizkraftwerk spielte eine sehr wichtige Rolle bei der Strom- und Wärmeverteilung im Ostberlin. Die Gesamtleistung war 96 MW elektrisch und 484 MW thermisch, davon 232 MW aus Heizwassererzeugern. Anfang der 90er Jahre wurden nach dem Bundes-Immissionsschutzgesetz neue Sanierungsmaßnahmen notwendig. Es wurde somit entschlossen, am selben Standort ein neues Heizkraftwerk zu bauen anstatt das alte zu sanieren. Nach der Fertigstellung des Neubaus 1997 wurde das alte außer Betrieb genommen. Der Altbau wurde nicht umgerissen da die aus Asbest gebaute Fassade schwer zu entsorgen ist und wurde aufgrund dessen zu fremd genutzten Lagerräumen umfunktioniert.

Die Neuanlage, die mit dem Prinzip der „Kraft-Wärme-Kopplung“ funktioniert, hat eine Leistung von 440 MW elektrisch und 638 MW thermisch. Sie versorgt etwa 53.000 Wohnungen, 395 öffentliche Einrichtungen und 435 Kunden aus dem Bereich Dienstleistungen, Gewerbe und Industrie. Zurzeit arbeiten dort 53 Mitarbeiter, davon 30 Beschäftigte in Wechselschichten. Es gibt fünf Schichten und pro Schicht arbeiten immer 3 Leute.

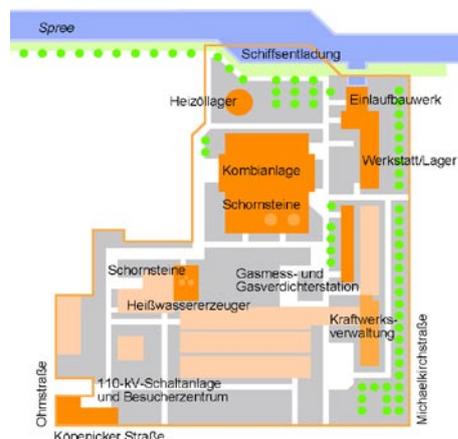


Abb. 20
Lageplan
Quelle: BEWAG

5.2 Anlagen

Das HWK-Mitte ist eine so genannte „Kombi-Anlage. Zwei Gasturbinen, zwei nachgeschaltete Abhitzkessel und eine Dampfturbine werden also hier so miteinander kombiniert, dass die Anlage gleichzeitig Strom und Wärme mit einem sehr hohen Brennstoffenergie-Ausnutzungsgrad (etwa 90%) produzieren kann.

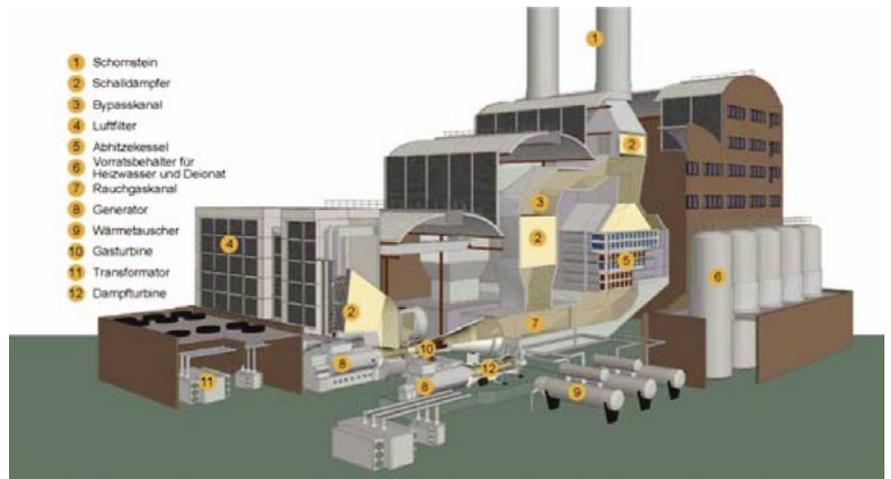


Abb. 21
 Schnittdarstellung des Kraftwerks mit den wichtigsten Anlagen
 Quelle: BE WAG

5.3 Brennstoffe



Abb. 22
 Verdichterstation
 Quelle: Eigenes Foto

Im HKW-Mitte wird hauptsächlich Erdgas verbrannt, welches durch Pipelines von dem Europäischen Erdgasverbund das Kraftwerk erreicht. Seine Ursprünge sind von Sibirien, Norwegen und der Nordsee. Zusätzlich gibt es die Möglichkeit, das Erdgas durch das GASAG Flächennetz das HKW zu transportieren.

Bevor das Erdgas jedoch in Betrieb genommen werden kann muss es erstmal gemessen und dann verdichtet werden. Die Bemessung findet in der Erdgasmessstation statt. Dieser Prozess ist notwendig, da der Energiegehalt des Brennstoffes sich je nach Quelle unterscheidet.

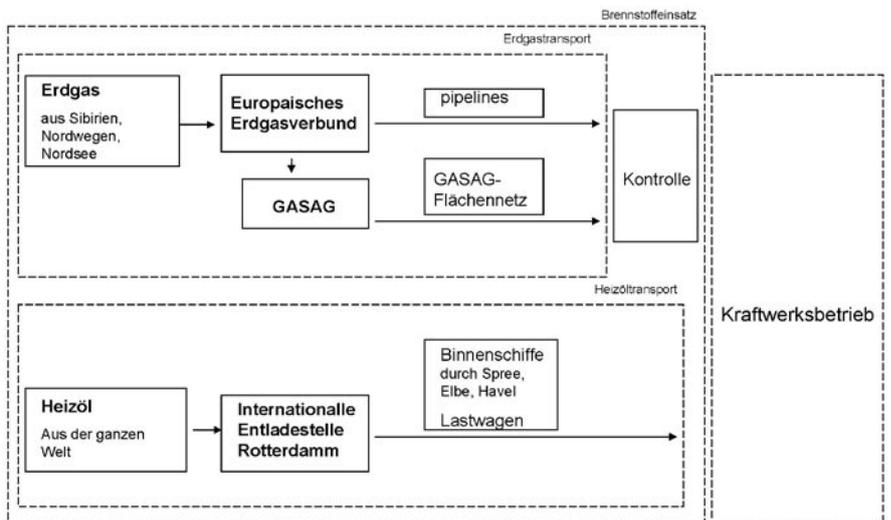


Abb. 23
 Brennstoffeinsatz als Prozess
 Quelle: Eigene Darstellung

Agapi Dimitriadou, Evangelia Komi, Maria Lykou

Die Verdichtung findet nachher in den Erdgasverdichter statt, die das Gas mit einem Trassendruck von 2,5 bis 6 bar erreicht. Für den Einsatz des Gases in den Gasturbinen muss der Gasdruck durch den Verdichter in fünf Stufen auf 27 bar erhöht werden. Im Verdichter werden dafür durch eine Motorwelle die Laufräder der fünf Stufen angetrieben. Das Gas wird vom Laufrad jeder Stufe axial angesaugt. Im nachgeordneten Diffusor erfolgt dann für die jeweilige Stufe eine Druckerhöhung. Das Gas erhitzt sich bei der Verdichtung sehr stark und deshalb muss es durch Kühlanlagen nach der zweiten und fünften Stufe abgekühlt werden.

Nach den zwei Prozessen darf es dann in den Gasturbinen des HKWs weitergeleitet werden

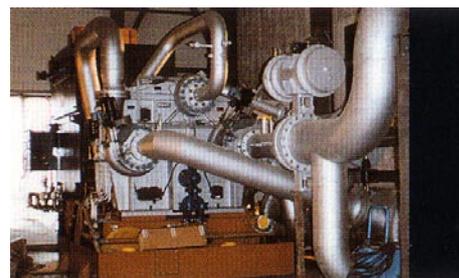
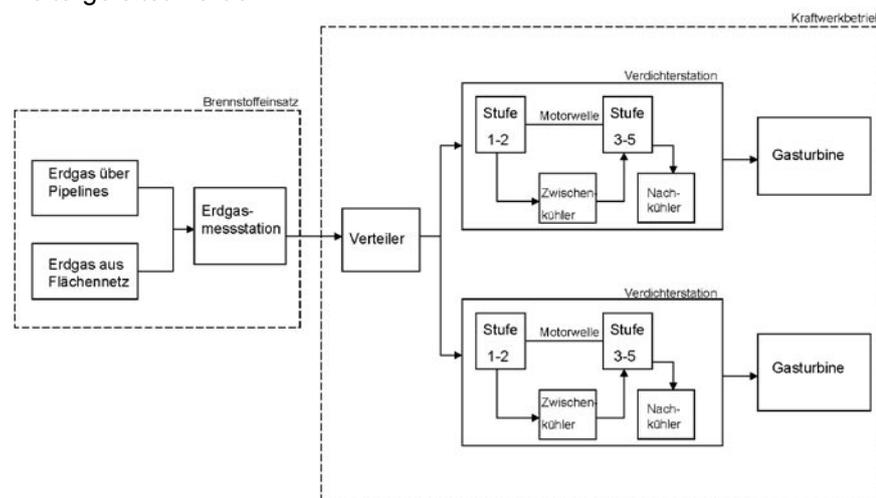


Abb. 24
Erdgasverdichter ohne Schallschutzhaube
Quelle: BE WAG

Abb. 25
Hauptgasleitungsdiagramm
Quelle: Eigene Darstellung
Datenquelle: BEWA

Als Ersatzbrennstoff wird leichtes, schwefelarmes Heizöl benutzt. Dieses kommt aus Rotterdam, von der Internationalen Entladestelle. Sein tatsächlicher Ursprung kann schwer genau bestimmt werden. Das Heizöl erreicht das Kraftwerk hauptsächlich durch den Wasserweg (Elbe und Spree). Es besteht zusätzlich die Möglichkeit, es mit Tankfahrzeugen zu transportieren.

Von den Entladestellen wird es unterirdisch durch eine braune Leitung zu den Heizölpumpen geleitet. Da wird es in den ca. 9.000 m³ großen, doppelwandigen Heizöltank gepumpt, wo es auch gelagert wird.

Der Tank ist aus Sicherheitsgründen mit einer automatischen Lecküberwachung ausgestattet. Das Heizöl muss immer eine Temperatur von ca. 15 °C haben. Wenn seine Temperatur niedriger als 15 °C ist, können Kristallpartikel entstehen und somit kann es nicht mehr für die Zwecke des Heizkraftwerks, d.h. für die Strom und Wärmeproduktion benutzt werden. Um das Öl auch bei tiefen Temperaturen stets einsatzbereit zu halten, wird der Tank über eine Bodenheizung mit der Abwärme des Maschinentrafos versorgt.



Abb. 26
Heizöltank
Die Tankwagenentladungsstelle ist zu sehen.
Quelle: Eigenes Foto



Abb. 27
Schiffsentladungsstelle
Die Entladepumpe ist zu sehen.
Quelle: Eigenes Foto

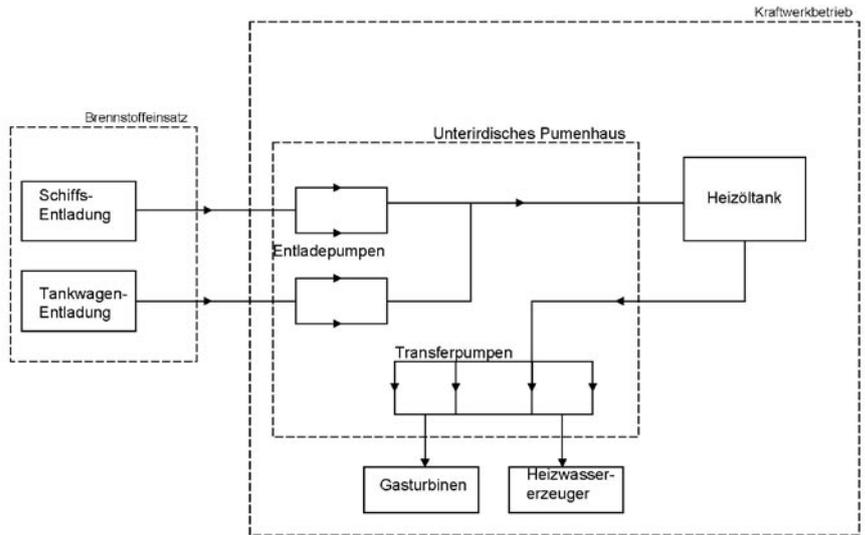


Abb. 28
 Heizpumpenhausprinzip
 Quelle: eigene Darstellung

5.4 Funktion



Abb. 29
 Aufnahme von der Gasturbine
 Quelle: Eigenes Foto

Das Erdgas kommt nach dem Verdichtungsprozess in die Gasturbinen. In ihren Ringbrennkammern verbrennt Erdgas unter hohem Druck bei einer gleichmäßig hohen Temperatur von ca. 1.100 °C. Anschließend strömt das heiße Verbrennungsgas durch die fünf Schaufelräder der Gasturbine. An den Schaufeln wird die Strömungsenergie des Gases in Rotationsenergie umgewandelt. Der direkt an die Turbine gekoppelter Generator wandelt mit 3.000 Umdrehungen pro Minute die mechanische in elektrische Energie um. Somit wird Strom produziert.

Das Verbrennungsgas wird dann mit einer maximalen Temperatur von 545 °C zum Abhitzkessel geleitet. Der 40 Meter hohe Kessel ist eine schwebende Konstruktion und wird nur von dünnen Stahlstützen gehalten. Diese aufwändige „Stahlkesselkonstruktion“ wurde gewählt, da der Kessel, aufgrund der großen Temperaturunterschiede frei dehnbar sein muss.

Ein Fundament wurde dementsprechend sofort ausgeschlossen, denn es rissgefährdet wäre. Mit der Wärmeenergie des Rauchgases wird in übereinander liegenden Heizflächen Dampf, der über die Dampfsammler in die Dampfturbine mit einer Temperatur von max. 525 °C strömt, erzeugt.

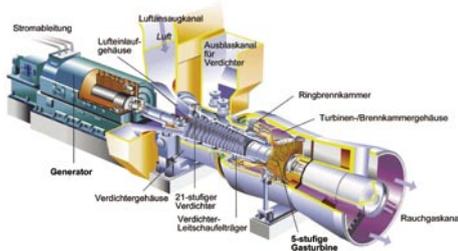


Abb. 30
 Schnitt durch Gasturbine mit gekoppeltem Generator
 Quelle: BEWAG

Zusätzlich sind Heizflächen zur Vorwärmung des Heizwassers im oberen Bereich jedes Abhitzkessels integriert. Mit diesen Heizflächen wird ein Teil des Rücklaufwassers direkt durch das Rauchgas erwärmt und wieder dem Fernwärmenetz zugeführt. Das abgekühlte Rauchgas verlässt mit einer Temperatur von ca. 70 °C über den Schornstein das HKW.

Abb. 31 (links)
 Stahlstützen der „Stahlkesselkonstruktion“
 Quelle: Eigenes Foto



Abb. 32 (rechts)
 Pumpen, die den Kessel mit hochreinem Wasser versorgen
 Quelle: Eigenes Foto



Agapi Dimitriadou, Evangelia Komi, Maria Lykou

In der Dampfturbine wird die Strömungsenergie des Dampfes an den 36 Schaufelreihen der Dampfturbine in Rotationsenergie umgewandelt. Der gekoppelte Generator wandelt die mechanische in elektrische Energie um. Der gesamte entspannte Dampf wird aus der Dampfturbine über zwei riesige Abdampfstutzen und zwei Anzapfungen auf drei Wärmetauschern (Heizkondensatoren) geleitet. Mit der Restwärme des Dampfes wird hier das abgekühlte Heizwasser des Fernwärmenetzes Mitte aufgeheizt. Der Dampf kondensiert bei der Wärmeabgabe. Das Kondensat wird anschließend in den Speisewasserbehälter zurückgepumpt und erneut in den Wasser-Dampf-Kreislauf eingespeist.

Das vom Dampf erwärmte Heizwasser gelangt den Kunden mit einer Temperatur von max. 135 °C und wird für Raumheizung, Warmwasserbereitung und Kälteerzeugung (Klimatisierung) eingesetzt. Das Wasser kommt ins HKW abgekühlt zurück, d.h. mit einer Temperatur von ca. 50-70 °C.

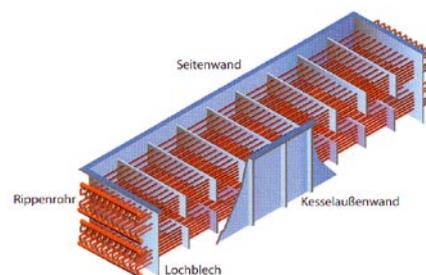


Abb. 33
Abhitzkesseldampferzeuger-Modul
Quelle: BEWAG

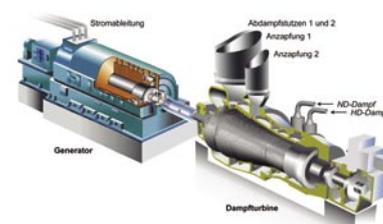


Abb. 34
Schnitt durch Dampfturbine mit gekoppeltem Generator
Quelle: BEWAG



Abb. 35
Abbildungen von Heizkondensatoren
Quelle: Eigene Fotos

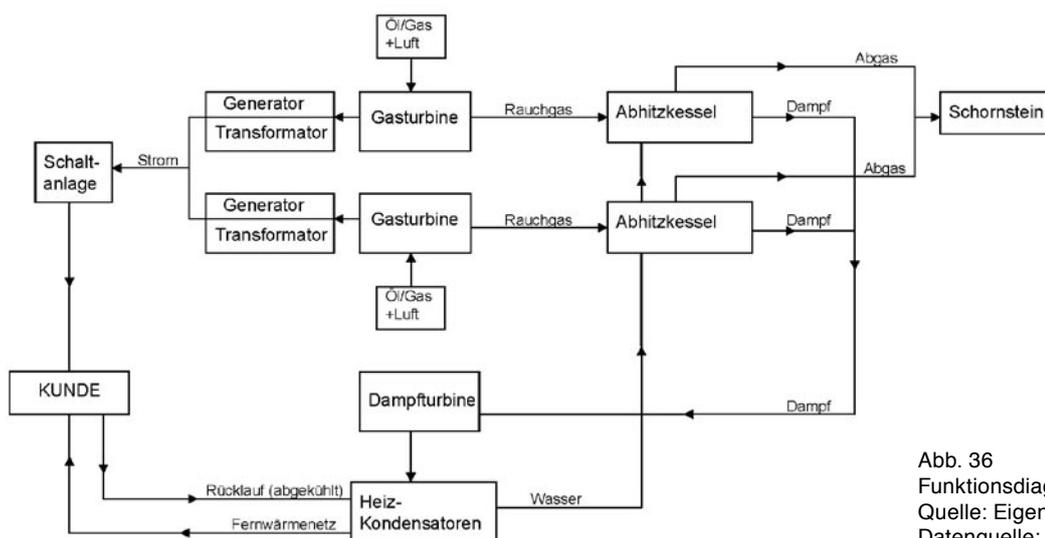


Abb. 36
Funktionsdiagramm von Heizkraftwerk Mitte
Quelle: Eigene Darstellung
Datenquelle: BEWAG

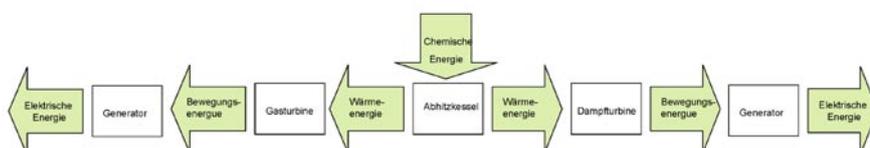


Abb. 37
Input-Output Energiediagramm
Quelle: Eigene Darstellung
Datenquelle: BEWAG

5.5 Betriebsstoffe

Als Betriebsstoffe werden die zusätzlichen Chemikalien, die hauptsächlich für die Wasseraufbereitung benutzt sind, bezeichnet. Für den Einsatz im Wasser-Dampf-Kreislauf wird das Wasser in Filtern und Ionenaustauschern befreit. Diese chemische Wasseraufbereitungsanlage muss ab und zu mit Salzsole (NaCl), Natronlauge (NaOH) und Salzsäure (HCl) regeneriert werden. Der Chemikalieneinsatz hängt von der behandelten Wassermenge sowie –qualität auch. Maßnahmen zur Wassereinsparung betreffen nachher auch unmittelbar den Chemikalienverbrauch.

Die Verwendung von Natronlauge und Salzsäure zum Regenerieren der Ionenaustauscher der Wasseraufbereitungsanlagen ist direkt von der eingesetzten Zusatzwassermenge abhängig. In den letzten Jahren konnte der Verbrauch kontinuierlich gesenkt werden. Der Verbrauch von Salzsole zur Regeneration der Ionenaustauscher der Heiznetz- Teilstromaufbereitung ist abhängig von der Qualität des Fernheizwassers und daher nicht allein vom Kraftwerk zu beeinflussen.

In den letzten Jahren konnte der Chemikalienverbrauch in HKW- Mitte gegenüber den Auslegungen erheblich reduziert werden. Der Hauptgrund dafür ist der geringe Anteil an Ölbetrieb, da Ölbetrieb mehr Wasser und eine zusätzliche Vollentsalzungsanlage fordert.

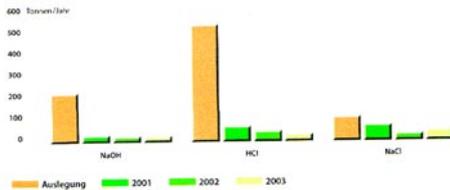


Abb. 38 Betriebsstoffverbrauch für die Wasseraufbereitung für die Jahre 2001-2003
 Quelle: BEWAG

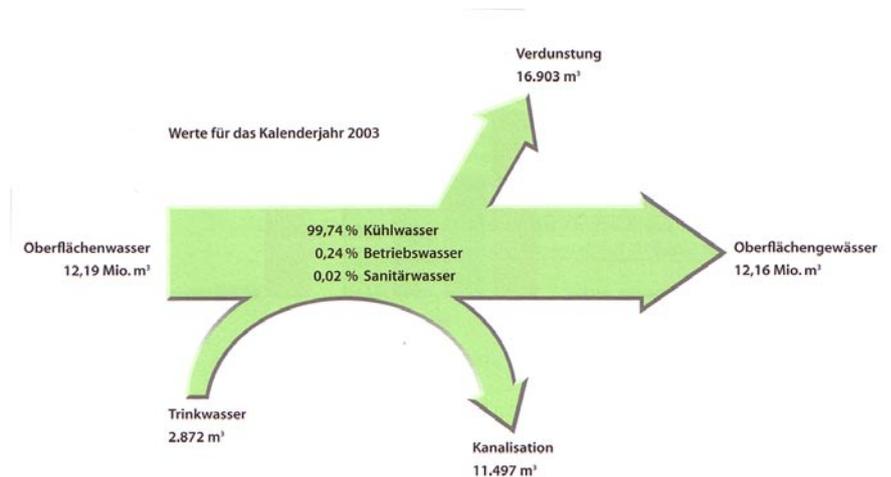


Abb. 39 Wasserwerte für das Jahr 2003
 Quelle: BEWAG

5.6 Wasserbezug

Das HKW-Mitte benötigt 12 Millionen cbm Spreewasser pro Jahr. Davon wird das 99,74 % für Kühlzwecken benutzt und wird wieder eingeleitet. für Betriebszwecken wird das 0,24 % benutzt und für Sanitärzwecken das 0,02%. Dadurch gilt das HKW-Mite als einer der größten Gewässernutzer Berlins.

Das Wasser wird in zwei Stufen aufbereitet, bevor es in den Wasser-Dampf Kreislauf eingesetzt werden kann. Die erste Stufe ist die mechanische Reinigung. Im ersten Schritt der Reinigung werden alle groben Teile von den Siebbandmaschinen entfernt. Danach wird eine weitere Reinigung durchgeführt, indem das Wasser durch den Immediumfilter, die Ozonanlage, den Reaktionsbehälter und den Mehrschichtfilter fließt. Die feineren Partikeln werden somit zurückgehalten und das Wasser kommt in einem Reinwasserbecken

Ein Teil dieses Reinwassers wird danach die zweite Reinigungsstufe unterziehen und wird den chemischen Wasseraufbereitungsanlagen zugeführt. In dieser Phase fließt das Reinwasser durch die Vollentsalzungsanlage und die Einspritzwasseranlage und wird durch verschiedene Filter

und Hilfsanlagen durchgeführt. Einige davon sind der Aktivkohlenfilter, der Kationen-Austauscher, der CO₂ –Rieseler, der Anionen-Austauscher und der Mischbrettaustauscher. Härtebildner und sonstige Salze werden durch diesen Prozess entfernt. Am Ende beiden Reinigungsphasen entsteht vollentsalztes Wasser. Das wird unter anderen für die Dampferzeugung benötigt.

Für die Fernheizwasserherstellung wurde bisher eine Teilstromenthärtung über Ionenaustauschern durchgeführt. Heute sind jedoch die Qualitätsanforderungen für das Fernheizwasser deutlich gestiegen. Eine mobile Enthärtungsanlage wurde deswegen aufgestellt. Die wird bei Bedarf betrieben und kann bei allen BEWAG Standorten benutzt werden, an denen in das Fernheiznetz eingespeist wird.

Der Bedarf an Wasser konnte etwa auf die Hälfte der geplanten Menge reduziert werden. Die Aufwärmspanne zwischen Wasserbezug und -wiedereinleitung ist auch geringer als früher: Statt der genehmigten 10 °C beträgt sie durchschnittlich 5 °C. Große Einsparungen bei der Wasseraufbereitung wurden auch durch den Verzicht auf den Heizöleinsatz erreicht. Bis zu 65.000 cbm chemisch aufbereitetes Zusatzwasser werden so jährlich vermieden.

5.7 Wasseraufbereitung

Das HKW-Mitte hat ein offenes Nebenkühlwassersystem, das über zwei Zwischenkühler den geschlossenen Zwischenkühlwasser-Kreislauf mit Spreewasser rückkühlt. Über diesen Kühlkreislauf werden z.B. die Kühlanlagen der großen Pumpen, der Generatoren, der Gasturbinen, der Dampfturbine und der Erdgasverdichter sowie der Kondensatkühler mit Kühlwasser versorgt.

Das Kühlwasser, das Einspritzwasser für die Ringbrennkammern bei Heizölbetrieb der Gasturbinen sowie das Zusatzwasser für die Dampferzeugung in den Abhitzkesseln und für das Fernwärmesystem werden der Spree entnommen, gefiltert und chemisch aufbereitet.



Abb. 40
Wasserbehälter
Quelle: eigenes Foto



Abb. 41
Ionenaustauscher, CO₂ –Rieseler
Quelle: eigenes Foto



Abb. 42
Aktivkohlefilter für Wassereinigung
Quelle: eigenes Foto

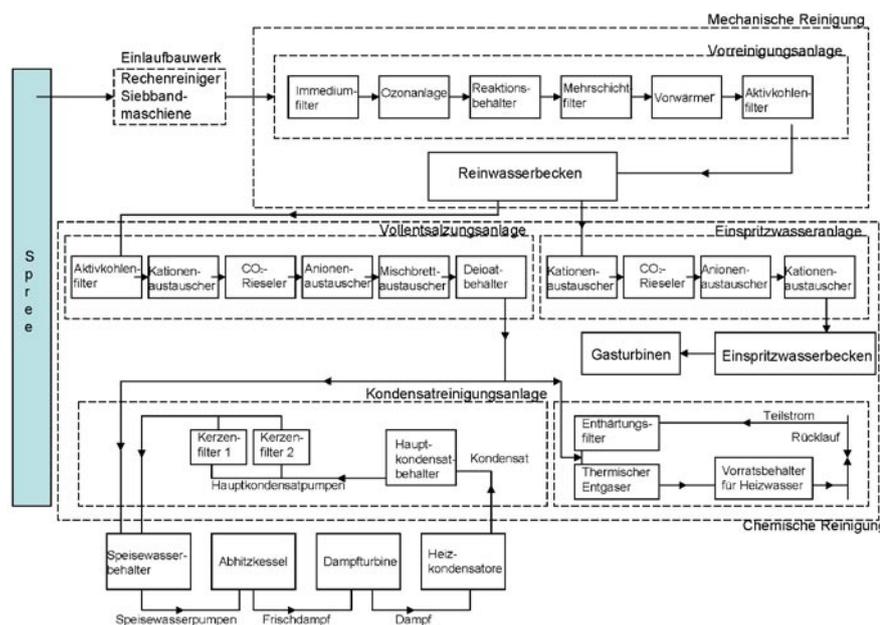


Abb. 43
Wasseraufbereitungsprozess
Quelle: eigene Darstellung
Datenquelle: BEWAG

Spezifische CO₂-Emissionen im Vergleich Stromerzeugung

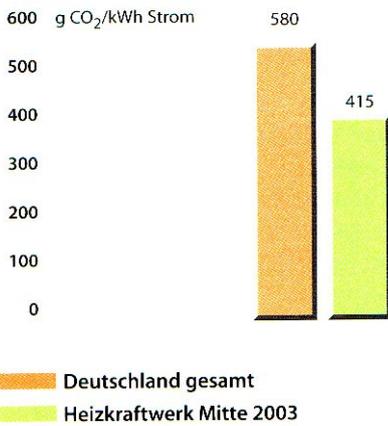


Abb. 44
 Spezifische CO₂ Emissionen im Vergleich Stromerzeugung
 Quelle: BEWAG

Spezifische Emissionen für Stromerzeugung

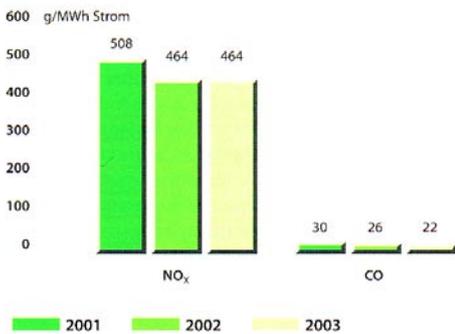


Abb. 45
 Spezifische Emissionen für Stromerzeugung für die Jahre 2001-2003
 Quelle: BEWAG

5.8 Emissionen

Zu den Emissionen eines Heizkraftwerks zählen gasförmige Luftschadstoffe, Staub und Lärm. Da das HKW Mitte mitten in der Stadt liegt, muss man mit großer Sensibilität mit den Nachbarn umgehen. Diese spezielle Verantwortung wird z.B. durch einen hohen Aufwand beim Lärmschutz Rechnung getragen. Somit wird durch den Betrieb des Heizkraftwerks Mitte der Geräuschpegel im Umfeld nicht erhöht.

Die Benutzung von Erdgas als Hauptbrennstoff hat einen positiven Einfluss auf den gas- und staubförmigen Emissionen, da es in Vergleich mit anderen Brennstoffen sehr rein ist. Es enthält nur wenige Stoffe, die bei der Verbrennung zu Luftschadstoffen wie Schwefeloxid oder Stickoxiden reagieren. So ist Gas nahezu schwefelfrei, während der Anteil in Heizöl EL bis zu 0,2 Prozent beträgt. Die Staubemissionen sind durch Erdgasverbrennung ebenfalls deutlich niedriger.

Die Emissionsmengen des Betriebes wurden den Auslegungswerten gegenübergestellt. Es ist zu bemerken, da der Gasanteil so groß ist, dass die tatsächlichen Emissionen für SO₂ und CO bei Bruchteilen den geplanten Mengen liegen. Bei NO_x liegen die tatsächlichen Werte bei ca. 70% des Auslegungswertes.

Außer den SO₂ -, NO_x- und CO-Emissionen gibt es auch die Emissionen des Klimagases Kohlendioxid (CO₂). Die unterscheiden sich von den klassischen Luftschadstoffen in mehrfacher Hinsicht und somit existieren keine Grenzwerte sowie auch keine großtechnisch eingesetzte Messgeräte für CO₂. Die Emissionen lassen sich deswegen, auf der Grundlage von Brennstoffdaten sich berechnen. CO₂ entsteht zwangsläufig bei jeder Verbrennung. Es gibt nämlich zurzeit noch keine Möglichkeit von der Technik her, einer Abgasreinigung in Analogie zur Entschwefelung oder Entstickung. Die Menge von CO₂, die produziert wird, hängt immer von der Art und der eingesetzten Menge des benutzten Brennstoffes. Somit sind die Effizienzsteigerungen und der Brennstoffauswahl die Ansatzpunkte für eine klimaschonende Energieerzeugung.

Da in HKW-Mitte vorrangig Erdgas verbrannt wird, hat es ein gutes CO₂-Emissionsverhalten. Mit dem „Kraft-Wärme-Kopplung“-Prinzip (Gas- und Dampfturbinentechnik) werden zudem Effizienzwerte erreicht, die deutlich über dem weltweiten Durchschnitt der Energieerzeugungsanlagen mit fossilen Brennstoffen liegen. In Vergleich mit der alten Anlage, produziert das neue Kraftwerk etwa 60% weniger CO₂-Emissionen.

Absolute Emissionen

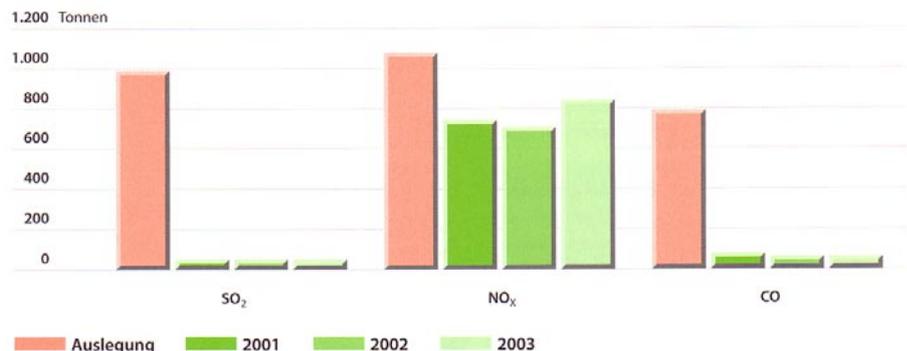


Abb. 46
 Absolute Emissionen für die Jahre 2001-2003
 Quelle: BEWAG

5.9 Abfälle

Das Heizkraftwerk Mitte hat eine geringe Abfallmenge, wenn man bedenkt wie viele Brenn- und Betriebsstoffe es benötigt. Da es auch Heizöl als Brennstoff benutzt, ist der Betrieb aufwändiger Rauchgasreinigungsanlagen notwendig, die wiederum Abfälle und Einsatzstoffe produzieren. Das HKW-Mitte kann jedoch auf nachgeschalteten Reinigungsanlagen verzichten, aufgrund des vorwiegenden Erdgaseinsatzes und der modernen Kraft-Wärme-Kopplung Technik.

Die Anlageplanung wurde auch nicht ohne Rücksicht auf die Umwelt gemacht. Der große Altbau wurde nicht sofort umgerissen. Auf Grunde seiner schwer zu beseitigen Fassade aus Asphalt, sowie auch aus Gründe des Lärm- und Staubschutzes wird er schrittweise über einen längeren Zeitraum rückgebaut und erzeugt deshalb zusätzliche Abfälle.

Die anfallenden Abfallmengen betragen 2003 243 Tonen (Im Vergleich mit 2001 wo sie 212,9 Tonen betragen und 2002 wo sie 247,6 Tonen betragen). Der Anteil der Entsorgung aus Abbrucharbeiten der Anlage war letztmalig enthalten. Planmäßig wurden die Heizwassererzeuger und ein Ölabscheider der Altanlage demontiert. Dieses Jahr ist also eine Reduzierung des Abfallaufkommens erwartet. Abfälle, die z.B. Bei Reinigungsarbeiten anfallen, entstehen in größeren Abständen. Dies begründet über die Jahre auftretende Mengenunterschiede bei Schlämmen aus Abscheideanlagen. Der gegenüber den Vorjahren höhere Wert für Siedlungsabfälle ergibt sich allein aufgrund einer Zuordnungsänderung zwischen verschiedenen Bewag-Bereichen. Ein Teil dieser Abfälle wurde früher aufgrund bestehender vertraglicher Vereinbarung mit der Hausverwaltung entsorgt und bilanziert.

Für die gesamte BEWAG gibt es ein internes, behördlich als Abfallanlage anerkanntes Abfall- und Recycling-Center. Da werden Abfälle aller Betriebsstellen zentral gesammelt, demontiert, sortiert getrennt und so für die Wiederverwertung aufbereitet, wie z.B. auch die Abfälle aus dem Rückbau der Altanlage des Heizkraftwerkes Mitte. Das Abfall- und Recycling-Center liefert Container vor Ort und übernimmt die Logistik und die Nachweisführung für die Abfälle.

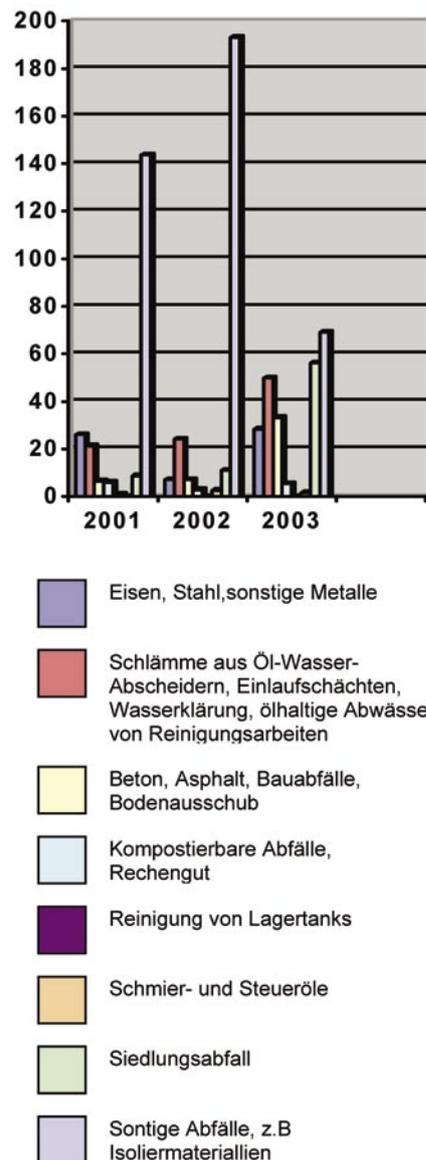


Abb. 47
Abfallmengen für die Jahre 2001-2003
Quelle: Eigene Darstellung
Datenquelle: BEWAG

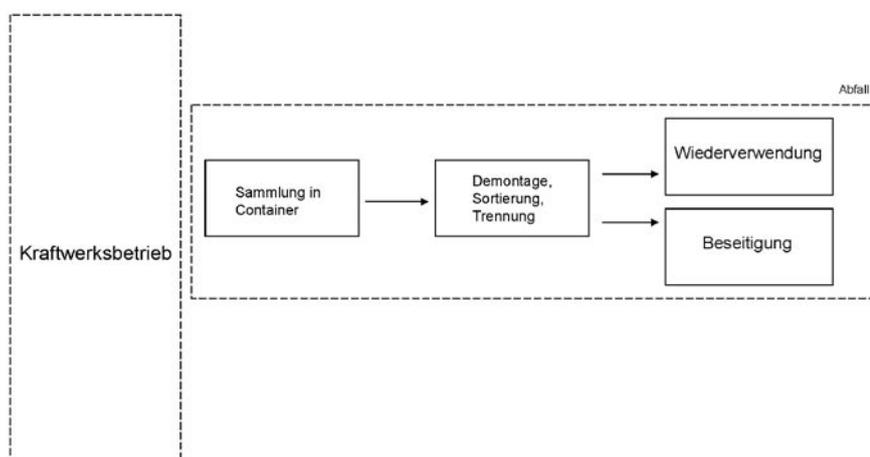


Abb. 48
Abfallsentsorgungssystem
Quelle: Eigene Darstellung

6. Thesen

Im ersten Teil der Arbeit wurden in Abb. 3 die zukünftigen Ressourcen und ihre Reichweite dargestellt. Zur Erinnerung haben Steinkohle und Braunkohle eine Reichweite von 160 bzw. 460 Jahren, wobei Erdgas und Erdöl eine Reichweite von 60 bzw. 40 Jahren haben.

Heute werden in Heizkraftwerken und Kraftwerken Deutschlands vorwiegend Kohle und Erdgas als Brennstoffe benutzt. Die Verwendung von Kernenergie ist auch für die Strom- und Wärmeproduktion sehr verbreitet.

Es werden ständig Versuche gemacht, damit Strom und Wärme möglichst umweltfreundlich erzeugt werden können. Da Erdgas als der fossile Brennstoff mit den wenigsten Emissionen gilt, wird es von der Mehrheit der neuen, innovativen Heizkraftwerke benutzt. Dabei wird Geld und Zeit investiert, damit neue Techniken entwickelt werden können. Außerdem ist es auch von großer Bedeutung, dass die Bauzeit der neuen Anlagen immer kürzer wird.

Wie schon erwähnt, ist Erdgas ein Brennstoff mit einer begrenzten Reichweite. Deswegen, ist es erforderlich, dass neue Energiesektoren erforscht werden. Stein- und Braunkohle sind immer noch eine gute Alternative, da sie weltweit unter heutigen Verbrauchsszenarien noch mehr als 160 bzw. 460 Jahre genutzt werden. Schont man die Vorräte des hochwertigen Energieträgers Gas z. B. für die zusätzliche Nutzung im Verkehr, wenn



Abb. 49
Kraftwerke, konventionellen Anlagen
Quelle: Kraftwerke-online

das Öl aufgezehrt ist, dann kommt der Kohle für die Stromerzeugung hohe Bedeutung zu, zumal die Lagerstätten weltweit verteilt sind und aus mehreren Ländern und Regionen die Kohle bezogen werden kann und daher langfristig auch vom Preis her keinen großen Schwankungen ausgesetzt ist.

Kohle als Brennstoff ist wegen seiner Zusammenstellung für viele Luftschadstoffemissionen verantwortlich. Es wurden erste Schritte für eine emissionsfreiere Strom- und Wärmeproduktion mit Kohle gemacht, bis jetzt ist aber der Forschungsvorschritt in diesem Bereich nicht ausreichend, um diesen neuen Techniken anzuwenden.

Eine weitere Möglichkeit für die emissionsfreie und langfristige Energieerzeugung sind zusätzlich die regenerativen Energien. Bedenkbare Quellen wären unter anderen Wind, Sonne und Wasser. In Deutschland hat der regenerative Energiesektor noch nicht einen erwünschten Stand erreicht. Es gibt trotzdem einige Wasser- und Windkraftwerke, die aber momentan geringen Energiemengen produzieren. Die Grundlage für eine weitere Entwicklung ist somit auf jeden Fall da. Eine weitere Forschung in diesem Bereich ist dementsprechend empfehlenswert, da sie auch eine große Investition für die Zukunft ist.

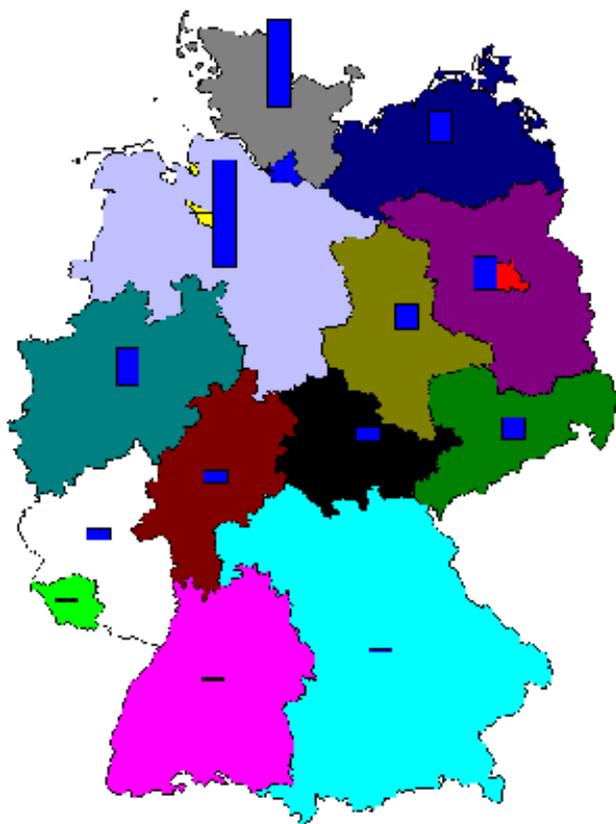


Abb. 50
Windkraftwerke Deutschlands
Quelle: Kraftwerke-online

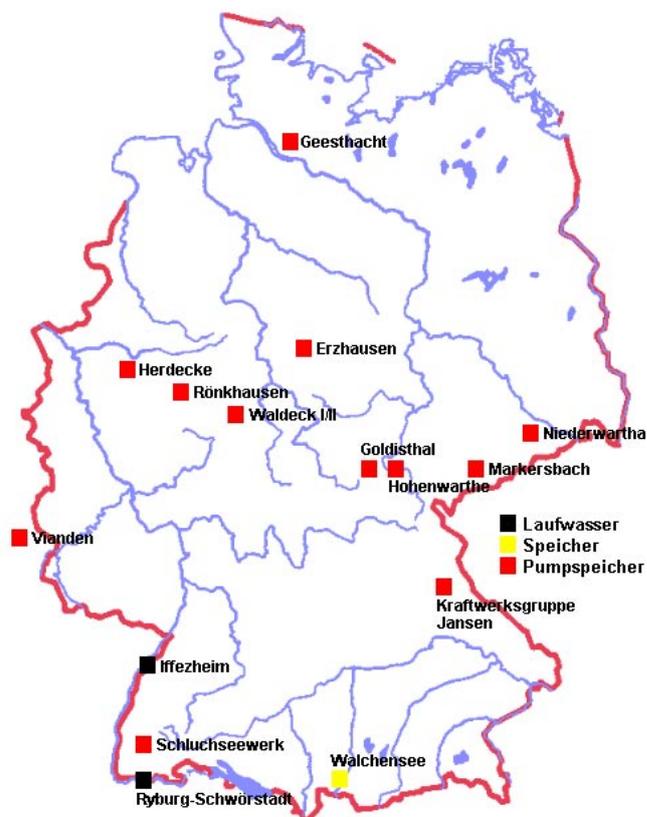


Abb. 51
Wasserkraftwerke Deutschlands
Quelle: Kraftwerke-online

Quellen

Anforderungen an die zukünftige Energieversorgung, Landgrebe Jürgen,
Serie Climate Change 2003, Umweltbundesamt
Die Kraft dahinter, Bewag
Energiebericht 1997-2000 - Energie/ Klimaschutzpolitik in Berlin, Senats-
verwaltung für Stadtentwicklung
Energiebilanzen 2001/2002 für das Land Berlin, Senatsverwaltung für
Wirtschaft, Arbeit und Frauen
Ein Rundgang in Heizkraftwerk Mitte, Bewag
Energie und Umwelt, Bewag
Geschäftsbericht 2001/2002, Bewag
Heizkraftwerk Mitte, Bewag
Optimal Stromverteilung durch effizienten Service, Bewag
Umweltbericht 1999/2000, Bewag
Umweltbericht 2001/2002, Bewag
Umwelterklärung 2002 – Standort Heizkraftwerk Mitte, Bewag
Umwelterklärung 2004 – Standort Heizkraftwerk Mitte, Bewag

www.berlin.de
www.berlin.de/strukturfonds
www.bew.de
www.bewag.de/Infothek
www.bewag.de/Versorgungsqualitaet/
www.enviam-welt.de/welt/energie_und_wissen/energie_statistik/
www.infomia.com
www.innovation-brennstoffzelle.de
www.lak-energiebilanzen.de/
www.learn-line.nrw.de
www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/klimaschutz/energiebericht
[www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/klimaschutz/landesenergiepro-
gramm/de/](http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/klimaschutz/landesenergiepro-
gramm/de/)
www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/
www.stadtwerke-landshut.de/landshut/strom/netztechnik
www.steag.de/steagde/
www.strom.de
www.tolle.de/
www.vdn-berlin.de
www.verivox.de
www.wikipedia.org