

# KRAFTWERKSTECHNIK

In Kraftwerken wird Primärenergie in elektrische Energie umgewandelt. In allen Berliner Kraftwerken wird die Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) angewandt. Dadurch wird die Ausnutzung der eingesetzten Primärenergie deutlich verbessert. Bau und Betrieb der Kraftwerke umfassen eine Vielzahl ingenieurtechnischer Disziplinen. Das Energie-Museum Berlin versucht, dies deutlich zu machen.

Es beginnt mit dem Transport und der Konditionierung der Brennstoffe. In Berlin wurde traditionell überwiegend Steinkohle und Braunkohle zur Strom- und Wärmeerzeugung eingesetzt sowie in geringerer Masse schweres und leichtes Heizöl und in jüngerer Zeit Erdgas. Das Energie-Museum gibt einen Überblick über die unterschiedlichen Kessel- und Feuerungstechniken.

Insbesondere beim Einsatz von Kohle als Brennstoff ist ein beträchtlicher labortechnischer Aufwand erforderlich, da die Kohle oft Begleitstoffe enthält, die bei den hohen Temperaturen im Dampferzeuger die Korrosion beschleunigen und bei deren Verbrennung unerwünschte Produkte entstehen können.



Die Maschinenteknik der Kraftwerke umfasst heute im Wesentlichen Turbogeneratoren mit Dampf- oder Gasturbinen sowie eine Vielzahl von Pumpen und Stellorganen. Das Energie-Museum versucht, die Entwicklungsschritte, beginnend mit den Kolbendampfmaschinen ausgangs des 19. Jahrhunderts bis zu modernen Kombianlagen mit Gas- und Dampfturbinen der Gegenwart, deutlich zu machen. Wesentliche Elemente der Kraftwerkstechnik sind auch die kurz MSR-Anlagen genannten Einrichtungen der Mess-, Steuerungs- und Regelungstechnik. Sie sind unverzichtbar, einerseits für einen kostenoptimalen Betrieb der Strom- und Wärmeerzeuger, andererseits, um das versorgungsgerechte Verhalten der Kraftwerke am Netz zu gewährleisten, d.h. die zuverlässige Einhaltung der Balance zwischen Verbrauch und Erzeugung.

**Dampfmaschinen in der „Centrale Moabit“**



**Turbinenhalle im Kraftwerk Moabit um 1990**

In Berlin gehört zur Kraftwerkstechnik unbedingt auch die Fernwärme. Nach Moskau hat Berlin das zweitgrößte Fernwärmenetz Europas – über 600.000 Haushalte beziehen ihre Raumwärme und die Energie zur Brauchwassererwärmung aus den Berliner Kraftwerken. Das ist eine ökonomische und ökologische Erfolgsgeschichte, die im Jahre 1927 am Standort des Energie-Museums, im Heizkraftwerk Steglitz, begann, nachdem schon 1910 das Rathaus Charlottenburg mit Dampf aus dem nahegelegenen Kraftwerk beheizt wurde. Im Energie-Museum wird deutlich gemacht, wie das umweltschonende System der Fernwärmeversorgung durch Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) funktioniert.

## STROM- UND WÄRMEERZEUGUNG

Die öffentliche Stromversorgung in Berlin begann 1884 mit der „Centrale Markgrafenstraße“. Das Museum dokumentiert die weitere Entwicklung anhand von Bildern und Zeichnungen der historischen Anlagen. Hinzu kommen Informationen über die Besonderheiten der Entwicklung und des Betriebs der Kraftwerke in West-Berlin in der Phase des Inselnetzbetriebs – vom 4. März 1952 bis 13. September 1994 – und die Veränderungen, die sich durch den Bau der großen Anlagen zur Entschwefelung und Entstickung der Rauchgase ergaben.

Während in den großen Verbundnetzen West- und Osteuropas entsprechend der technischen Entwicklung immer größere Kraftwerksblöcke gebaut wurden, erlaubte das kleine Inselnetz in West-Berlin nur den Einsatz kleinerer Anlagen, um beim plötzlichen Ausfall einer Einheit die Versorgungssicherheit nicht zu gefährden. Erst relativ spät konnten größere Blockeinheiten (350 MW) im Heizkraftwerk Reuter West eingesetzt werden. Fast alle Anlagen arbeiteten in Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) – den heutigen Erkenntnissen über sinnvolle Energienutzung weit voraus.

Auch in Ost-Berlin beschränkte man sich auf kleine Einheiten zur gekoppelten Strom- und Wärme-Erzeugung, da der überwiegende Teil der benötigten elektrischen Energie aus den mitteldeutschen Braunkohlekraftwerken bezogen werden konnte.



**Modell des Heizkraftwerks Charlottenburg**

Das Museum besitzt Modelle und bildliche Darstellungen von fast allen Berliner Kraftwerken, anhand derer die technische Entwicklung leicht nachvollzogen werden kann. Darüber hinaus gibt es eine umfassende Sammlung entsprechender Fachliteratur.

## KESSELTECHNIK

Im Kessel („Dampferzeuger“) wird durch die Energie des Brennstoffs mit hoher Effizienz Wasserdampf von hoher Temperatur und hohem Druck – z.B. 540 °C und 200 bar – erzeugt und einem Dampfturbosatz zugeführt.

Wird Kohle als Brennstoff eingesetzt, muss diese für die Verbrennung aufbereitet, d.h. staubfein gemahlen werden. Das Energie-Museum zeigt Beispiele der dafür verwendeten Kohlemühlen. Ein „Kohlezuteiler“, das ist eine Einrichtung, die für einen gleichmäßigen Mengenstrom zu den Mühlen sorgt, kann in Betrieb besichtigt werden.



Die unterschiedlichen Dampferzeuger-Bauarten werden erläutert, ebenso die Rauchgas-Entschwefelung und –Entstickung. Beispiele für die Einsatzstoffe (z.B. Kohle, Kalkstein) und für die Reststoffe (z.B. Flugasche, Gips) sind vorhanden. Darüber hinaus wird gezeigt, welche Unterschiede der Feuerungstechnik die verwendeten Brennstoffe erfordern.

Das Museum verfügt auch über eine Sammlung von Zeichnungen aller Dampferzeuger, die seit 1925 in Berliner Kraftwerken in Betrieb waren. Dabei soll nicht unerwähnt bleiben, dass die BEWAG und ihre Vorgängerin, die „Berliner Elektrizitätswerke AG“, in der ersten Hälfte des vorigen Jahrhunderts die Entwicklung von Hochdruckkraftwerken

### **Kombinierter Öl-Gas-Brenner**

bahnbrechend voran getrieben haben. Die aus heutiger Sicht niedrigen Dampfparameter – 32 bar und 320 °C – waren für die damalige Zeit wegweisend. Das gilt auch für die Entwicklung der Feuerungsarten – Rostfeuerung im Heizkraftwerk Charlottenburg und erstmalige Anwendung der Staubfeuerung im Heizkraftwerk Klingenberg.

In der Ausstellung werden Teile von Dampferzeugern gezeigt, die durch Erosion oder Korrosion zerstört wurden und dadurch den Ausfall des Kraftwerksblocks verursacht haben.

## MASCHINENTECHNIK

In der Anfangsphase der Stromerzeugung wurden zum Antrieb der Generatoren Kolbendampfmaschinen unterschiedlicher Bauart eingesetzt. Diese wurden ab etwa 1900 durch Dampfturbinen abgelöst, die bis heute die am weitesten verbreiteten Antriebsmaschinen bei der Stromerzeugung sind.

Das Prinzip der Gasturbine war zwar bereits seit 1791 bekannt, konnte aber technisch nicht umgesetzt werden, da hochtemperaturfeste Werkstoffe nicht zur Verfügung standen. Erst nach dem zweiten Weltkrieg setzte eine intensive Entwicklung der Gasturbinen, zunächst speziell für Flugzeugantriebe, ein. Die damit einher gehende Weiterentwicklung der Werkstofftechnik machte nun auch die Entwicklung großer Gasturbinen möglich. Zunächst wurden solche Maschinen im Kraftwerksbetrieb zur Abdeckung von Lastspitzen und als schnellstartende Reserve eingesetzt. Ein Betrieb im Grundlastbereich kam aus wirtschaftlichen Gründen nicht in Betracht: Der Wirkungsgrad der Gasturbinenanlagen ist geringer als der des Dampfkraftprozesses, außerdem benötigte man hochwertige Brennstoffe wie Heizöl oder Erdgas, während den Dampfkraftwerken minderwertige Ballastkohle genügte.

Erst in den letzten Jahrzehnten wurden in zunehmendem Maße Kombikraftwerke gebaut, auch Gas- und Dampf-(GuD)- Kraftwerke genannt. Dabei wird der heiße Abgasstrom einer Gasturbine einem Dampferzeuger (Abhitzeessel) zugeleitet und der produzierte Dampf zum Betrieb einer Dampfturbine genutzt. Auf diese Weise kann die Primärenergieausnutzung weit über die beim Dampfkraftprozess erreichbare gesteigert und damit der Einsatz des teureren Brennstoffs gerechtfertigt werden. In Berlin wird dieser moderne und umweltschonende Stromerzeugungsprozess seit 1996 im Heizkraftwerk Mitte eingesetzt. Weitere Anlagen sind geplant.

Zur Veranschaulichung zeigt das Energie-Museum Berlin eine kleine Gasturbine und ein Modell eines GuD-Kraftwerks, an dem der Besucher den Anfahrvorgang einer solchen Anlage selbst steuern kann. Vor dem Gebäude befindet sich der Turbinenläufer eines 16-MW-Dampfturbosatzes, und in der Ausstellung ist eine Vielzahl von Gas- und Dampfturbinen-Schaufeln zu sehen.

Weitere wichtige Maschinen sind Pumpen und Stellorgane. In der Ausstellung werden u.a. Kesselspeisepumpen, Regelventile, Sicherheitsventile etc. gezeigt.

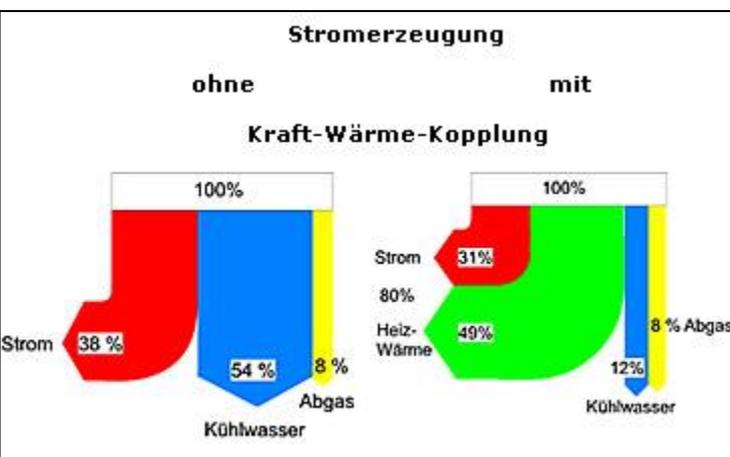


**Kesselspeisepumpe mit Getriebe**

# FERNWÄRME

Berlin hat eine lange Fernwärme-Tradition. Schon 1910 wurde das Rathaus Charlottenburg über ein Dampfnetz vom benachbarten Kraftwerk mit Wärme versorgt, und bereits 1927 wurde ein vom Kraftwerk Steglitz versorgtes Warmwasser-Fernwärmenetz für die „schornsteinlose Siedlung“ Birkbuschgarten und einige Wohngebäude am Stadtpark Steglitz aufgebaut. Heute wird in Berlin das nach Moskau zweitgrößte europäische Fernwärmesystem betrieben.

Das Thema Fernwärme wird im Energie-Museum Berlin seiner Bedeutung entsprechend im Zusammenhang mit der Kraftwerkstechnik und in einem eigenen Ausstellungsbereich dargestellt. Funktion und Entwicklung der Fernwärmeversorgung werden erläutert. Dazu gehört die Erklärung der Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) und anderer Wärmeversorgungssysteme sowie der unterschiedlichen Netzsysteme (Zwei- und Dreileiter-systeme).



Bei der Kraft-Wärme-Kopplung wird die Restwärme des Dampfes, der zuvor in den Dampfturbinen zum Antrieb der Generatoren für die Stromerzeugung entspannt wurde, über Wärmeübertrager („Wärmetauscher“) und Heizkondensatoren zur Aufheizung des Wassers der Fernheizung verwendet. Um ausreichend hohe Heizwassertemperaturen erreichen zu können, muss ein Teil des Dampfes der Turbine entnommen werden, bevor er diese vollständig durchströmt hat. Dadurch verringert sich die elektrische Leistung des Kraftwerksblocks geringfügig. Dies wird jedoch in Kauf genommen, da die Ausnutzung der Primärenergie durch die KWK stark verbessert wird. Außerdem muss die Restwärme nicht an die Atmosphäre und die Oberflächengewässer abgegeben werden, sondern kann umweltschonend zur Heizung von Gebäuden und zur Erwärmung von Brauchwasser genutzt werden.

## Vergleich Kondensationsstromerzeugung – Kraft-Wärme-Kopplung

Dazu wird das durch den KWK-Prozess im Heizkraftwerk erhitzte Wasser über leistungsgeregelte Pumpen in das Fernwärme-Rohrleitungsnetz eingespeist („Vorlauf“). Nachdem es im Wärmeübertrager („Heizkörper“) Wärme an die Kundenanlage abgegeben hat wird es zum Heizkraftwerk zurück gepumpt („Rücklauf“). Dort beginnt der Kreislauf von Neuem.

Fernwärme-Versorgungssysteme findet man hauptsächlich in Ballungsgebieten, da der Aufbau der benötigten Rohrleitungsnetze sehr kostspielig und damit nur bei hoher Wärmelastdichte wirtschaftlich ist. Aus Kostengründen werden Fernwärmeleitungen wo immer möglich oberirdisch gelegt, vor allem Leitungen großer Dimensionen, die dem Wärmetransport von den Kraftwerken in die Innenstädte dienen.

Im Fernwärme-Ausstellungsraum werden die flächenmäßige Ausdehnung der Berliner Fernwärme-Verbundnetze und die Standorte der Heizkraftwerke und Heizwerke durch Schaubilder dargestellt. Neben einer kompletten Pumpe mit Antriebsmotor werden ein Absperrschieber, ein Wellrohrkompensator zum Ausgleich der Längenausdehnungen der Rohrleitungen infolge von Temperaturunterschieden, ein Schachtdeckel und die Überwachungtafel aus der ehemaligen Zentralen Heizbetriebswarte der Bewag ausgestellt, außerdem eine Fernwärme-Übergabestation.

Die Beleuchtung des Raumes wird durch ein BEWAG-Leuchtlogo ergänzt, das von der ehemaligen Beratungsstelle am Kurfürstendamm stammt.



**Regler im Fernheizsystem, Bauart Samson**



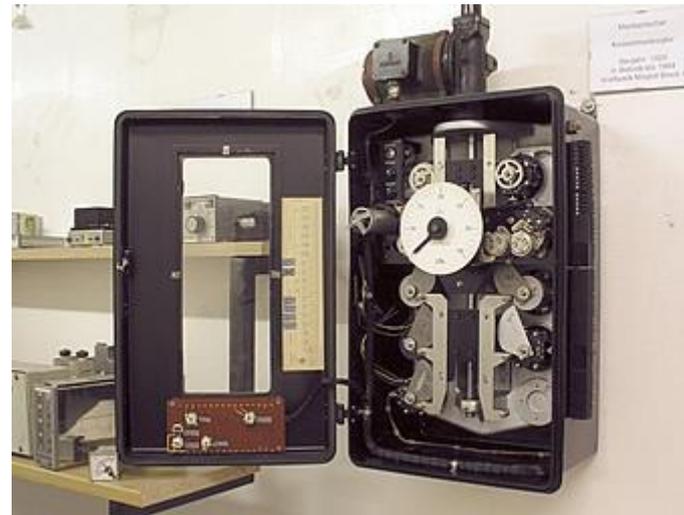
**Fernwärme-Ausstellungsraum**

## MESSEN – STEUERN – REGELN

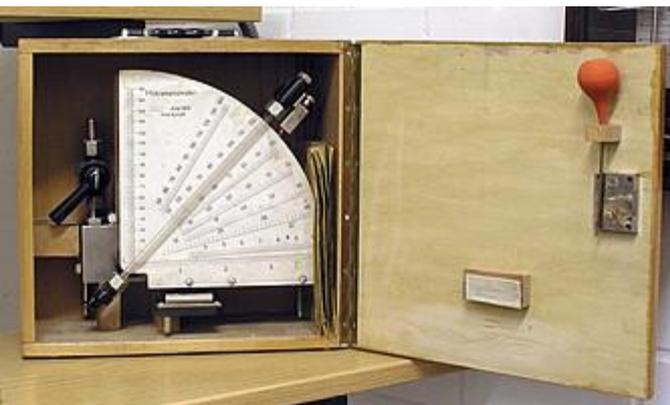
Die Kraftwerksprozesse, gleich welcher Art, sind durch eine hohe Komplexität gekennzeichnet. Um eine optimale Prozessführung zu gewährleisten – d.h. zuverlässige Erzeugung von Strom und Wärme mit minimalen Kosten und minimaler Umweltbeeinträchtigung – ist daher eine Vielzahl von Messwerten zu erfassen und zu verarbeiten, um dem Bedienungspersonal die richtigen Entscheidungshilfen für seine steuernden Eingriffe zu geben.

Manche betriebliche Vorgänge sind allerdings so komplex, dass sie durch manuelle Eingriffe nur unvollkommen beherrscht werden können. Ein Beispiel dafür ist die schnelle Änderung der ins Netz eingespeisten Leistung. Diese wird im Zeichen wachsender Einspeisung aus regenerativer

Stromerzeugung immer wichtiger, erfordert aber eine Vielzahl von Stelleingriffen in den Kraftwerksprozess, die in der richtigen Reihenfolge mit dem richtigen Gradienten erfolgen müssen. Deshalb werden automatische Regeleinrichtungen eingesetzt.



**Dampfmengenregler**



**Feinmikrometer**

Im Bereich Messen-Steuern-Regeln wird ein Überblick über die in der Kraftwerkstechnik gebräuchlichen Geräte zur Druck-, Temperatur- und Volumenstrommessung für Wasser, Dampf, Gase, Kohle und Öl gegeben. Die gezeigten Geräte lassen gut die Entwicklung vom Beginn des letzten Jahrhunderts bis heute erkennen. Außerdem werden elektrische, hydraulische und pneumatische Regelkreise dargestellt und erläutert.

## LABORTECHNIK

Der Kraftwerksbetrieb erfordert einen beträchtlichen labortechnischen Aufwand. Das betrifft den Dampfkraftprozess an sich, d.h. Wasseruntersuchungen, Brennstoffanalyse (Kohle, Heizöl, Erdgas), Untersuchung der Rauchgasqualität (Emissionen von  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$  und Staub) und Analyse der Reststoffe Asche und Gips.

Hinzu kommen metallurgische Untersuchungen an thermisch und mechanisch hoch belasteten Komponenten, z.B. Kessel- und Turbinenbauteile, um einen sicheren und störungsarmen Betrieb der Anlagen zu gewährleisten.

Die eingesetzten Brennstoffe sind nicht frei von Begleitstoffen, die zu Korrosion und zum Entstehen unerwünschter Verbrennungsprodukte führen können. Das im Dampferzeuger zirkulierende Wasser muss höchsten Reinheitsansprüchen genügen, damit Ablagerungen in den Dampferzeugerrohren vermieden werden, durch die der Wirkungsgrad verschlechtert würde. Die Reststoffe Asche und Gips müssen von gleichbleibender Qualität sein, um in der Bauwirtschaft vermarktet werden zu können. Last but not least sind die gesetzlich zulässigen Grenzwerte der Rauchgasemissionen strikt einzuhalten.

Im Bereich Labortechnik des Museums werden Mess- und Analysegeräte gezeigt, mit deren Hilfe die beschriebenen Aufgaben gelöst wurden.



**Orsat-Gerät zur manuellen Rauchgasanalyse**