

HINTERGRUNDPAPIER

Landesverband Hamburg
Landesarbeitsgemeinschaft Energie

Jörg Behrschmidt (Sprecher)
joerg.behrschmidt@hamburg.gruene.de

Christoph Schreiber (Sprecher)
christoph.schreiber@hamburg.gruene.de

Landesgeschäftsstelle Hamburg
Burchardstr. 21, 20095 HH
Fon: +49 (0) 40 399252-0
www.hamburg.gruene.de

Moorburg und Fernwärme – Klimaschutz mit Kohle?

1. Wozu dieses Hintergrundpapier?

Vattenfall und der Hamburger Senats planen, das Kohlekraftwerk Moorburg für die Versorgung des Hamburger Fernwärmenetzes zu nutzen. Die Befürworter dieses Planes argumentieren, dass so der Energiegehalt der eingesetzten Steinkohle besser genutzt wird und sich folglich sowohl die Klimabilanz des Kraftwerks als auch die der Stadt Hamburg verbessern würde.¹ Um dieses Argument zu bewerten, ist es notwendig, die Funktionsweise eines Kohlekraftwerks und der Kraft-Wärme-Kopplung grundsätzlich zu verstehen. Mit dem vorliegenden Hintergrundpapier möchten wir Nicht-Fachleuten dieses Verständnis vermitteln. Darum ist die Darstellung vereinfacht und wir verzichten auf Details, die zum Verständnis nicht unbedingt nötig sind. Das gilt auch für einige mögliche Optimierungen wie Zwischendampf oder Frischdampfüberhitzung. Außerdem arbeiten wir zum besseren Verständnis mit physikalischen Vereinfachungen. Daher sind beispielsweise die Zustände im Kreisprozeß immer nur theoretischer Art. Wichtige Angaben wie die über Wirkungsgrade entsprechen jedoch den heute bei Kraftwerken tatsächlich verwirklichten Werten.

2. Wie funktioniert ein Kohlekraftwerk?

Ein Kohlekraftwerk ist ein konventionelles Dampfkraftwerk. Es funktioniert nach einem klassischen thermodynamischen Kreisprozeß. Im Folgenden soll dieser Prozeß kurz erläutert werden.

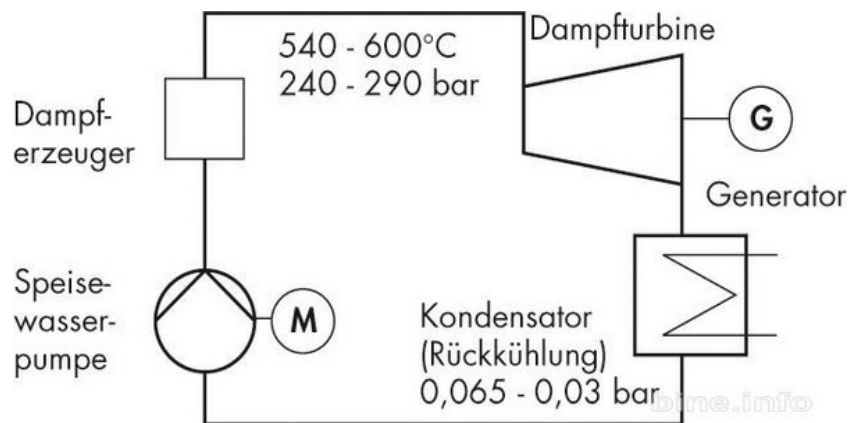
Ein Kreisprozeß sorgt dafür, daß Wärme in Arbeit (im physikalischen Sinn) umgewandelt wird. Das bedeutet im Falle eines Kohlekraftwerks, daß durch die Wärme, die bei der

1 Siehe Vattenfall 2011: 6

Verbrennung von Kohle entsteht, zunächst mechanische Arbeit und daraus wiederum über einen Generator Strom erzeugt wird. Allerdings passiert diese Umwandlung nur indirekt: Die Wärme erhitzt zunächst ein Arbeitsmedium und über die Wärmeabgabe dieses Mediums wird mittelbar der Strom erzeugt. Das Arbeitsmedium ist in der Regel Wasser.

Der Kreisprozeß hat vier Phasen:

1. Am Ausgangspunkt des Kreisprozesses wird zunächst Wasser (Temperatur ca. 10-20° C und Druck <0,1 bar) mit einer Pumpe komprimiert. Die Arbeit dieser Pumpe beansprucht einen gewissen Anteil der Kraftwerksleistung. Anschließend beträgt der Druck des Wassers ca. 250 bar.
2. Das unter Druck stehende Wasser (ca. 10-20° C, ca. 250 bar) wird nun durch Zugabe von heißem Dampf erhitzt. Dieser heiße Dampf entsteht durch die Verbrennung der Kohle. Das Wasser ist nun nicht mehr flüssig, sondern gasförmig, also Wasserdampf mit einer Temperatur von ca. 550-600° C.
3. Der Dampf (ca. 550-600°C, ca. 250 bar) wird nun in eine Dampfturbine geleitet. Diese Turbine besteht aus einer Art Propeller, den der Dampf in Drehung versetzt. Hierdurch verringert der Dampf nicht nur seine Temperatur, sondern auch seinen Druck. Die Wärmeenergie wird in mechanische Energie umgewandelt. Die Dampfturbine treibt ihrerseits über eine mechanische Achse einen Generator an (ähnlich wie ein Fahrraddynamo), der den Strom erzeugt.
4. Nachdem der Dampf einen großen Teil seiner Energie in der Turbine abgegeben hat, wird er in einem sogenannten Kondensator so weit abgekühlt und entspannt (Druckminderung), daß er kondensiert und als Wasser wieder der Pumpe zugeführt werden kann. Dies geschieht wiederum unter Abgabe von Restwärme. Der Zustand entspricht anschließend wieder dem Zustand 1 und der Kreisprozeß ist einmal durchlaufen.



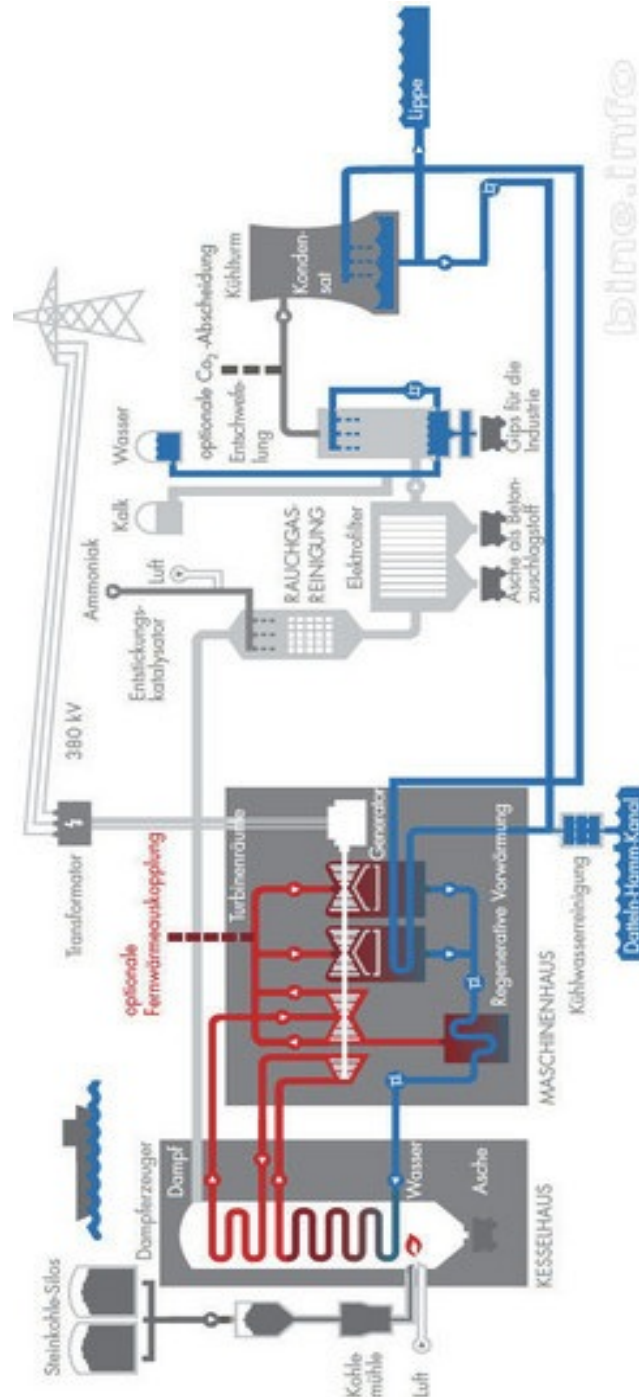
Grafik: Vereinfachte Darstellung eines Kreisprozesses

Quelle: BINE Informationsdienst

Nach dem Durchlaufen des Kreisprozesses weist das Arbeitsmedium den gleichen energetischen Zustand wie am Anfang auf. Dies bedeutet, daß genauso viel Energie zugeführt, wie entnommen wurde. Die wesentliche Eigenschaft dieses Prozesses ist also, daß mehr Wärme (thermische Energie) zu- als abgeführt wird und mehr (mechanische bzw. elektrische) Arbeit ab- als zugeführt. Allerdings kann der Prozeß nur dann funktionieren, wenn bei der Pumpe Arbeit zugeführt und im Kondensator Wärme abgeführt wird.

Das Kernstück des Kraftwerks bildet der Kessel mit dem Maschinenhaus. Im Kessel wird

der Brennstoff (in diesem Fall Kohle) verbrannt und dessen Energiegehalt als Wärme freigesetzt. In der Turbine wird die thermische Energie des Arbeitsmediums (Wasser bzw. Wasserdampf) in eine Drehbewegung umgesetzt und damit der Generator angetrieben, der den Strom erzeugt. Weitere Bestandteile eines Kraftwerks sind die Rauchgasreinigungsanlagen (zur Entstickung, Entschwefelung und Entstaubung), sowie der Kühlturm (zur Abfuhr der Abwärme in den Kondensatoren). Beim Kraftwerk Moorburg wird die Kühlung teils über einen Hybridkühlturm, teils durch Einleitung des Kühlwassers in die Elbe erfolgen.²



Grafik: Schematischer Aufbau eines Kohlekraftwerks (Kohlekraftwerk Lünen)

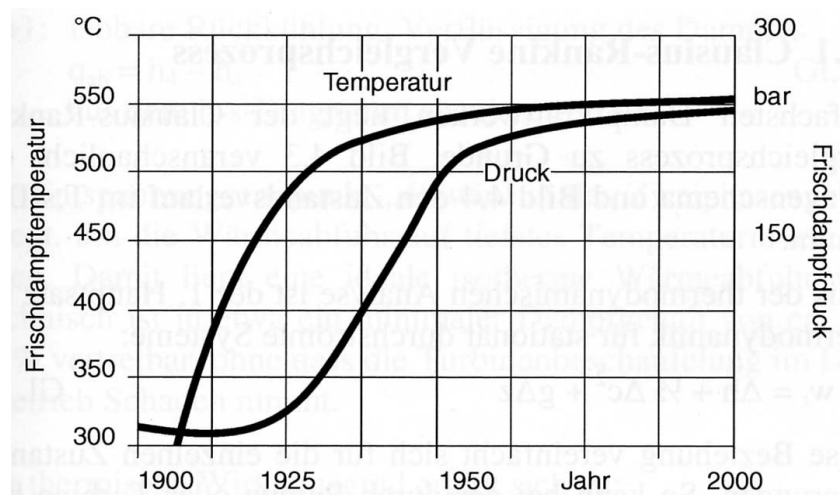
Quelle: BINE Informationsdienst

² Siehe Vattenfall 2011: 22

3. Wirkungsgrade von Kohlekraftwerken

Der Stromwirkungsgrad eines Kraftwerks ist als Verhältnis von erzeugter Stromleistung (Output) zur Verbrennungsleistung des Brennstoffes (Input) definiert. So bedeutet zum Beispiel ein Wirkungsgrad von 40 Prozent, daß 40 Prozent der in der Kohle enthaltenen Energie als Strom ins Netz eingespeist werden, während die übrigen 60 Prozent zum größten Teil als Abwärme an die Umwelt abgegeben werden. Der Wirkungsgrad wird im Wesentlichen davon bestimmt, wie groß die Differenz von Temperatur und Druck des Wassers bzw. des Wasserdampfs zwischen dem Eintritt in die Turbine und dem Austritt aus der Turbine ist. Eine Steigerung des Wirkungsgrades kann daher vor allem dadurch erreicht werden, daß die Temperatur des Dampfs, der das Arbeitsmedium erhitzt, und der Druck des Arbeitsmediums erhöht werden. Dies ist jedoch aus werkstofflichen Gründen schwierig. Daher zielen aktuelle Bestrebungen darauf ab, hochtemperatur- und hochdruckfeste Werkstoffe zu entwickeln, die solche Belastungen aushalten. Hierdurch sollen Temperaturen von 700° C und Drücke von über 300 bar erreicht werden. Natürlich gibt es auch an anderer Stelle technische Optimierungspotentiale, die aber einen wesentlich geringeren Einfluß auf den Wirkungsgrad haben.

Der Wirkungsgrad ist aufgrund von physikalischen Gesetzen (Carnot-Prinzip) grundsätzlich beschränkt und kann auch durch technische Optimierung nicht darüber hinaus gesteigert werden.

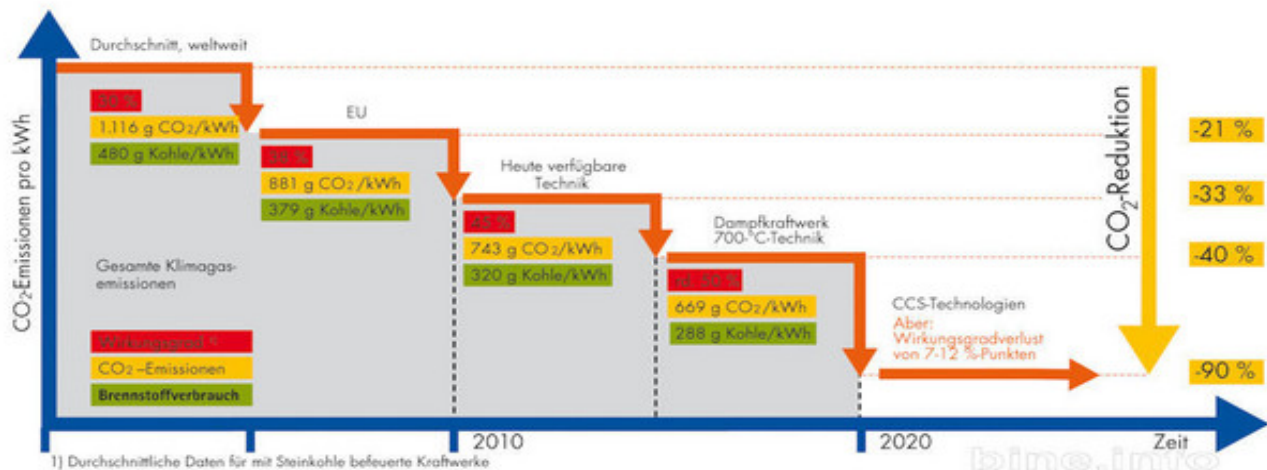


Grafik: Technische Optimierungen des 20. Jahrhunderts

Quelle: Zahoransky 2009: 28

Aktuelle Kohlekraftwerke haben Wirkungsgrade von ca. 45 Prozent. Die nicht genutzten 55 Prozent der in der Kohle enthaltenen Energie fallen als Abwärme an, wobei die meiste Abwärme durch die Kondensation des Wasserdampfes (s. Abschnitt 2, Schritt 4) verursacht wird. Der Wirkungsgrad bestehender Altanlagen liegt im weltweiten Schnitt nur bei ca. 30-32 Prozent. Für Moorburg gibt Vattenfall einen elektrischen Wirkungsgrad von 46,5 Prozent an, der allerdings nur unter optimalen Betriebsbedingungen gilt (Vollastbetrieb ohne Wärmeauskoppelung).³

³ Siehe Vattenfall 2011: 9



Grafik: Wirkungsgrade, Emissionen und Brennstoffverbrauch eines Kohlekraftwerks

Quelle: BINE Informationsdienst

4. Was bedeutet Kraft-Wärme-Kopplung?

Auch der elektrische Wirkungsgrad von gut 45 Prozent, den Kohlekraftwerke heute erreichen können, bedeutet immer noch, daß mehr als die Hälfte der eingesetzten Energie ungenutzt verloren geht. Aus physikalischen und technischen Gründen – s.o. – ist er aber nicht beliebig zu steigern. Eine Möglichkeit, die eingesetzte Energie besser auszunutzen, ist die Kraft-Wärme-Kopplung (KWK). KWK bedeutet, daß das Kraftwerk nicht nur Strom produziert, sondern zusätzlich nutzbare Wärme bereitstellt.

In einem Kohlekraftwerk, das ausschließlich Strom erzeugt, wird der Dampf bzw. das Wasser nach dem Durchlaufen der Turbine im Kondensator ungefähr auf Umgebungstemperatur (ca. 10-20° C) abgekühlt. Für eine zusätzliche Wärmenutzung (als Fernwärme oder Prozeßwärme) muß die Temperatur des Dampfes/Wassers jedoch deutlich über diesem Temperaturniveau liegen. Darum wird der Kraftwerksprozeß so gesteuert, daß der Dampf nach dem Durchlaufen der Turbine eine deutlich höhere Temperatur hat (im Fall von Moorburg⁴ ca. 140°C). Mit dieser Temperatur kann der Dampf ins örtliche Fernwärmenetz eingespeist werden.

Auf diese Weise wird die in der Kohle vorhandene Energie deutlich besser ausgenutzt. Der Gesamtwirkungsgrad, also die Summe von elektrischem und thermischem Output im Verhältnis zur eingesetzten Kohle, ist höher als bei der alleinigen Nutzung zur Stromerzeugung. Für Moorburg gibt Vattenfall einen Gesamtwirkungsgrad von 61 Prozent an, der allerdings wiederum nur unter optimalen Bedingungen erreicht werden kann.⁵

Gleichzeitig ist aber auch klar, daß bei Kraft-Wärme-Kopplung der elektrische Wirkungsgrad geringer ausfällt, denn er wird durch die Temperaturdifferenz an der Turbine bestimmt. Die für die Wärmenutzung notwendige höhere Temperatur am Ausgang der Turbine verkleinert diese Differenz. Damit verkleinert sich notwendigerweise die Menge der je Brennstoffeinheit produzierten elektrischen Energie – der elektrische Wirkungsgrad sinkt.

4 Siehe Vattenfall 2011: 17

5 Siehe Vattenfall 2011: 16

Es handelt sich also bei Wärme, die mittels Kraft-Wärme-Kopplung für das Fernwärmenetz bereitgestellt wird, nicht um „Abwärme“ die bei der Stromerzeugung übrigbleibt. Der technische Begriff der „Wärmeauskopplung“ bezeichnet besser, wie Kraft-Wärme-Kopplung funktioniert: Die Wärme wird aus dem Kreisprozeß, der die Stromerzeugung treibt, entnommen. Wenn ein Kraftwerk mit KWK die gleiche Menge an elektrischer Energie erzeugen soll wie ohne Wärmeauskopplung, dann muß man dafür mehr Brennstoff in einem zusätzlichen Kraftwerk einsetzen. Das bedeutet im Umkehrschluß: Wärme aus KWK ist weder gratis, noch ist sie emissionsfrei und klimaneutral.

5. CO₂-Bilanz eines Kohlekraftwerks

Die Auskopplung von Wärme steigert zwar den Gesamtwirkungsgrad eines Kohlekraftwerks, trotzdem bleibt die CO₂-Bilanz von Kohle im Vergleich mit anderen Energieträgern schlecht (s.Tabelle). Die liegt vor allem an der chemischen Verbindung, durch die Kohle mit einem wesentlich höheren CO₂-Ausstoß verbrannt wird als z.B. Erdgas. Als Alternative zu Kohlekraftwerken stellen sich zur Zeit Gas- und Dampf- (GuD-) Kraftwerke dar, die einen bis zu viermal geringeren CO₂-Ausstoß haben. (Gas- und Dampfkraftwerke sind nicht zu verwechseln mit Gasturbinenkraftwerken.) Vom Prinzip her funktionieren GuD-Kraftwerke ähnlich wie konventionelle Kraftwerke, jedoch ist das Arbeitsmedium nicht Wasser, sondern Gas bzw. Luft. Als Brennstoff wird häufig Erdgas oder Heizöl eingesetzt. Durch das andere Arbeitsmedium können bspw. höhere Temperaturdifferenzen realisiert werden, was u.a. den Wirkungsgrad erhöht.

6. Literatur

BINE Informationsdienst, 2011, <http://www.bine.info/hauptnavigation/themen/energieerzeugung/kraftwerke/news/wie-funktioniert-ein-kraftwerk/>

Vattenfall Deutschland, 2011, <http://www.vattenfall.de/de/moorburg.htm>

Zahoransky, Richard A., 2009, Energietechnik, Vieweg Verlag