



Leseprobe

Wilfried Knies, Klaus Schierack

Elektrische Anlagentechnik

Kraftwerke, Netze, Schaltanlagen, Schutzrichtungen

ISBN: 978-3-446-43357-1

Weitere Informationen oder Bestellungen unter

<http://www.hanser.de/978-3-446-43357-1>

sowie im Buchhandel.

2 Kraftwerke

Lernziele

Nach Durcharbeitung dieses Kapitels können Sie

- die verschiedenen Energieformen erläutern,
- den Energieumwandlungsprozeß und das Wärmeschaltbild eines Wärmekraftwerks erklären,
- die Arbeitsweise der Hauptanlagenteile eines Kohlekraftwerkes beschreiben,
- die Maßnahmen zur Minderung der Umweltbelastung bei Kohlekraftwerken erläutern,
- die bei Wärmekraftwerken erreichbaren Kraftwerkswirkungsgrade begründen,
- den prinzipiellen Aufbau der elektrischen Anlage eines Kraftwerksblockes beschreiben,
- die Arbeitsweise und Sicherheitsmaßnahmen eines Kernkraftwerkes erläutern,
- die verschiedenen Ausbauformen von Wasserkraftwerken beschreiben,
- den Aufbau und die Einsatzmöglichkeiten von Wind- und solarelektrischen Kraftwerken erläutern,
- den Einsatz der verschiedenen Kraftwerke im Bereich der öffentlichen Elektrizitätsversorgung begründen.

2.0 Energieformen

Die Natur stellt dem Menschen Energie in vielfältiger Form (z. B. Licht-, Wärme-, Kernenergie) zur Verfügung. Nur selten jedoch kann diese vom Menschen dort genutzt werden, wo sie von der Natur bereitgestellt wird. Es sind deshalb Systeme notwendig, die die verschiedenen Primärenergien in gut speicherbare und/oder transportierbare Sekundärenergien umwandeln, um diese dann an einem gewünschten Ort zu einer gewünschten Zeit in die gewünschte Nutzenergie umwandeln zu können.

Primärenergien sind:

- feste, flüssige, gasförmige Brennstoffe
- Kernbrennstoffe
- Wasserkraft
- Meeresenergie
- Windkraft
- Erdwärme
- Sonnenstrahlung
- Biomasse

Sekundärenergien sind:

- elektrische Energie
- Benzin, Heizöl
- Fernwärme

Energieformen, die unmittelbar der Natur entnommen werden, bezeichnet man als Primärenergien.

Energieformen, die zum Zwecke des besseren Transports oder der Speicherung aus Primärenergien gewonnen werden, bezeichnet man als Sekundärenergien.

Zu den wichtigsten Sekundärenergien zählt in der Bundesrepublik Deutschland neben den Kraftstoffen (25%), Heizölen (24%) und Erdgas (17%) mit fast 17% die elektrische Energie. Sie wird in Kraftwerken unterschiedlichster Art und Leistungsgröße aus fast allen Primärenergien gewonnen.

Unter allen Energieformen nimmt die elektrische Energie eine Schlüsselposition ein, da sie auf vielfältige Art wirtschaftlich erzeugt, transportiert und wieder in andere Energieformen umgewandelt werden kann.

2.1 Wärmekraftwerke

2.1.0 Allgemeines

Der größte Teil der elektrischen Energie wird in der Bundesrepublik Deutschland in Wärmekraftwerken gewonnen. Wärmekraftwerke sind Anlagen, die in mehreren Stufen

- die Energie fossiler Brennstoffe (Kohle, Öl, Gas),
 - die Energie von Kernbrennstoffen (Uran),
 - die Strahlungsenergie der Sonne,
 - die Wärmeenergie im Erdinnern
- in elektrische Energie umwandeln.

Prinzipiell arbeiten alle Wärmekraftwerke nach dem gleichen Verfahren (Bild 2.1–1): Wärmeenergie wird in einem Verdampfer in Bewegungsenergie des Dampfes umgesetzt. Der Dampf durchströmt anschließend eine Turbine und gibt dabei einen Teil seiner Energie in Form von Rotationsenergie ab. Die Turbine treibt einen Generator an, der die Rotationsenergie in elektrische Energie umwandelt. Die Restenergie des Abdampfes wird über einen Kondensator mit nachgeschaltetem Kühlsystem an die Umwelt abgegeben.

Die wesentlichen Unterschiede zwischen den verschiedenen Arten von Wärmekraftwerken liegen in der ersten Umwandlungsstufe, d. h. in der Umwandlung der Primärenergie in die Wärmeenergie des Arbeitsstoffes.

Als Arbeitsstoff verwenden Wärmekraftwerke Wasser. Dieses durchläuft bei den Energieumwandlungen einen Kreisprozeß, in welchem es sowohl in flüssiger als auch in Dampf-Form vorkommt.

Je nach Kraftwerksart können die Zustandsgrößen des Wassers folgende Werte annehmen:

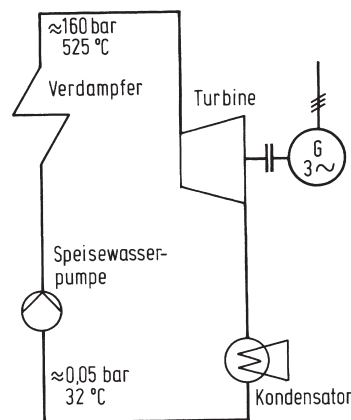


Bild 2.1–1
Prinzipialschaltplan eines Wärmekraftwerkes

Drücke: 0,05 bar ... 300 bar
Temperaturen: 290 K ... 850 K

2.1.1 Arbeitsprozeß der Dampfkraftanlage

Für den Arbeitsstoff Wasser gibt es keine exakten Gleichungen zur Bestimmung der Zustandsgrößen. Man arbeitet deshalb mit experimentell bestimmten Werten, die in Zustandsdiagrammen oder Zustandstabellen festgehalten sind. Der ideale Kreisprozeß des Wassers (Clausius-Rankine-Prozeß) wird nachfolgend anhand des T, s -Diagramms (Bild 2.1–2) erläutert.

Als spezifische Entropie wird das Verhältnis der Wärmemenge Q zur Temperatur T je kg eines Arbeitsstoffes bezeichnet. So hat z. B. bei einem Druck von 1 bar und einer Temperatur von 373 K das Wasser ($x = 0$) eine spezifische Entropie von $1,3 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$. Durch Zuführung der Verdampfungswärme steigt die spezifische Entropie bis zur vollständigen Verdampfung ($x = 1$) auf $7,3 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$ an, wobei die Temperatur konstant bleibt.

Von den Grenzkurven für $x = 0$ und $x = 1$ wird das Naßdampfgebiet umschlossen. Links von der unteren Grenzkurve liegt das Flüssigkeitsgebiet, rechts von der oberen Grenzkurve das Gebiet des überhitzten Dampfes. Die Kurven für $0 < x < 1$ geben den Anteil des Dampfes im Naßdampfgebiet an.

Wie aus dem T, s -Diagramm hervorgeht, nimmt die Siedetemperatur des Wassers mit steigendem Druck zu. Die Wärmemenge, die notwendig ist, um das Wasser zu verdampfen, nimmt mit steigendem Druck ab (Abstand zwischen der unteren und oberen Grenzkurve bei konstantem Druck und konstanter Temperatur). Im Kritischen Punkt K wird die Verdampfungswärme Null.

Es bedeuten:

T Temperatur in K

s spez. Entropie in $\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$

x Dampfgehalt

- Bei $x = 0$ liegt nur Flüssigkeit vor.
- Bei $x = 1$ liegt nur Dampf vor.
- Bei $0 < x < 1$ liegt Naßdampf vor, das heißt, ein Teil des Wassers ist flüssig, der restliche Teil ist dampfförmig.

K Kritischer Punkt

Für Wasser ist:

Kritischer Druck: $p_k = 221,2 \text{ bar}$

Kritische Temperatur: $T_k = 647,3 \text{ K}$

Zur Erklärung des T,s -Diagramms sollen folgende Verhältnisse im Verdampfer angenommen werden:

Druck im Verdampfer

$$p = 100 \text{ bar}$$

Temperatur des Speisewassers

$$T_1 = 319 \text{ K}$$

Endtemperatur des überhitzten Dampfes

$$T_4 = 740 \text{ K}$$

Damit lassen sich Temperatur, Druck und spezifische Entropie des Kreisprozesses aus dem T,s -Diagramm direkt ablesen:

- (1) Das Wasser liegt ausschließlich als Flüssigkeit vor ($T_1 = 319 \text{ K}$; $p_1 = 100 \text{ bar}$).
- (1)–(2) Das Wasser wird bis zum Siedepunkt erwärmt ($T_2 = 584 \text{ K}$; $p_2 = 100 \text{ bar}$).
- (2)–(3) Das Wasser wird verdampft ($T_3 = 584 \text{ K}$; $p_3 = 100 \text{ bar}$).
- (3)–(4) Der Dampf von 100 bar wird auf $T_4 = 740 \text{ K}$ überhitzt.
- (4)–(5) Der Dampf wird auf $p_5 = 0,1 \text{ bar}$ bei annähernd gleichbleibender Entropie entspannt. Dabei sinkt die Dampftemperatur auf $T_5 = 319 \text{ K}$. Der Dampf liegt jetzt als Naßdampf vor ($x = 0,8$).
- (5)–(6) Der Dampf wird bei konstanter Temperatur von 319 K und konstantem Druck von 0,1 bar verflüssigt (kondensiert).
- (6)–(1) Der Wasserdruck wird von $p_6 = 0,1 \text{ bar}$ auf den Verdampferdruck von $p_1 = 100 \text{ bar}$ erhöht. Hierbei erfolgt eine geringfügige Temperaturerhöhung ($\Delta T < 1 \text{ K}$), die vernachlässigt werden kann.

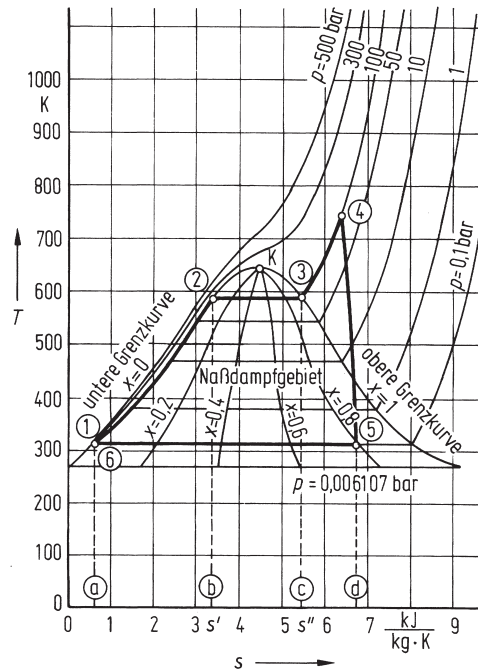


Bild 2.1-2 T,s -Diagramm des idealen Wasserdampf-Kreisprozesses bei einem Verdampferdruck von 100 bar

Die große technische Bedeutung des T,s -Diagramms liegt in der anschaulichen Darstellung der umgesetzten spezifischen Wärmemengen als Flächen unter der Kurve einer Zustandsänderung. Damit lassen sich die dem Prozeß zugeführte Wärme, die abgeführte Wärme und die gewinnbare mechanische Arbeit (Wärmewert der geleisteten Arbeit) direkt als Flächen ablesen (Bild 2.1-3):