

Abwärme: Kann man das Kühlwasser von Kraftwerken nutzen ?

von [Eberhard Wagner](#)
e-mail Eberhard.Wagner@energie-fakten.de

Hier die Fakten - vereinfachte Kurzfassung

Als Argument gegen konventionelle Kraftwerke und Kernkraftwerke wird immer wieder ihr relativ niedriger Wirkungsgrad vorgebracht: 2/3 der Energie gingen bei ihrem Betrieb verloren, man solle sie daher besser nicht nutzen. Was stimmt davon?

Die Geschichte der Wärmekraftmaschinen (insbesondere Dampfmaschinen und Dampfturbinen) ist seit ihrem Beginn ein fortwährender Kampf um eine bessere Ausnutzung der Brennstoffe. Diese Entwicklung ist auch derzeit keineswegs zu Ende. Man lernte, dass es auf eine möglichst große Temperatur-Differenz des Wasserdampfes zwischen dem Eintritt in die Wärmekraftmaschine und dem Austritt aus der Maschine ankommt: Die Dampf-Eintrittstemperatur soll möglichst hoch, die Dampf-Austrittstemperatur möglichst niedrig sein.

Um letzteres zu erreichen, wird der Dampf am „kalten En-

de“ des Prozesses soweit wie möglich abgekühlt. Maximal möglich ist dies bis in die Nähe der Umgebungstemperatur bzw. der Temperatur des verwendeten Kühlmediums. Bei den Dampfkraftwerken ist das in der Regel Wasser eines Flusses oder Sees. Bei der Abkühlung des Dampfes wird Wärme auf das Kühlmedium übertragen. Dies ist die sog. Abwärme.

In Deutschland kann man im Winter von einer Flusswassertemperatur von etwa 5 °C ausgehen. Mit dieser Temperatur tritt das Kühlwasser in das Kraftwerk ein. Im Kraftwerk wird es aufgewärmt und beim Austritt aus dem Kraftwerk hat es dann eine Temperatur von etwa 15 °C. Diese sog. „Aufwärmspanne“ von typischerweise etwa 10 °C ist in den Betriebsgenehmigungen der Kraftwerke geregelt und darf nicht überschritten werden.

Wasser mit einer Temperatur von etwa 15 °C ist für die Beheizung von Wohnräumen, Büros,

Werkstätten usw. nicht geeignet. Der höchstmöglichen Ausnutzung der Brennstoffe steht also die weitgehende Nichtverwertbarkeit der Abwärme gegenüber. Nur wenn die Abkühlung des Dampfes nicht bis in die Nähe der Umgebungstemperatur erfolgt, lässt sich die Abwärme sinnvoll zu Heizzwecken nutzen. Der Abkühlungsprozess muss quasi abgebrochen werden. Diese Technik wird in sog. Heizkraftwerken angewendet, man spricht von Kraft-Wärme-Kopplung. Der Abbruch der Dampfabkühlung ist mit Einbußen bei der Stromerzeugung verbunden. Man bekommt also auch bei dieser Technik nichts geschenkt. Bei geringem Heizwärme- oder Warmwasserbedarf, z. B. im Sommer, müssen die Heizkraftwerke weitgehend auf diese durchaus sinnvolle Doppelfunktion verzichten.

Mehr Details finden Sie in der [Langfassung](#).

Abwärme: Kann man das Kühlwasser von Kraftwerken nutzen ?

von Eberhard Wagner

e-mail Eberhard.Wagner@energie-fakten.de

Hier die Fakten - Langfassung

Die Erzeugung von Elektrizität in sog. thermischen Kraftwerken, also Kraftwerken, die mit fossilen Brennstoffen (Kohle, Gas, Öl), mit Biomasse oder mit Kernbrennstoff „befeuert“ werden, soll nach Meinung von Kritikern weitgehend uneffizient sein. Es wird das Argument der vorgeblich sehr großen Energieverluste genannt. Außerdem soll dieser Nachteil durch den generellen Bau (Energiepolitik) von Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen verhindert werden. Bei der vorgeblichen Uneffizienz spricht man von sog. ungenutzter Abwärme.

Es stellen sich deshalb die Fragen: Warum benötigen Kraftwerke Kühlwasser und warum ist Abwärme nicht nutzbar bzw. bei welchen Bedingungen wäre diese nutzbar? Ist die „Nichtnutzung“ der Abwärme gar eine „technische Böswilligkeit“ (Kostenaspekt)?

Historie

Die Geschichte der Wärmekraftmaschinen ist seit ihrem Beginn ein fortwährender Kampf um eine bessere Ausnutzung der Brennstoffe. In den Anfängen

des Einsatzes von Dampfmaschinen, wesentlich zur Entwässerung von Kohlegruben (immer tieferer Abbau), benötigte man buchstäblich eine Grube für die Dampfmaschine und nur eine andere Grube blieb für die Kohlenutzung zu anderen Zwecken. Man lernte, dass es auf eine möglichst große Temperatur-Differenz des Wasserdampfes zwischen dem Eintritt des Dampfes in eine Dampfmaschine und dem Austritt des Dampfes beim Verlassen der Maschine ankommt: Die Dampf-Eintrittstemperatur soll möglichst hoch, die Dampf-Austrittstemperatur möglichst niedrig sein. Diese Entwicklung ist auch derzeit keineswegs zu Ende.

Bei der Dampferzeugung in neuesten Großkraftwerken, z. B. im Braunkohle-Kraftwerk Niederaußem, in der Nähe von Aachen, Brutto-Leistung 1012 MW, wird ein Frischdampfzustand von etwa 580 °C bei einem Dampfdruck von etwa 274 bar erreicht. Zum Vergleich beträgt der Druck in einem Autoreifen etwa 2 bar. Die Grenzen, die man immer höher treibt, liegen bei der Ver-

fügbarekeit von hochwarmfesten Stählen. Die Entwicklung derartiger Stähle ist aufwändig, sie sind teuer, und sie bringen in der Regel auch Probleme bei ihrer Verarbeitbarkeit (z. B. Schweißbarkeit) und des Turbinenbetriebs (z. B. Wärmeausdehnung beim An- und Abfahren der Maschinen, Teillastbetrieb) mit sich. Bei Gasturbinen liegen die Gas-Eintrittstemperaturen derzeit bei etwa 1200 °C. Diese Temperaturen können allerdings nur mit raffinierten Kühlsystemen an und in den relativ kleinen Turbinenschaufeln beherrscht werden. Gasturbinen erreichen nicht die Leistungsgrößen von Dampfturbinen. Das Leistungsverhältnis der größten Maschinen beträgt etwa 1 zu 10.

Das kalte Ende

Die zweite und ebenso wichtige Quelle einer optimalen Ausnutzung von Brennstoffen – eigentliches Thema dieses Beitrages – ist das „kalte Ende“ des Dampfprozesses. Da Wasser bei Atmosphärendruck bei 100 °C verdampft, sind niedrigere Dampftemperaturen nur im Unter-

LANGFASSUNG

druckbereich möglich. Diesen erreicht man mit einem Trick: Wenn der Dampf zu Wasser kondensiert, tritt eine enorme Volumenverminderung ein. Dadurch wird der Druck entsprechend reduziert. Dieser Vorgang findet am Ausgang der Turbine im sog. Kondensator statt. Beträgt der Dampfdruck z. B. etwa 0,03 bar, liegt die Dampftemperatur nur bei etwa 24 °C. Damit sind entsprechend höhere Wirkungsgrade möglich.

Carnot-Wirkungsgrad

Die theoretisch höchstmögliche Energienutzung in einem Dampfprozess ergibt sich rechnerisch als Quotient aus der Temperaturdifferenz zwischen Dampfeintritt (T oben) und Dampfaustritt (T unten) und der Dampfeintrittstemperatur, gemessen im absoluten Temperaturmaß „Kelvin“ (z. B. 25 °C sind 298 Kelvin). Man spricht vom

$$\text{Carnot-Wirkungsgrad} = \frac{T_{\text{oben}} - T_{\text{unten}}}{T_{\text{oben}}}$$

Dieser Carnot-Wirkungsgrad könnte theoretisch bei einer idealen Maschine als Maximum erreicht werden. Er ist deshalb kleiner 100 %, weil die untere Prozesstemperatur (T unten) durch die Umgebungstemperatur begrenzt ist.

Dampfkondensation

Größtmögliche Wirkungsgrade der Umwandlung von Brennstoffen in Elektrizität werden dann erreicht, wenn die Abkühlung des Dampfes bis zur Umgebungstemperatur bzw. der Temperatur eines geeigneten Kühlmediums

erfolgt. Bei den Dampfkraftwerken ist das in der Regel Wasser eines Flusses oder Sees. In Wärmetauschern, den sog. Kondensatoren, kühlt dieses Wasser den Dampf ab. Aus technischen Gründen ist dabei das Erreichen der je nach Wetter gegebenen Kühlwassertemperatur nicht vollständig möglich. Eine kleine Temperaturdifferenz zwischen dem Dampf am Ende des Energieumwandlungsprozesses und der Umgebungstemperatur ist unvermeidbar. Diese Differenz ist ein Maß für die Güte der verwendeten Kondensatoren (Grädigkeit) und der angewendeten Kühltechnik. Die bei der Abkühlung des Dampfes vom Kühlmittel aufgenommene und damit aus dem Prozess abgeführte Wärme ist die sog. „Abwärme“. Um ihre mögliche Nutzung geht es hier.

Abwärmenutzung ?

In Deutschland kann man im Winter, z.B. im Februar als typischen Heizmonat, von einer Temperatur eines zum Kühlen genutzten Gewässers von etwa 5 °C ausgehen. Das Kühlwasser hat dann beim Austritt aus dem Kraftwerk eine Temperatur von etwa 15 °C. Diese Temperaturspanne ist in den Betriebsgenehmigungen der Kraftwerke streng geregelt.

Typische Werte für ein Großkraftwerk am Rhein mit 2500 MW Leistung sind wie folgt: Monat Februar, Wassertemperatur des Rheins etwa 5 °C, Abflussmenge des Rheins etwa 1.200 m³/s, Kraftwerk mit voller Leistung in Betrieb, Kühlwasserbedarf etwa 120 m³/s, Kühlwasser-Austrittstemperatur etwa 15 °C.

Aus diesen Werten lässt sich eine „Aufwärmung“ des Rheins von etwa 1 °C ermitteln (Wärmemengenbilanz). Die sog. Kühlwasserfahne nach dem Austritt aus dem Kraftwerksbereich ist nach einigen Fluss-Kilometern kaum noch nachweisbar.

Raumtemperatur 15 °C ?

Es wird jedermann verständlich sein, dass Wasser oder Luft mit einer Temperatur von etwa 15 °C für die Beheizung von Wohnräumen, Büros, Werkstätten usw. nicht geeignet ist. Außerdem wäre auch noch eine Verminderung der Temperatur durch einen sicherlich notwendigen Transport des Kühlwassers zu den Verbrauchern zu beachten.

Der höchstmöglichen Ausnutzung der Brennstoffe steht also die weitgehende Nichtverwertbarkeit der Abwärme (Anergie) gegenüber.

Abwärmenutzung ja, aber nur bei höheren Temperaturen !

Abwärme lässt sich generell zu Heizzwecken dann nutzen, wenn die Abkühlung des Dampfes nicht bis in die Nähe der Umgebungstemperatur erfolgt. Dazu muss der Abkühlungsprozess des Dampfes bei höheren Temperaturen (z. B. 60 bis 120 °C) und höheren Dampfdrücken (z. B. 0,2 bis 2 bar) quasi abgebrochen werden. Diese Technik wird in sog. Heizkraftwerken angewendet, man spricht von Kraft-Wärme-Kopplung (siehe dort). Der Abbruch der Dampfabkühlung ist mit Einbußen bei der Stromerzeugung verbunden. Man bekommt also auch bei dieser

LANGFASSUNG

Technik nichts geschenkt. Bei keinem oder geringem Heizwärme- oder Warmwasserbedarf, z. B. im Sommer, müssen die Heizkraftwerke weitgehend auf diese grundsätzlich sinnvolle Doppelfunktion verzichten. Sie arbeiten dann, wenn ihr Einsatz überhaupt möglich und auch notwendig ist, ohne Wärmeauskopplung als reine sog. Kondensationskraftwerke. Der hierbei erreichbare Wirkungsgrad hängt davon ab, welche untere Prozess-temperatur (umgebungsbedingt und mit der vorhandenen Kraftwerksausstattung) erreichbar ist.

Abwärmennutzung über Wärmepumpen

Eine Nutzung der Abwärme - als „Primärenergie“ - könnte über Wärmepumpen ermöglicht werden. Dabei wird unter Zufuhr von

Arbeitsenergie (z. B. in Form von Strom), Wärme von einem niederen Temperaturniveau auf ein höheres Temperaturniveau (das dann z. B. für Heizzwecke nutzbar ist) gehoben. Dieser Prozess ist umso effektiver, je kleiner der erforderliche Temperaturhub ist; 15 °C „warmes“ Kühlwasser ist also deutlich effektiver nutzbar als 5 °C „kaltes“ Flusswasser. Es hängt von den spezifischen Gegebenheiten (insbesondere von der Entfernung zwischen Kraftwerk und Heizenergieverbraucher) ab, ob die direkte Nutzung der Kraft-Wärme-Kopplung beim Kraftwerk oder der Betrieb einer Wärmepumpe mit aufgewärmtem Kühlwasser an einem Ort fern vom Kraftwerk wirtschaftlicher ist. Je größer die zu überwindende Entfernung zwischen dem Ort der Heizwärmeerzeu-

gung und dem Ort des Wärmeverbrauchs ist, desto konkurrenzfähiger ist die Installation einer Wärmepumpe am Ort des Wärmeverbrauchs.

Fazit

Ja, man kann das Kühlwasser von Kraftwerken nutzen, aber nur sehr eingeschränkt.