

# Warum haben Wärmekraftwerke einen relativ niedrigen Wirkungsgrad ?

von Eike Roth

e-mail [Eike.Roth@energie-fakten.de](mailto:Eike.Roth@energie-fakten.de)

## Hier die Fakten - vereinfachte Kurzfassung

Wärmekraftwerke sind das Rückgrat unserer Stromversorgung. Sie wandeln Wärmeenergie zunächst in mechanische Arbeit und diese dann in Strom um. Ihr Wirkungsgrad liegt typischerweise zwischen etwa 30 und 50 %. Das heißt, dass bei ihnen nur rund die Hälfte oder noch weniger der zunächst erzeugten Wärmeenergie anschließend als Strom zur Verfügung steht, der Rest geht ungenutzt in die Umgebung. „Energieverschwender“ ist daher ein häufig gehörtes Urteil, diese Kraftwerke sollten möglichst bald durch „bessere“ Kraftwerke ersetzt werden.

Aber dieses Urteil ist vor schnell. Eine genauere Betrachtung zeigt, dass der numerische Wert eines Wirkungsgrades sich vor allem aus dem Zusammenspiel von Naturgesetzen mit von Menschen festgelegten Definitionen ergibt. Dabei ist auf zwei Besonderheiten besonders zu achten: Erstens kann aufgrund physikalischer Gesetze von der

für die Stromerzeugung benötigten Energiemenge häufig nur ein Teil in Strom umgewandelt werden. Dieser Teil ist von Kraftwerkstyp zu Kraftwerkstyp verschieden groß. Und zweitens wird der nicht in Strom umwandelbare Anteil in der genauen Definition des Wirkungsgrades bei unterschiedlichen Kraftwerkstypen unterschiedlich behandelt: Mal wird er bei der Berechnung des Wirkungsgrades mit berücksichtigt, mal nicht. Weitgehend ist das historisch bedingt, wobei die Berechnungsvorschrift meist so festgelegt wurde, dass die Berechnung des Wirkungsgrades möglichst einfach ist. Das spart Arbeit beim jeweiligen Kraftwerkstyp, erschwert aber den Vergleich zwischen verschiedenen Kraftwerken erheblich. Bei Wärmekraftwerken wirkt sich die willkürliche Festlegung besonders stark aus. Ihr relativ niedriger Wirkungsgrad ist in erster Linie eine Folge der gewählten Definition und auf Basis die-

ser Definition ist er vor allem naturgesetzlich bestimmt.

Infolge der unterschiedlichen Definitionen kann anhand des Wirkungsgrades nicht entschieden werden, ob z. B. ein Wasserkraftwerk mit 85 % Wirkungsgrad, ein kohlebeheiztes Wärmekraftwerk mit 45 % Wirkungsgrad, oder ein Sonnenkraftwerk mit 15 % Wirkungsgrad „besser“ ist. Welches Kraftwerk „besser“ ist, hängt davon ab, welches Kraftwerk seinen Zweck, Strom zuverlässig, billig und umweltverträglich zu erzeugen, am besten erfüllt. Das kann durchaus auch einmal eines mit einem relativ niedrigen Wirkungsgrad sein.

# Warum haben Wärmekraftwerke einen relativ niedrigen Wirkungsgrad ?

von Eike Roth

e-mail [Eike.Roth@energie-fakten.de](mailto:Eike.Roth@energie-fakten.de)

## Hier die Fakten - Langfassung

Wärmekraftwerke sind Anlagen, die Wärmeenergie (auf dem „Umweg“ über mechanische Energie) in elektrische Energie (Strom) umwandeln. Die wichtigsten Wärmekraftwerke sind Kohle-, Gas- und Kernkraftwerke, ausserhalb Deutschlands vielfach auch Ölkraftwerke. Wärmekraftwerke stellen das Rückgrat unserer Elektrizitätsversorgung dar. Ihr Wirkungsgrad liegt im Allgemeinen etwa im Bereich von 30 bis 50 %. Daraus wird oft der Schluss gezogen, Wärmekraftwerke seien technisch unvollkommene Anlagen, gewissermaßen Energieverschwender und wir sollten sie daher durch „bessere“ Anlagen ersetzen. Um die Berechtigung dieser Forderung zu beurteilen, müssen sowohl die physikalischen Besonderheiten von Wärmeenergie als auch die Eigenheiten der vom Menschen festgelegten Definition des Wirkungsgrades berücksichtigt werden.

### Definition des Wirkungsgrades

Der Wirkungsgrad eines Kraftwerkes wird mit dem griechi-

sehen Buchstaben  $\eta$  (Eta) bezeichnet und wie folgt definiert:

$$\eta = \frac{\text{produzierte Strommenge}}{\text{eingesetzte Energiemenge}}$$

Meist wird der Wirkungsgrad in % angegeben, dann ist noch mit dem Faktor 100 zu multiplizieren.

Diese Definition gilt allgemein für jedes Kraftwerk. Sie erscheint unproblematisch, doch sind in der Praxis einige Probleme zu berücksichtigen: Zunächst einmal verbraucht ein Kraftwerk für seine Betriebsführung meist selbst Strom (Beleuchtung, Antrieb von Pumpen etc.). Setzt man in die Berechnung des Wirkungsgrades die insgesamt erzeugte Strommenge ein, so erhält man den „Brutto-Wirkungsgrad“, zieht man den elektrischen Eigenbedarf des Kraftwerkes (seinen selbst benötigten Strom) ab, so erhält man den „Netto-Wirkungsgrad“. Vergleiche sind eigentlich nur auf Basis des Netto-Wirkungsgrades sinnvoll.

Vor allem aber muss genauer gesagt werden, was man in der

Berechnung des Wirkungsgrades als „eingesetzte Energiemenge“ zu nehmen hat. Bei einem Kohlekraftwerk z. B. könnte man hierfür die in der Kohle chemisch gebundene Energiemenge nehmen, die bei der Verbrennung möglichst vollständig in Wärmeenergie und dann weiter in Strom umgewandelt werden soll. Was ist aber, wenn die Kohle nass ist und bei ihrer Verbrennung viel Energie zur Trocknung (Verdampfen des Wassers) verbraucht wird? Dann ist die zur Stromerzeugung tatsächlich nutzbare Wärmemenge kleiner als die in der Kohle chemisch gebundene Energie. Das trifft auch zu, wenn die Kohle nur unvollständig verbrennt und ein Teil unverbrannt in der Asche verbleibt oder als Kohlenstaub mit den Abgasen abgegeben wird. Auch die mit den heißen Abgasen an die Umgebung abgegebene Wärmeenergie steht für die Stromerzeugung nicht zur Verfügung. Letztlich hat man sich darauf geeinigt, bei einem konventionellen Wärmekraftwerk stets die im Brennstoff chemisch ge-

## LANGFASSUNG

bundene und bei vollständiger Verbrennung freiwerdende Energie zu nehmen, hiervon aber die Verdampfungswärme des in den Abgasen enthaltenen Wasserdampfes abzuziehen (weil diese Energie des Wasserdampfes üblicherweise über den Schornstein abgegeben und nicht mit ausgenutzt wird). Bei einem Kernkraftwerk hat man sich darauf geeinigt, stets die im Reaktor erzeugte Wärmeenergie (auf die Zeiteinheit bezogen ist das die „thermische Leistung“) der Wirkungsgradberechnung zugrunde zu legen.

Damit ist bei Wärmekraftwerken alles geregelt. Wie aber sieht es bei anderen Kraftwerken aus? Bei einem Wasserkraftwerk z. B. hat man sich darauf geeinigt, als „eingesetzte Energiemenge“ die potentielle Energie (Fallenergie) des Wassers bezogen auf die im Kraftwerk ausnutzbare Fallhöhe (nicht bezogen auf Meereshöhe oder gar auf den Mittelpunkt der Erde) zu nehmen. Bei einem Sonnenkraftwerk (Fotovoltaik) hat man sich auf die Sonnenenergie geeinigt, die auf die Kraftwerksfläche direkt und indirekt (gestreut) eingestrahlt wird. Dabei berücksichtigt man aber nicht die gesamte Fläche des Kraftwerkes, sondern nur die aktive Fläche der Solarzellen. Die Energie, die z. B. auf Wege und auf Abstandsflächen zwischen den Solarzellen (notwendig zur Vermeidung gegenseitiger Abschattungen) eingestrahlt wird, bleibt also unberücksichtigt. Bei einem Windkraftwerk wird die auf die aktive Rotorfläche entfallende kinetische Energie (Bewegungsenergie) des Windes ge-

nommen (womit z. B. der erforderliche Abstand zwischen zwei Windrädern unberücksichtigt bleibt) u. s. w. Für jeden Kraftwerkstyp hat man eigene Festlegungen getroffen. Diese sind jeweils pragmatisch für diesen Typ ausgewählt worden. Das erleichtert die Berechnung für den jeweiligen Typ, erschwert vergleichende Aussagen zwischen verschiedenen Kraftwerkstypen aber ganz wesentlich.

### Das Besondere an Wärmekraftwerken

Die bei der Verbrennung (von Kohle, Öl, Biomasse, Müll etc.) entstehende Wärme („thermische“ Energie) wird im Kraftwerk im sogenannten Dampferzeuger (Dampfkessel des Kraftwerkes) mit einem Wirkungsgrad von deutlich über 90 % auf das Wasser übertragen, das dabei verdampft. Im Wasserdampf des Wasser-Dampf-Kreislaufes des Wärmekraftwerkes findet sich also fast die ganze ursprünglich erzeugte Verbrennungswärme wieder.

Für das Weitere ist es entscheidend zu erkennen, dass Wärmeenergie grundsätzlich aus zwei Teilen besteht: Einem Teil, der Arbeitsfähigkeit enthält, das heißt, er kann in physikalische Arbeit (= mechanische Energie) und dann weiter in Strom umgewandelt werden, und einem zweiten Teil, der aus naturgesetzlichen Gründen nicht in physikalische Arbeit umgewandelt werden kann. Für die Stromerzeugung steht dieser Teil nicht zur Verfügung. In der Fachsprache der Physiker heißen der erstgenannte Teil „Exergie“ und der

zweitgenannte Teil „Anergie“. Die genaue Aufteilung auf diese beiden Teile ist keine feste Eigenschaft der Wärmeenergie, sondern hängt von den thermodynamischen Prozessparametern (Druck und Temperatur des Dampfes, allgemein des die Wärme speichernden Mediums) und von den Umgebungsrandbedingungen (vor allem von der Umgebungstemperatur) ab: Je höher die Dampftemperatur ist und je niedriger die Umgebungstemperatur ist, desto höher ist der Exergie-Anteil an der Wärmeenergie.

Der Exergie-Anteil an der Wärmeenergie lässt sich mit folgender Formel berechnen:

$$Ex = (TW - TU) / TW.$$

Darin bedeuten:

Ex den Exergie-Anteil

TW die Temperatur des die Wärmeenergie speichernden Mediums (also des heißen Dampfes) und

TU die Temperatur der Umgebung

(alle Temperaturen in Grad Kelvin, also als absolute Temperaturen angegeben (der absolute Nullpunkt liegt bei etwa -273 °C); um den Exergie-Anteil in % zu bekommen, ist noch mit dem Faktor 100 zu multiplizieren).

Die Formel zeigt klar die Zunahme des Exergie-Anteils (also des prinzipiell in Strom umwandelbaren Anteils) mit steigendem TW und mit sinkendem TU. In einem Kraftwerk will man daher eine möglichst hohe Dampftemperatur haben. Allerdings steigt mit der Dampftemperatur auch der Dampfdruck stark an. Die Grenzen sind durch die Material-

## LANGFASSUNG

festigkeit bei hohen Temperaturen gegeben. Die Geschichte der Entwicklung der Kraftwerke war und ist weitgehend eine Geschichte der Entwicklung hochwarmfester Werkstoffe. Heute sind wir bei Kohlekraftwerken bei Dampfzuständen von 540 °C und 260 bar angelangt und das ist noch keineswegs das Ende.

Der zweite Einflussfaktor auf den Exergie-Anteil ist die Umgebungstemperatur  $T_U$ . Wenn wir eine Umgebung auf der Temperatur des absoluten Nullpunktes hätten und ein Kraftwerk unter Ausnutzung dieser Temperatur betreiben könnten, würde die Anergie verschwinden und die Wärmeenergie des Dampfes wäre reine Exergie. Dann könnte die gesamte Wärmeenergie in Strom umgewandelt werden. Real gibt es aber nur deutlich höhere Umgebungstemperaturen, Wärmeenergie besteht daher in der Praxis immer aus Exergie und aus Anergie und der Wirkungsgrad kann (bei der gewählten Definition) nicht beliebig hoch werden.

Zurück zum Kraftwerk. In diesem treibt der Wasserdampf die Dampfturbine an, genauer: er versetzt die Turbine in eine Drehbewegung. Dabei wird der Exergie-Anteil der Wärmeenergie mit einem sehr hohen Wirkungsgrad (theoretisch 100 %, in der Praxis fast 100 %) in physikalische Arbeit (= mechanische Energie) umgewandelt, (diese physikalische

Arbeit wird gewissermaßen der Wärmeenergie entzogen („extrahiert“, daher der Name „Exergie“)). Die mechanische Energie wird dann über die Turbinenwelle auf den Generator (Dynamo) übertragen und dort (wieder mit einem sehr hohen Wirkungsgrad von theoretisch 100 % und in der Praxis fast 100 %) in elektrische Energie umgewandelt. Die in der Wärmeenergie enthaltene Exergie wird also fast vollständig in elektrische Energie umgewandelt. Theoretisch kann die Exergie sogar zu 100 % in elektrische Energie umgewandelt werden. Dann würde der Wirkungsgrad des Kraftwerkes dem Exergie-Anteil entsprechen<sup>1</sup>. Wie nahe man in der Praxis diesem theoretischen Grenzwert kommt, ist ein Maß für die technische Güte des Kraftwerkes.

Der Anergie-Anteil der Wärmeenergie verbleibt im Dampf. Nachdem dem Dampf in der Turbine durch Abkühlung und Entspannung seine Arbeitsfähigkeit entzogen worden ist, verlässt er die Turbine mit einer Temperatur, die nur noch knapp über der Umgebungstemperatur liegt. Die darin noch enthaltene Wärmeenergie kann daher nicht mehr genutzt (in physikalische Arbeit und dann in elektrische Energie umgewandelt) werden. Sie ist Abfall (daher der Name „Anergie“), der im Allgemeinen über Kühltürme in die Atmosphäre ab-

gegeben wird (siehe hierzu auch den Energie-Fakten-Beitrag: "[Abwärme: Kann man das Kühlwasser von Wärmekraftwerken nutzen?](#)"). Vor allem dieser unvermeidbare, aber eben nicht nutzbare Anergie-Anteil ist es, der bei der gewählten Definition den Wirkungsgrad eines Wärmekraftwerkes nach oben begrenzt<sup>2</sup>. Der tatsächliche Wirkungsgrad eines Wärmekraftwerkes liegt stets relativ knapp unter dem Exergie-Anteil, je näher am Exergie-Anteil er liegt, desto „besser“ ist das Kraftwerk. Der Abstand zwischen dem Exergie-Anteil und dem Wirkungsgrad sagt mehr über die "technische Qualität" eines Kraftwerkes aus als sein Wirkungsgrad.

### Wasserkraft

Bis zu einem gewissen Grad analog ist die Situation bei einem Wasserkraftwerk: Auch dort enthält das Wasser am Kraftwerksausgang durchaus noch potentielle Energie. Diese kann nur nicht mehr ausgenutzt werden, weil die „Umgebung“ das nicht zulässt (weil kein geeignetes Gefälle mehr vorhanden ist). Die noch vorhandene potentielle Energie (theoretisch wird die potentielle Energie erst am Mittelpunkt der Erde zu Null) wird mit dem ablaufenden Wasser aus dem Kraftwerk in die Umwelt abgegeben. Anders ausgedrückt: Die potentielle Energie des Wassers lässt

<sup>1</sup> Hinweis: Dieser theoretisch maximal mögliche Wirkungsgrad eines Wärmekraftwerkes wird zu Ehren des französischen Physikers Nicolas Leonard Sadi Carnot (1796 bis 1832) als "Carnot-Wirkungsgrad" bezeichnet.

<sup>2</sup> Manchmal findet man in der Literatur auch Angaben über den „exergetischen Wirkungsgrad“ eines Kraftwerkes. Dieser unterscheidet sich vom „normalen“ Wirkungsgrad dadurch, dass in seiner Definitionsformel bei der „eingesetzten Energiemenge“ nur der Exergie-Anteil berücksichtigt wird. Der „exergetische Wirkungsgrad“ kann theoretisch den Wert 1 erreichen und ist in der Praxis stets höher als der „normale Wirkungsgrad“.

## LANGFASSUNG

sich nur bis zum Umgebungsniveau (hier als Höhenniveau vorgegeben) abarbeiten. Und das ist ganz analog wie beim Wärmekraftwerk: Bei diesem lässt sich eben die Wärmeenergie des Dampfes nur bis zum Umgebungsniveau (hier als Temperaturniveau vorgegeben) abarbeiten. In beiden Fällen ist die im Arbeitsmedium (Wasser bzw. Wasserdampf) noch vorhandene restliche Energie nicht mehr weiter nutzbar, und sie wird an die Umgebung abgegeben. Der Unterschied besteht nur in der vom Menschen unterschiedlich festgelegten Definition des Wirkungsgrades: Während beim Wasserkraftwerk die „eingesetzte Energiemenge“ definiert ist als die in Bezug auf die Umgebung nutzbare Energiemenge, die nicht nutzbare Energiemenge also gleich wegbleibt, ist sie beim Wärmekraftwerk definiert in Bezug auf den absoluten Nullpunkt, enthält also auch den in der Praxis nicht nutzbaren Anteil. Kein Wunder, dass die errechneten Wirkungsgrade für Wasserkraftwerke viel höher sind als die für Wärmekraftwerke. Aber daraus zu schließen, dass letztere technisch weniger gut oder gar Energieverschwender wären, ist sachlich nicht zulässig. Wenn man überhaupt einen Vergleich anstellen wollte, müsste man für das Wärmekraftwerk den Wirkungsgrad nur auf Basis der Exergie berechnen („exergetischer Wirkungsgrad“, siehe auch Fußnote 2) und mit dem „normalen“ Wirkungsgrad der Wasserkraftwerke vergleichen (oder man müsste beim Wasserkraftwerk die potentielle Energie mit

Bezug auf den Erdmittelpunkt einsetzen). Dann würde das Ergebnis ganz anders aussehen. Technisch sind beide Anlagen in erster Näherung gleich gut.

### Was ist besser: Wasserkraft oder Wärmekraft?

Der Unterschied zwischen diesen beiden Kraftwerkstypen besteht vor allem darin, dass Wärmekraftwerke (jedenfalls, wenn sie mit fossilen Brennstoffen befeuert werden) ihre Primärenergieträger verbrauchen, während Wasserkraftwerke sich einer regenerativen (sich stets erneuernden) Primärenergieform bedienen. Wärmekraftwerke können wir daher nicht ewig betreiben, aber solange der Vorrat reicht (und das tut er bei den fossilen Energieträgern ziemlich sicher noch für mindestens 100 Jahre, es werden uns höchstens unsere Kinder verurteilen, weil wir wichtige Rohstoffe für Chemie- und Pharmaindustrie unwiederbringbar vernichtet (verbrannt) haben; und bei Kernkraftwerken reicht der Vorrat ohnehin für viele Jahrtausende) können wir sie in sehr großem Maßstab und praktisch überall einsetzen, während wir Wasserkraftwerke nur an wenigen, hierfür geeigneten Stellen auf der Erde und nur in dem Ausmaß einsetzen können, wie das Wasser nachrinnt.

Und des Weiteren unterscheiden sich die beiden Kraftwerkstypen vor allem hinsichtlich ihrer Risiken und Umweltauswirkungen. Nähere Angaben hierzu sind z. B. in den Energie-Fakten-Beiträgen „[Sind die deutschen Kernkraftwerke sicher?](#)“, „[Ändert der Mensch das Klima?](#)“

und „[Wie groß sind die Risiken der unterschiedlichen Stromerzeugungstechniken?](#)“ zu finden. Hier sei nur darauf hingewiesen, dass die ungelöste Entsorgungsproblematik der fossilen Energieträger (unvermeidlicher Ausstoß des klimaschädlichen CO<sub>2</sub>) deren Einsatz wahrscheinlich früher begrenzen wird, als deren prinzipiell begrenzte Vorräte.

### Wirkungsgrade anderer Kraftwerkstypen

Aber auch bei anderen Kraftwerkstypen ergeben sich naturgesetzliche Einschränkungen für den Wirkungsgrad auf Basis der jeweils festgelegten Definition. Bei einem Windkraftwerk z. B. kann die kinetische Energie des Windes nicht auf die Geschwindigkeit Null abgebaut werden, da die „verbrauchte“ Luft ja noch abströmen muss, um neuer Luft Platz zu machen. Die in der abströmenden Luft noch vorhandene kinetische Energie bleibt ungenutzt, wird in der „eingesetzten Energiemenge“ aber per Definition mit erfasst. Bei dieser Definition beträgt der theoretisch maximal erreichbare Wirkungsgrad eines Windkraftwerkes rund 59,3 %. In der Praxis werden etwa 40 % erreicht.

Auch bei der Sonnenenergie (Photovoltaik) gibt es naturgesetzliche Grenzen, weil Photonen (Lichtquanten) mit zu wenig Energie nicht zur Stromerzeugung beitragen können, und weil solche mit zu viel Energie die überschüssige Energie in hier nutzlose Wärme umwandeln. Bei der Wirkungsgradberechnung wird als „eingesetzte Energiemenge“ aber die gesamte Photonenener-

## LANGFASSUNG

gie (die auf die aktive Fläche einfällt, siehe oben) berücksichtigt. Bei Silizium als aktivem Material (dem mit Abstand am häufigsten verwendeten Material) liegt der bei dieser Definition maximal erreichbare Wirkungsgrad bei etwa 28 %. Die derzeit erreichten Werte liegen unter 15 % (einzelne Zellen erreichen auch höhere Wirkungsgrade, aber für ganze Kraftwerke sind 15 % bereits deutlich optimistisch).

In der folgenden Tabelle sind typische Wirkungsgrade zusammengestellt, wie sie bei moderner Technik heute erreicht werden. Es sei nochmals ausdrücklich darauf hingewiesen, dass Wirkungsgradvergleiche zwischen verschiedenen Kraftwerkstypen wenig Aussagekraft besitzen, da sie vor allem von willkürlich vorgenommenen definitiven Festlegungen bestimmt werden. Zum Vergleich sind auch die Wirkungsgrade von Autos und Elektromotoren angegeben.

Außerdem sei noch darauf hingewiesen, dass die Wärmekraftwerke (Steinkohle-, Braunkohle-, Erdgas-, Kernkraftwerk) bedarfsgerecht eingesetzt werden können, ihren jeweiligen Wirkungsgrad also immer erbringen können, wenn sie benötigt werden, die regenerativen Kraftwerke aber nur dann zur Verfügung stehen, wenn Wasser, Wind oder Sonne auch ausreichend verfügbar sind. In der dritten Spalte der Tabelle sind typische Werte für die auf das Jahr berechneten (Arbeits-)Verfügbarkeiten der einzelnen Kraftwerkstypen unter deutschen Verhältnissen angegeben. Dabei bedeutet z. B. eine Arbeitsverfügbarkeit von 50 %, dass das Kraftwerk bei einem fiktiven Betrieb unter ständiger Volllast in einem halben Jahr genau so viel Strom erzeugen würde, wie es mit seiner realen Leistung im ganzen Jahr erzeugt. Oder, z. B. beim Fotovoltaik-Kraftwerk bedeuten seine 10 %

Arbeitsverfügbarkeit auch, dass es im Durchschnitt nur mit 10 % seiner maximalen Leistung betrieben werden kann und selbst wenn man nur die Tageszeit als potentielle Sonnenscheinzeit berücksichtigt, selbst dann erreicht es im Mittel nur 20 % seiner maximal möglichen Leistung, mehr gibt die Sonne in Deutschland einfach nicht her.

Die Werte für die Arbeitsverfügbarkeit sind zum Teil enttäuschend niedrig. Damit aber noch nicht genug, wie schließlich die letzte Spalte der Tabelle zeigt, ist immer dann, wenn die Verfügbarkeitswerte niedrig sind, auch der Kraftwerkseinsatz zeitlich nicht oder nur bedingt planbar, weil von den Launen des Wetters abhängig. Die Verfügbarkeitspalte und die Planbarkeitspalte sagen mehr darüber aus, wie gut sich ein Kraftwerkstyp zur Stromversorgung einer modernen Volkswirtschaft eignet als die Wirkungsgradspalte. ■

Kraftwerkstyp	Wirkungsgrad in %	(Arbeits-) Verfügbarkeit in %	Kraftwerkseinsatz zeitlich planbar
Steinkohle	47	95	Ja
Braunkohle	45	95	Ja
Erdgas GuD*	58	95	Ja
Wasserkraft	85	50	Bedingt
Wind	40	20	Nein
Sonne Fotovoltaik	15	10	Nein
Solarthermisches Kraftwerk	30	10	Nein
Kernkraftwerk LWR**	35	95	Ja
Auto Benzin	20		
Auto Diesel	25		
E-Motor	95		

\* GuD = Gas- und Dampfturbine

\*\* LWR = Leichtwassereaktor