



Wasserkraft

Im Volkslied klappert sie noch, die Mühle am rauschenden Bach. Heutige Wasserkraftwerke sind technisch effizienter. In Deutschland trägt die Wasserkraft jährlich ca. 4% zur Stromversorgung bei, weltweit sind es 18%. Ein moderater Ausbau ist – unter Berücksichtigung des Naturschutzes – auch in Deutschland möglich.

EINLEITUNG

Die Kraft des fließenden Wassers als Energiequelle zu nutzen, ist eine der großen technischen Entdeckungen der Menschheit. Die frühen Hochkulturen am Indus, in China, Ägypten und Mesopotamien zeichneten sich u. a. durch enorme wasserbauliche Fähigkeiten aus. Hier wurden erstmals große Wasserräder genutzt, um Wasser für die Bewässerung neuer landwirtschaftlicher Flächen oder die Trinkwasserversorgung von Städten zu fördern. Diese Wasserräder erbrachten eine Leistung, die etwa der Tagesarbeit von 15 - 20 Tagelöhnern entsprach. Nach heutigem Verständnis waren das nur kleine Wasserkraftanlagen, damals haben sie Technikgeschichte geschrieben. Von der römischen Antike bis zum Mittelalter kamen zahlreiche neue Anwendungsgebiete für Wasserkraftmaschinen hinzu: Getreide wurde in bootsgestützten Flussmühlen gemahlen, Metalle wurden in Hammerwerken bearbeitet und Sägewerke haben die Produktion von Holzbrettern erleichtert. In den ersten Bergwerken wurden Pumpen zum Fördern des Grundwassers und die Förderanlagen mit Wasserkraft angetrieben. Erst die Erfindung der Dampfmaschine (1765) verdrängte langsam die Wasserkraft aus dem Bereich der mechanischen Arbeiten.

Ab 1830 begann man, Wasserräder durch leistungsstärkere Maschinen, die Turbinen, zu ersetzen. Diese konnten Wasser aus größeren Fallhöhen und verstärkt auch Flüsse als Energiequelle nut-

zen. Das bald beginnende Zeitalter der Elektrizität ist eng mit der Wasserkraftnutzung verbunden: Werner von Siemens entwickelte 1866 die erste Dynamomaschine nach dem elektrodynamischen Prinzip und es „begann“ die Starkstromtechnik. Thomas Alva Edison nahm 1882 in New York das erste Elektrizitätswerk in Betrieb. Nicola Tesla „entdeckte“ im gleichen Jahr den Wechselstrom und konzipierte auch das erste Wechselstromkraftwerk, das 1896 an den Niagara Wasserfällen den Betrieb aufnahm. Auch im Deutschen Reich spielten Wasserkraftwerke bei der Elektrifizierung eine wichtige Rolle. Besonders in Süddeutschland, wo keine Kohle gefördert wurde, trug sie mit etwa 70% zur Stromversorgung bei. Erst durch die Konkurrenz billiger fossiler Energien wurden dann bis in die 1980er Jahre etwa 50.000 Kleinanlagen still gelegt. Die großen Wasserkraftwerke blieben weiter in Betrieb. Seit 1990 begann in Deutschland durch die höhere Vergütung des eingespeisten Stroms aus erneuerbaren Energien und durch Förderprogramme eine Trendwende bei den Kleinanlagen. vielerorts

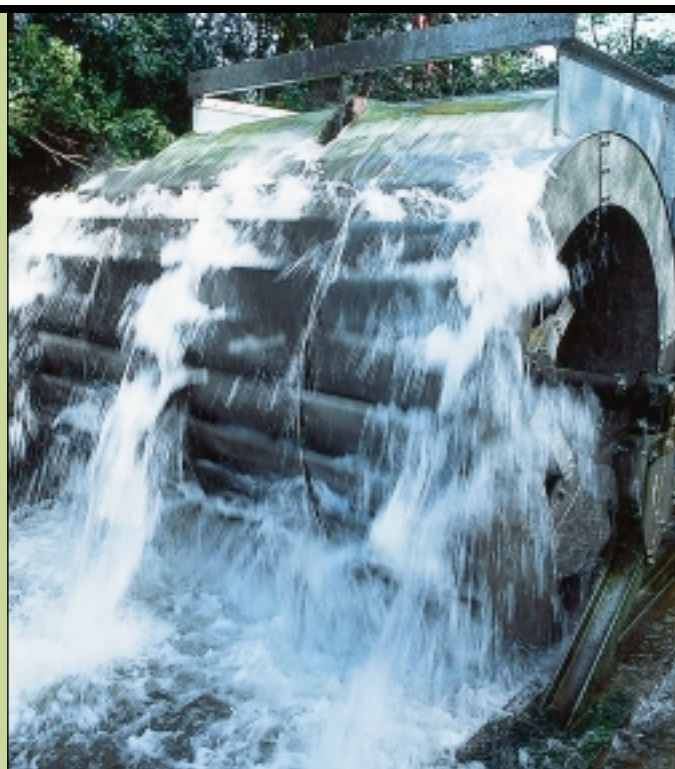


Abb. 1 Modernes Wasserkrafrad in Freiburg. Das Wasser wird mit einer Fallhöhe von 3,4 m von oben auf das Rad geleitet. Die Anlage soll pro Jahr 150.000 Kilowattstunden Strom erzeugen, was für die Versorgung von etwa 40 Vier-Personen-haushalte ausreichen würde. [Quelle: triolog]

waren Wehranlagen und Kanäle noch vorhanden und konnten – wenn es mit dem Naturschutz vereinbar war – für die Reaktivierung von Wasserkraftwerken genutzt werden. Dank der besseren Einspeisevergütung wurden auch mehr bestehende Anlagen modernisiert.

ZENTRALE BEGRIFFE

- > Wasserrad
- > Wasserturbine
- > Wasserkraftwerk

PHYSIKALISCHE GRUNDLAGEN

Wasser zirkuliert innerhalb der Erdatmosphäre in einem Kreislaufsystem. Durch die Sonnenwärme verdunstet Wasser vor allem über den Ozeanen. Es steigt als Wasserdampf in die Atmosphäre auf und fällt im globalen Durchschnitt nach etwa 10 Tagen wieder auf die Erdoberfläche zurück. Die Sonne ist der „Motor“ des Wasserkreislaufs und die Wasserkraft ist eine indirekte Nutzung der Sonnenenergie. Für die Wasserkraftnutzung ist nur der Teil des Niederschlags nutzbar, der über Land, in Gebieten mit einer Höhendifferenz zum

Meeresspiegel fällt und der in Bächen und Flüssen abfließt. Dieses Wasser enthält zwei Formen der Energie: Die Bewegungsenergie (kinetische Energie) durch das Fließen und die Lageenergie (potenzielle Energie) durch die Fallhöhe. Die unterschlächtigen Wasserräder (Abb. 2) zu Beginn der Wasserkraftnutzung haben nur die Bewegungsenergie genutzt. Die ins Wasser getauchten Schaufeln nahmen die Bewegungsenergie auf und übertrugen sie auf Rad und Welle. Erst die ca. ab dem Jahr 1200 entwickelten, überschlächtigen Wasserräder (Abb. 3)

und die später eingeführten Wasserturbinen nutzten auch die Lageenergie des Wassers. Die überschlächtigen Systeme haben sich durchgesetzt, weil sie einen höheren Wirkungsgrad erreichen. Die theoretische Leistung (P_{hyd}) einer Wasserkraftanlage hängt von folgenden Parametern ab:

$$P_{hyd} = \rho_W \cdot g \cdot Q_W \cdot H$$

Dabei ist „ ρ_W “ die Dichte des Wassers, „ g “ die Erdbeschleunigung, „ Q_W “ der Volumenstrom und „ H “ die Fallhöhe des Wassers. Die beiden letzten Faktoren geben, da sie die Verhältnisse vor Ort erfassen, den Ausschlag bei der Beurteilung von Standorten. Dies bedeutet, dass eine große Fallhöhe ein geringes Wasservolumen kompensieren kann und umgekehrt. Ein Gebirgsbach mit einer Fallhöhe von mehreren hundert Metern erzeugt trotz einer nur geringen Wassermenge möglicherweise mehr Strom als ein Flusskraftwerk mit großem Volumenstrom, aber geringer Fallhöhe.

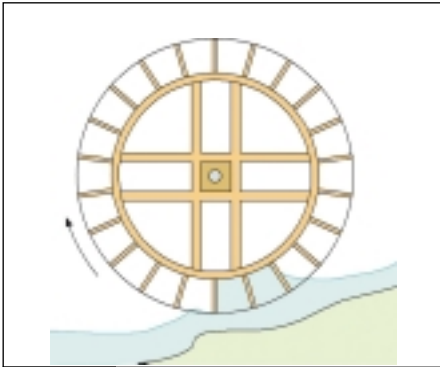


Abb. 2 Prinzip eines unterschlächtigen Wasserrades

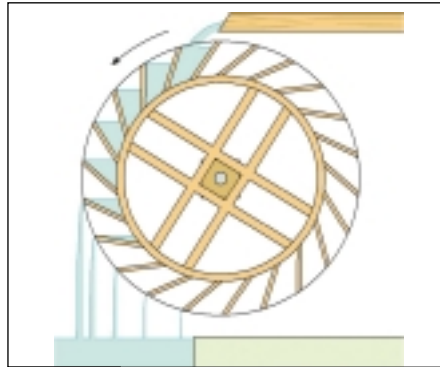


Abb. 3 Prinzip eines überschlächtigen Wasserrades
[Quelle 2,3: Bildungsverlag EINS]

ZENTRALE BEGRIFFE

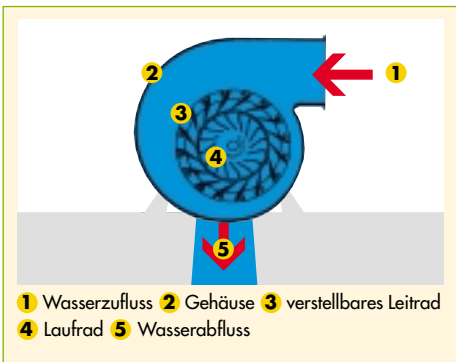
- > Wasserkreislauf
- > Bewegungsenergie
- > Lageenergie

TECHNIK

Wasserräder werden heute in Deutschland dann eingesetzt, wenn das Wasser eine geringe Fallhöhe unter 10 m aufweist (Abb. 4). In den heutigen Wasserkraftwerken werden fast ausschließlich Turbinen eingesetzt. Drei Turbinenformen (Abb. 5) haben sich auf dem Markt durchgesetzt: Kaplan-, Francis- und Pelton-turbine. Zu diesen Grundformen gibt es noch zahlreiche Varianten. Den prinzipiellen Aufbau einer Wasserkraftanlage zeigt Abb. 6. Zur Anlage gehören: Bauwerke zur Wassererfassung (Wehranlage, Staumauer, Staudamm) und zur Oberwasserzuführung (Stollen, Leitungen), ein Maschinenhaus (Turbinen, Generatoren) und die unterseitige Ableitung (Stollen, Leitungen).

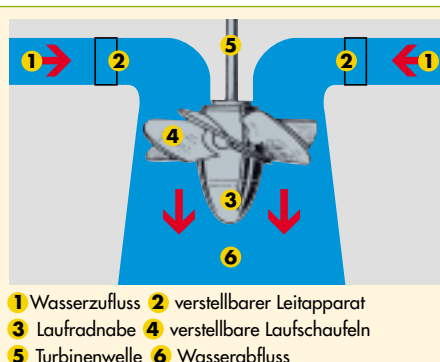
	Wasserräder (Abb. 2,3)	Wasserturbinen (Abb. 5)
Stärken	Benötigen relativ wenig Gefälle und geringe Wassermengen, wenig empfindlich gegen schwankende Wassermengen und Treibgut, wenig wasserbauliche Maßnahmen erforderlich.	Hohe Drehzahl (teilweise benötigen sie kein Getriebe), Wirkungsgrad 90% und höher, für jede Fallhöhe geeignete Turbinenform verfügbar.
Schwächen	Niedrige Drehzahl (3 - 10 U/min), benötigen Getriebe zur Übersetzung, hoher Platzbedarf, Wirkungsgrad max. 80%, für große Kraftwerke nicht geeignet.	Benötigen relativ hohes Gefälle, empfindlich gegen schwankende Wasserstände und Treibgut, umfangreiche wasserbauliche Maßnahmen erforderlich.

Abb. 4 Charakteristische technische Stärken und Schwächen von Wasserrädern und Wasserturbinen



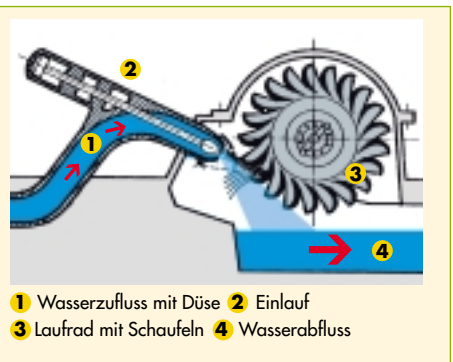
1 Wasserzufluss 2 Gehäuse 3 verstellbares Leitrad 4 Laufrad 5 Wasserabfluss

Die **Francisturbine** arbeitet mit Überdruck. Die Schaufeln des Leitrades sind verstellbar. Einsatzgebiet: 20 - 700 m Gefälle, Volumenstrom 0,3 - 1000 m³/s, Talsperren



1 Wasserzufluss 2 verstellbarer Leitapparat 3 Laufradnabe 4 verstellbare Laufschaufeln 5 Turbinenwelle 6 Wasserabfluss

Die **Kaplan-turbine** arbeitet mit Überdruck. Der Leitapparat und die Laufradschaufeln sind verstellbar. Einsatzgebiet: 2 - 60 m Gefälle, Volumenstrom 4 - 2.000 m³/s, Flüsse



1 Wasserzufluss mit Düse 2 Einlauf 3 Laufrad mit Schaufeln 4 Wasserabfluss

Die **Pelton-turbine** arbeitet unter normalem Umgebungsdruck. Das Wasser „schießt“ aus einer oder mehreren Düsen auf die becherförmigen Schaufeln des Laufrades. Einsatzgebiet: 150 - 2.000 m Gefälle, Volumenstrom 0,02 - 70 m³/s, Speicherkraftwerke im Hochgebirge

Abb. 5 Überblick über Francis-, Kaplan- und Pelton-turbine



Abb. 6 Schema eines Hochdruckkraftwerks mit Seitenkanal. Im Unterschied zur Darstellung würde man heute die Durchlässigkeit für Fische und andere Tiere durch eine Fischaufstiegsanlage in Form eines speziellen Seitenkanals ermöglichen. [Quelle: Bundesamt für Konjunkturfragen]

Wasserkraftwerke lassen sich nach unterschiedlichen Kriterien klassifizieren. Steht die Betriebsart im Vordergrund, unterscheidet man: Laufwasserkraftwerke, Speicherkraftwerke (z. B. Talsperren) und Pumpspeicherkraftwerke. Nach der Fallhöhe wird in Niederdruck- (1 - 20 m), Mitteldruck- (20 - 100 m) und Hochdruck-Anlagen (> 100 m) und nach der Leistung in Kleinkraft- (< 1 MW), Mittelkraft- (1 - 100 MW) und Großkraftwerke (> 100 MW) differenziert. Die elektrische Leistung einer Wasserkraftanlage ist abhängig von der hydraulischen Leistung und dem Wirkungsgrad von Turbine und Generator. Im Laufe eines Jahres kommen Kleinanlagen auf 4.000 - 5.000 und Großanlagen auf 4.500 - 5.700 Betriebsstunden (Volllast).

ZENTRALE BEGRIFFE

- > Turbinenformen
- > Klassifizierung

WASSERKRAFTWERKE

Ende 2002 gab es in Deutschland etwa 5.500 kleine Wasserkraftwerke (< 1 MW), die etwa 8% des Wasserkraftstroms erzeugten, und 403 mittlere oder große. Die Kleinanlagen sind meist im Besitz von Privatleuten, während die großen Anlagen Energieversorgungsunternehmen gehören. Die installierte Gesamtleistung lag 2003 bei 4.600 MW und damit wurden rund 20,4 Mrd. Kilowattstunden erzeugt (Quelle: BMU). Dieser Wert verändert sich jährlich entsprechend der jeweiligen Niederschlagsmengen, im regenreicheren Jahr 2002 lag die erzeugte Strommenge beispielsweise bei 24 Mrd. kWh. Regionale Schwerpunkte der Nutzung sind die süddeutschen Bundesländer, die Mittelgebirge und die großen Flüsse (z. B. Rhein, Donau, Mosel, Neckar und Weser).

Kleinwasserkraftanlagen (< 1 MW)



Abb. 7 Wasserkraftwerk Einsal in Altena an der Lenne (Quelle: EA-NRW)

Anlagen unter 1.000 kW Leistung werden in Deutschland als Kleinwasserkraftwerke bezeichnet. Häufig finden sich diese Anlagen an historischen Plätzen, an denen früher Mühlen betrieben wurden. Abb. 7 zeigt das Wasserkraftwerk Einsal in Altena am Fluss Lenne – ein Standort, der erstmals 1635 für ein Hammerwerk genutzt wurde. Nach einer grundlegenden Modernisierung 1998 stieg die jährliche Stromproduktion um

50% und liegt heute bei 2,4 Mio. kWh. Gleichzeitig wurde auch die Durchlässigkeit für Fische verbessert. Für die Jahresleistung einer Kleinanlage ist der Teillastbetrieb, also die Dauerleistung bei schwankendem Wasserzustrom, entscheidender als die Höchstleistung bei „optimalem“ Wasser. Die meisten Kleinwasseranlagen laufen zeitweise vollautomatisch (z. B. Entfernen des Rechengutes) oder per Fernüberwachung. Die Investitionskosten für eine Anlage liegen zwischen 8.500 und 10.000 EUR/kW (Quelle: BMU).

Große Laufwasserkraftwerke

Laufwasserkraftwerke an Flüssen (Abb. 8) zeichnen sich durch eine große zu verarbeitende Wassermenge mit nur geringer Fallhöhe aus. Im Zuge der Elektrifizierung und Industrialisierung Deutschlands im 20. Jahrhundert wurden an zahlreichen großen Flüssen für die Schifffahrt notwendige Stautufen in Kombination mit Laufwasserkraftwerken errichtet. Sie gehören wegen ihrer kontinuierlichen Betriebsweise und berechenbaren Stromproduktion zu den Grundlastkraftwerken.

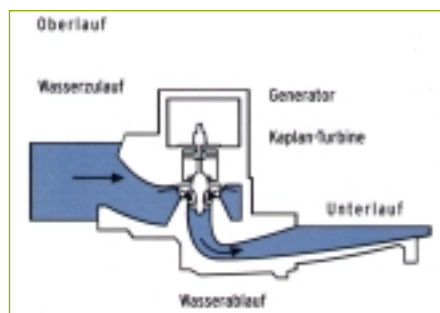


Abb. 8 Schema eines Laufwasserkraftwerks mit einer Kaplan-Turbine

Auch an Flusskraftwerken lässt sich der Wirkungsgrad mit moderner Technik noch steigern. Von 1995 - 2003 hat RWE Power

die zehn Moselkraftwerke modernisiert und mit neuer Leittechnik und Turbinenreglern ausgerüstet. Dadurch konnten die Betriebskosten gesenkt werden und die Stromproduktion stieg um 3%.

Große Speicherkraftwerke

Speicherkraftwerke (meistens Talsperren) sammeln während der regenreichen Monate das Wasser bis zu einem maximalen Fassungsvermögen. Bei Bedarf kann es dann u. a. zur Stromproduktion verwendet werden, wenn das Stromnetz eine besonders hohe Stromnachfrage verzeichnet (Spitzenlastkraftwerke). Abb. 9 zeigt, wie das Wasser durch eine Druckleitung auf die am Fuß der Staumauer befindliche Turbine herabfällt. Da die hier gespeicherten Wassermassen auch der Wasserstandsregulierung in Flüssen und der Trinkwasserversorgung dienen, ist die Stromproduktion nicht alleiniges Entscheidungskriterium.

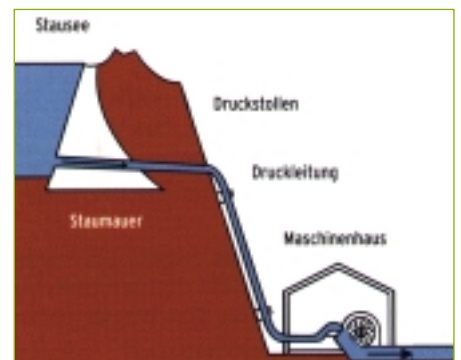


Abb. 9 Schema eines Speicherkraftwerks

Eine Sonderform sind die Pumpspeicherkraftwerke. Wenn im Stromnetz ein Überschuss herrscht, wird Wasser aus einem tiefer gelegenen Becken (Stausee) in ein höheres Becken gepumpt. Bei plötzlichem Anstieg der Stromnachfrage strömt dieses Wasser dann wieder talwärts durch die Turbinen.

Bäche und Flüsse sind zentrale Bestandteile der Natur und müssen besonders geschützt werden. Naturnahe Fließgewässer bilden die Lebensgrundlage nicht nur für Fische und Wasserpflanzen, sondern auch für Vögel, Amphibien und Insekten. Auenwälder und der Grundwasserhaushalt hängen von ihnen ab. In Deutschland gelten noch etwa 20% der Gewässerstrecken als naturnah. Diese müssen erhalten bleiben und stehen auch für eine Wasserkraftnutzung generell nicht zur Verfügung. An Gewässern, die durch frühere wasserbauliche Maßnahmen oder Einleitungen geschädigt wurden, kann eine Wasserkraftnutzung auch ökologische Vorteile bringen.

Auch Wasserkraftwerke greifen in die Gewässerökologie ein. Im einzelnen Genehmigungsverfahren müssen – abhängig von den lokalen Standortbedingungen – die schadstofffreie Energiegewinnung gegen die problematischen Auswirkungen auf das Gewässer abgewogen werden. Bei der ökologischen

Beurteilung stehen folgende Aspekte im Mittelpunkt: Wie kann trotz der Wehre und Stauwerke die Durchgängigkeit der Gewässer für wandernde Fische und andere Tiere sichergestellt werden? Wie hoch muss die erforderliche Mindestwassermenge bemessen sein, die unter allen Umständen im Fluss verbleiben muss? Wie ist der Einfluss der Wasserkraftwerke jeweils auf Ober- und Unterlauf zu bewerten? (vgl. Abb. 10)

Oft gelingt es im Rahmen der Genehmigungsverfahren für viele der genannten Problembereiche vertretbare Kompromisse zwischen Wasserkraft und Naturschutz zu finden. Durch Fischlauf- und Abstiegsanlagen, verbindliche Mindestwassermengen, Geschiebemanagement und weitere Maßnahmen kann man die Ökobilanz verbessern. In einer gesamtökologischen Betrachtung schneiden die Modernisierung bestehender Anlagen und die Reaktivierung bereits vorhandener Wehranlagen und Zuflusskanäle, z. B. an alten Mühlenstandorten, am besten ab.

Positive	Negative
CO ₂ -freie Stromerzeugung und damit Beitrag zum Klimaschutz.	Fische und andere Tiere werden in ihren Wanderungen behindert bzw. beim Turbinendurchgang geschädigt. Die Vielfalt der natürlichen Standortbedingungen wird reduziert.
Sauerstoffgehalt im Unterlauf steigt.*	Sauerstoffgehalt im Oberlauf sinkt und es kommt zu Sedimentablagerungen.
Ein Teil des Zivilisationsmülls wird aus dem Wasser entfernt.	Für das Ökosystem wichtiges Totholz und Laub wird zum Teil aus dem Wasser entfernt.
Der Wasserabfluss nach starken Regenfällen wird verlangsamt.*	Natürliche Hochwasser, wichtig z. B. für Auenwälder, werden behindert und die Verbindung zum Grundwasser erschwert.

Abb. 10 Ausgewählte Umweltauswirkungen kleiner Wasserkraftanlagen (* Argumente treffen für naturnahe Gewässer nicht zu)

LITERATUR

Ein ausführliches Literaturverzeichnis steht im BINE-Internetangebot als Download in der Rubrik Service/InfoPlus bereit oder kann kostenlos angefordert werden.

1. Bund Umwelt und Naturschutz Deutschland (BUND), Wasserkraftnutzung unter der Prämisse eines ökologischen Fließgewässerschutzes, positionen 37, Berlin 2002
2. König, Felix von; Jehle, Christoph: Bau von Wasserkraftanlagen, Heidelberg, Müller 1997, ISBN 3-7880-7584-8

Bildung & Energie im Web

www.bine.info

Unsere Informationen für Schule, Beruf und Erwachsenenbildung finden SIE unter:

www.bine.info

Dort sind in der Rubrik "Service/InfoPlus" ein Literaturverzeichnis und eine aktuelle Linkliste zum Thema eingestellt.

Ergänzende Informationen

Info-Mappen / Download

Zu den behandelten Themen ist jeweils eine kostenlose Mappe mit vertiefenden Informationen bei BINE erhältlich.

Alle Abbildungen stehen für Bildungszwecke unter www.bine.info in der Rubrik "Service/InfoPlus" kostenlos zum Download zur Verfügung oder können gegen eine Bearbeitungsgebühr von 15,-€ (V-Scheck) bei BINE angefordert werden.

▼ Herausgeber



FACHINFORMATIONSZENTRUM
KARLSRUHE

Gesellschaft für wissenschaftlich-technische Information mbH

76344 Eggenstein-Leopoldshafen

▼ Autor

Uwe Milles

▼ ISSN

1438-3802

▼ Nachdruck

Nachdruck des Textes zulässig bei vollständiger Quellenangabe und gegen Zusendung eines Belegexemplares - Nachdruck der Abbildungen nur mit Zustimmung der jeweils Berechtigten.

▼ Fachliche Beratung

Umweltbundesamt, Fachgebiet I 4.3.

Dr. Stephan Saupe

Bismarckplatz 1

14193 Berlin

▼ Stand

November 2004

BINE – INFORMATIONEN UND IDEEN ZU ENERGIE & UMWELT

BINE ist ein vom Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit geförderter Informationsdienst des Fachinformationszentrums Karlsruhe.

BINE informiert über neue Energietechniken und deren Anwendung in Wohnungsbau, Industrie, Gewerbe und Kommunen.

BINE bietet Ihnen folgende kostenfreie Informationsreihen

- Projekt-Infos
- Themen-Infos
- basisEnergie

Nehmen Sie mit uns Kontakt auf,

wenn Sie vertiefende Informationen, spezielle Auskünfte, Adressen etc.

benötigen, oder wenn Sie allgemeine Informationen über neue Energietechniken wünschen.



BINE

Informationsdienst

Fachinformationszentrum Karlsruhe

Büro Bonn

Mechenstr. 57

53129 Bonn

Fon: 0228 / 9 23 79-0

Fax: 0228 / 9 23 79-29

E-Mail: bine@fiz-karlsruhe.de

Internet: www.bine.info