

Wie verhält es sich mit der weltweiten Wasserkraftnutzung ?

von Jürgen Giesecke

e-mail Juergen.Giesecke@energie-fakten.de

Hier die Fakten - vereinfachte Kurzfassung

Das Wasserrad stellt die Urform einer Wasserkraftmaschine dar. In der Umwandlung von Lageenergie aus dem Gewicht des Wassers in Bewegungsenergie spiegelt sich eine der bewundernswerten Erfindungen des menschlichen Geistes. Zusehends wurde etwa ab Mitte des 19. Jahrhunderts aus Kostengründen und wegen der höheren Effizienz der Energieausbeute das Mühlrad als erste hydraulische Maschine durch Wasserturbinen ersetzt. In der Verbindung von Turbine und Generator entstand aus der Mühle ein Kleinwasserkraftwerk zur Erzeugung elektrischer Energie. Erst die Kombination der Nutzung natürlicher Wasserkräfte mit den Möglichkeiten der elektrischen Stromerzeugung, mit der Weiterleitung des elektrischen Stromes über große Entfernungen und mit der Umsetzung elektrischer Energie vor Ort erlaubte die vielfältige Anwendung der Wasserkraft in der Neuzeit.

Die Summe von Lageenergie (potentieller Energie) und von

Bewegungsenergie (kinetischer Energie) ergibt die Gesamtenergie des Wassers: das Wasserkraftpotenzial. In dessen Unterteilung versteht man unter dem theoretischen Potenzial das nach physikalischen Gesetzmäßigkeiten überhaupt erschließbare Energiedargebot unter der Annahme, dass der gesamte Niederschlag auf ein Flusseinzugsgebiet restlos energetisch genutzt werden könnte. Hieraus leitet sich das erschließbare Potential ab, das sich nach dem technisch Machbaren, dem Natur- und Umweltschutz, nach ökologischen und gesetzlichen Rahmenbedingungen, energie- und betriebswirtschaftlichen Vorgaben sowie nach Einbindung sonstiger ergänzender wasserbaulicher Notwendigkeiten richtet.

Ein derartiges weltweit sinnvoll erschließbares, also technisch nutzbares Wasserkraftpotenzial beläuft sich nach aktuellen Schätzungen auf 14,4 Milliarden Megawattstunden (Mrd. MWh) elektrischer Energie pro Jahr. Diesem realistischen Schätzwert

liegt eine im weltweiten Rahmen zu installierende Leistung von Wasserkraftwerken in Höhe von 2,4 Millionen Megawatt (1 MW = 1.000 kW) zugrunde. Lt. Tabelle 1 beträgt das derzeit genutzte, technisch vertretbare Wasserkraftpotenzial 2,8 Milliarden Megawattstunden, die einem Anteil von 19 % an dem sinnvoll erschließbaren Wasserkraftpotenzial entsprechen. Daher kommt der in Tabelle 1 gleichfalls ausgewiesenen, im Bau befindlichen Anlagenleistung eine große Bedeutung zu.

Allerdings ist das bei weitem noch nicht ausgeschöpfte Wasserkraftpotenzial global ungleichmäßig verteilt. In Deutschland wurden im Jahr 2004 73 % des insgesamt erschließbaren Wasserkraftpotenzials genutzt mit den Schwerpunkten Bayern (Ausbaugrad 85 %) und Baden-Württemberg (Ausbaugrad 67 %). Die Anteile aus Wasserkraft an der landesweiten Stromversorgung betragen in Europa 17 %, in der russischen Föderation 20 %, in Afrika und Asien 30 %, in

Nord- und Südamerika 78 %
und in Ozeanien 16 %.

Hieraus wird ersichtlich, dass die Wasserkraft eine regenerative, weitestgehend umweltfreundliche und im Jahresablauf recht verlässliche Energiequelle mit der höchsten relativen Energieausbeute darstellt. Unbestritten

sind im Vergleich mit anderen Energiequellen die überragenden Vorteile der Wasserkraftnutzung, die sich u.a. in der zeitlichen Verfügbarkeit, in Energiedichte, Gesamtwirkungsgrad, in Erntefaktor und Lebensdauer der Wasserkraftanlagen widerspiegeln. Dieses gilt ebenso im Hinblick

auf den Klimaschutz. Jede aus Wasserkraft erzeugte kWh vermeidet rd. 0,9 kg Kohlendioxid im Vergleich mit konventionellen fossilen Wärmekraftwerken.

Wie verhält es sich mit der weltweiten Wasserkraftnutzung ?

von Jürgen Giesecke

e-mail Juergen.Giesecke@energie-fakten.de

Hier die Fakten - Langfassung

1. Historischer Hintergrund

In der Entwicklung der Menschheitsgeschichte spielten von Anfang an örtliche Wasservorkommen und deren Nutzung sowie der Schutz gegen drohende Gefahren durch das Wasser eine ausschlaggebende Rolle. Die Geschichtsschreibung stellt vielfach die einzelnen Entwicklungsstufen in Verbindung mit dem Wasser und mit den das Wasser beherrschenden Baumaßnahmen dar. Mit „Hydraulic Civilizations“ wurden jene ersten größeren Kulturen der Menschheit bezeichnet, die sich vor Jahrtausenden schon im Flusstal des Nils, hauptsächlich in Ägypten, im Stromgebiet von Euphrat und Tigris in Mesopotamien (heutiges Staatsgebiet des Irak), sowie in den Flusslandschaften des Indus (Pakistan) und des Ho Wang Ho (China) entwickelt hatten.

Die erste von Mensch und Tier unabhängige und sich selbst erneuernde Naturkraft, die die Menschheit zu nutzen lernte, war allerdings nicht die Wasserkraft, sondern die Windenergie. Windunterstützte Schifffahrt auf

Flüssen und in Küstengewässern ist seit etwa 3000 v. Chr. belegt.

Rund 1000 Jahre später gelang die Nutzung der Wasserkraft, d.h. der dem Wasser inwohnenden Kräfte, nämlich des Arbeitsvermögens eines über den Nutzungsstandort höher gelegenen Wassers mit Umsetzung von Lageenergie (potenzieller Energie) und Bewegungsenergie (kinetischer Energie) oder Staudruck von stehendem Wasser, u.a. für die Hebung von Wasser selbst aus tiefer gelegenen Vorkommen (Flüssen, Teichen, Brunnen) und das Mahlen von Getreide. Das Vorhandensein solcher Gegebenheiten ist seinerseits Folge des durch die Sonnenenergie eingeleiteten Wasserkreislaufs mit Verdunstung, Wolkenbildung und Wolkenbewegung, schließlich mit Niederschlag und Abfluss.

2. Technik der Wasserkraftnutzung

Für die Nutzung des Wasserkraftpotenziales, d. h. für die Überführung der Wasserkraft in mechanische Arbeit, bietet sich

das Rad an. Es gestattet die Umsetzung von Wassergewicht, Wassergeschwindigkeit oder Wasserdruck in den Antrieb von Schöpfwerken, Transmissionen, Mühlsteinen, Hammerwerken, Sägen usw. Geschichtlich lässt sich beispielsweise ein wassergetriebenes Schöpfwerk in das dritte Jahrhundert v. Chr. zurückverfolgen. Nach der Beschreibung durch Philon von Byzanz wird ein derartiges, aus einer endlosen Eimerkette bestehendes Schöpfwerk durch ein an der Unterseite angeströmtes, d.h. unterschlächtiges Wasserrad mit horizontaler Achse angetrieben, dessen Leistung durch den jeweils herrschenden Wasserstrom bestimmt wird. Vitruv erwähnt in seinem etwa 20 v. Chr. erschienenen Werk sowohl strömunggetriebene Schöpfwerke als auch Anlagen zur Drehung von Mühlsteinen mit vertikaler Achse. Tritt an die Stelle eines offenen Wassergerinnes ein sog. Druckschacht, aus dem das Wasser dem Wasserrad zufließt, lassen sich größere Wirkungen (Druckhöhen) erzielen. Das einen

LANGFASSUNG

höheren Wirkungsgrad liefernde überschlächtige Wasserrad ist erst etwa im 5. Jahrhundert n. Chr. historisch in Erscheinung getreten. Bei ihm strömt das Triebwasser von oben in die am Radumfang angeordneten Becher ein.

Das Wasserrad stellt die Urform einer Wasserkraftmaschine (hydraulischen Maschine) dar. In der Umwandlung von Lageenergie aus dem Gewicht des Wassers in Bewegungsenergie spiegelt sich eine der bewundernswerten Erfindungen des Menschengeschlechtes. Zusehends wurde in der Neuzeit aus Kostengründen und wegen der höheren Effizienz der Energieausbeute das Mühlrad durch die Wasserturbine ersetzt. Mit der Verbindung von Turbine und Generator entstand aus der Mühle ein Kleinwasserkraftwerk zur Erzeugung elektrischen Stromes.

Die Erfindung der Turbinen, die dem strömenden Wasser über das Laufrad Energie entziehen, bedeutete einen großen Fortschritt in der Wasserkraftnutzung. Wasserturbinen erfuhren im 19. und 20. Jahrhundert unterschiedliche Gestaltungsformen. Erst die Kombination der Nutzung natürlicher Wasserkräfte durch eine Turbine mit den Möglichkeiten der elektrischen Stromerzeugung mittels Generator und mit der Weiterleitung des elektrischen Stromes über große Entfernungen durch Hochspannungsleitungen sowie der Umsetzung elektrischer Energie in Nutzenergie vor Ort erlaubte die vielfältige Anwendung der Wasserkraft in heutiger Zeit.

Die Leistung eines Wasser-

kraftwerkes steht in linearem Zusammenhang mit dem Produkt aus dem Turbinendurchfluss und der Druckhöhe bzw. dem Wasserspiegelunterschied vor und nach der Wasserturbine. Die Wasserkraft ist die bedeutsamste, beständigste und effizienteste regenerative, d. h. erneuerbare Energiequelle. Jede hiermit erzeugte kWh ersetzt rd. 0,9 kg Kohlendioxid, dem Klima beeinträchtigende Wirkungen zugeschrieben werden, aus der Emission Strom erzeugender fossiler Wärmekraftwerke. Zusätzlich bietet der Bau von Wasserkraftanlagen mannigfaltige Chancen für die Erfüllung einer ganzen Reihe wasserbaulicher, energiewirtschaftlicher, Natur pflegender und städtebaulicher Aufgaben im Rahmen sog. Mehrzwecknutzungen.

Neben den Wasserkraftwerken, die die „fließende Welle“ bzw. das Gefälle nutzen, werden auch Pumpspeicherkraftwerke gebaut. Hier wird das Wasser in Zeiten geringer Auslastung der Wärmekraftwerke, besonders nachts, zu reinen Brennstoffkosten aus einem unteren in ein oberes Speicherbecken hoch gepumpt und von dort in Zeiten hoher Stromnachfrage auf die unten installierten Turbinen zur Erzeugung von kostbarem Spitzenstrom geleitet. Im strengen Sinne stellt diese Vorgehensweise keine Nutzung regenerativer Energie dar.

3. Wasserkraftpotenzial, elektrische Leistung und Stromerzeugung

Die aus der Wasserkraft gewinn-

bare Energie ist die Arbeit, die das technische System einer Wasserkraftanlage aus ruhendem oder fließendem Wasser aufbringen kann. Sie wird als Wasserkraftpotenzial bezeichnet. Bei ruhendem Wasser handelt es sich um die Lageenergie (potenzielle Energie), die einem Wasserkörper relativ zu einem Bezugsniveau innewohnt und beispielsweise durch Stauhaltungen längs eines Flusslaufes in Verbindung mit Wasserkraftwerken abgearbeitet werden kann. Die Energie des fließenden Wassers, die Bewegungsenergie (kinetische Energie), wird direkt in Wasserturbinen in mechanische Energie umgewandelt. Aus der Summe von potenzieller und kinetischer Energie ergibt sich die Gesamtenergie des Wassers: eben das Wasserkraft-Potenzial.

In dessen Unterteilung versteht man unter dem theoretischen Potenzial das nach physikalischen Gesetzmäßigkeiten überhaupt erschließbare Energieangebot unter der Annahme, dass der Gesamtniederschlag auf ein Flusseinzugsgebiet restlos energetisch genutzt werden könnte. Das technische Potenzial schränkt eine derartige Nutzung auf das technisch Machbare und auf die Vorgaben gesetzlicher und ökologischer Rahmenbedingungen ein. Eine weitere Minimierung ergibt sich in der individuellen Betrachtung einer geplanten Wasserkraftanlage aus volkswirtschaftlicher Beurteilung, weswegen man von wirtschaftlichem Potenzial spricht. Aus diesem wird dann unter erneuter Reduzierung das er-

LANGFASSUNG

schließbare Potenzial abgeleitet, das aktuell nur zu verfolgen ist und sich nach Natur- und Umweltschutz, nach finanziellen Förderprogrammen und nach der Einbindung ergänzender wasserbaulicher Erschließungsinteressen richtet.

Bei der Zu- und Abführung des Wassers sowie beim Übergang von dessen Energie auf die Turbine und bei der Umsetzung derer mechanischen Energie in elektrische Energie durch den Generator treten Verluste auf, so dass bei modernen Wasserkraftanlagen etwa bis 90 % der Gesamtenergie des Triebwassers in elektrischen Strom umgewandelt werden.

4. Verfügbares Wasserkraftpotenzial im nationalen und internationalen Rahmen

Ein weltweit sinnvoll erschließbares, also technisch nutzbares Wasserkraftpotenzial beläuft sich nach aktuellen Schätzungen auf 14,4 Mrd. MWh elektrischer Energie pro Jahr. Diesem realistischen Schätzwert liegt eine wiederum im weltweiten Rahmen zu installierende Leistung von Wasserkraftwerken in Höhe von 2,4 Mio. MW zugrunde. Lt. Tabelle 1 beträgt das derzeit genutzte,

technisch vertretbare Wasserkraftpotenzial 2,8 Mrd. MWh, die einem Anteil von 19 % an dem sinnvoll erschließbaren Wasserkraftpotenzial entsprechen. Daher kommt der in Tabelle 1 gleichfalls ausgewiesenen, im Bau befindlichen Anlagenleistung eine große Bedeutung zu. An

sen Untergliederung sowohl elektrischer Leistung und Energieerzeugung anteilig aus Wasserkraft zu vermitteln, enthalten die Tabellen 1 bis 3 [1] aufschlussreiche Daten. Teilweise müssen jedoch ungenaue Zahlenwerte hingenommen werden, die im weltweiten Rahmen je nach der Qua-

	gesamte elektrische Energieerzeugung [GWh/a]	elektr. Energieerzeugung aus Wasserkraft [GWh/a]	Anteil der elektr. Energieerzeugung aus Wasserkraft [%]
Afrika	≈ 443.600	≈ 81.400	18,3
Asien mit Türkei	≈ 4.992.100	≈ 612.900	12,3
Europa	≈ 3.553.100	≈ 618.600	17,4
Russ. Föderation	≈ 890.300	≈ 175.900	19,8
Nordamerika	≈ 4.756.500	≈ 573.300	12,1
Südamerika mit Zentralamerika	≈ 801.500	≈ 525.800	65,6
Ozeanien	≈ 247.100	≈ 39.100	15,8
Welt	≈ 15.684.200	≈ 2.627.000	16,7

Tabelle 2: Weltweite elektrische Energieerzeugung

Planungen für den Neubau von Wasserkraftwerken sind ca. 300.000 MW zu nennen.

Hinsichtlich der Pumpspeicherverwerke sind weltweit aktuell 71.000 MW installiert. Hinzu kommen die Planungen von Pumpspeicherverwerken mit 34.000 MW. Allerdings ist deren Erzeugung meist nur anteilig als Nutzung erneuerbarer Wasserkraft zuzuordnen.

Um eine Vorstellung über die Größenordnung des verfügbaren Wasserkraftpotenzials und des-

lität der Erhebungen und Veröffentlichungen auf Schätzwerten beruhen. Auf jeden Fall wird deutlich, dass in Europa der Ausbau der Wasserkräfte weit fortgeschritten ist. Anders verhält es sich in Afrika, Asien, Russland und Südamerika.

Tabelle 2 zeigt den auf die Wasserkraft entfallenden Anteil der gesamten elektrischen Energieerzeugung auf. Im Jahre 2020 könnte dieser Anteil auf 28 % angehoben sein. Für Deutschland gibt Tabelle 3 (Seite 6) analog Auskunft. Auffallend ist u. a., dass Bayern rund 65 % und Baden-Württemberg rund 22 % an der auf Wasserkraft beruhenden Stromgewinnung in Deutschland beitragen.

Neben Neubauten von Wasserkraftwerken eröffnen sich zur umweltfreundlichen Stromerzeugung angesichts der technischen Fortschritte im Bau- und

	theoretisch nutzbares Wasserkraftpotential [GWh/a]	technisch nutzbares Wasserkraftpotential [GWh/a]	derzeit genutztes Wasserkraftpotential [GWh/a]	in Bau befindliche Anlagenleistung [MW]
Afrika	≈ 4.000.000	≈ 1.750.000	≈ 85.300	≈ 2.900
Asien mit Türkei und Russ. Föd.	≈ 19.400.000	≈ 6.800.000	≈ 851.600	≈ 92.000
Europa	≈ 3.200.000	≈ 1.140.000	≈ 551.700	≈ 2.800
Nordamerika mit Zentralamerika	≈ 7.200.000	≈ 1.663.000	≈ 700.000	≈ 3.400
Südamerika	≈ 6.200.000	≈ 2.815.000	≈ 557.700	≈ 16.700
Ozeanien	≈ 594.000	≈ 200.000	≈ 45.100	≈ 200
Welt	≈ 40.594.000	≈ 14.368.000	≈ 2.791.400	≈ 118.000

Tabelle 1: Weltweites Wasserkraftpotential

LANGFASSUNG

Wasserkraftpotential	technisch nutzbares [GWh/a]	2004 genutztes			
		> 1MW [GWh/a]	[%]	gesamt [GWh/a]	[%]
Baden-Württemberg	6.294	3.914	(62,2 %)	4.227	(67,2 %)
Bayern	14.400	11.403	(79,2 %)	12.315	(85,5 %)
Berlin/Brandenburg	101	4	(4,1 %)	4	(4,4 %)
Hessen	815	206	(25,2 %)	222	(27,2 %)
Mecklenburg-Vorpommern	45	2	(4,9 %)	2	(5,3 %)
Niedersachsen	350	249	(71,1 %)	269	(76,8 %)
Nordrhein-Westfalen	700	349	(49,9 %)	377	(53,9 %)
Rheinland-Pfalz	1.500	902	(60,2 %)	975	(65,0 %)
Saarland	169	154	(91,0 %)	166	(98,3 %)
Sachsen	320	75	(23,4 %)	81	(25,3 %)
Sachsen-Anhalt	362	24	(6,6 %)	26	(7,2 %)
Schleswig-Holstein	ca. 10	5	(50,0 %)	5	(54,0 %)
Thüringen	414	35	(8,4 %)	37	(9,0 %)
Deutschland gesamt	ca. 25.480	ca. 17.322	(68,0 %)	ca. 18.707	(73,4 %)

Tabelle 3: Wasserkraftpotential (Lauf- und Speicherwasser) in der Bundesrepublik Deutschland 2004

Maschinenwesen zahlreiche Möglichkeiten, auch bei bestehenden Anlagen durch Ausbau-, Modernisierungs- und Optimierungsmaßnahmen die seitherige Energiegewinnung beträchtlich zu steigern. ■

Literatur

- [1] Giesecke, J. und E. Mosonyi: Wasserkraftanlagen – Planung, Bau und Betrieb, Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg 2005, 4. Auflage, 830 Seiten

Links

- Welche Bedeutung hat die Wasserkraft für Deutschland ?
- Inwiefern haben Pumpspeicherkraftwerke eine Bedeutung für die Sicherheit der Stromversorgung ?
- Das Meer als unerschöpfliche Energiequelle ?
- Wieso gelten Sonne, Wind und Wasser als erneuerbar ?
- Potenziale regenerativer Energien - Was ist realistisch machbar ?
- Wird künftig in Deutschland mehr oder weniger Strom aus Wasserkraft erzeugt ? (in Vorbereitung)