"Sledge" <Sledge@come-on.de>

Thomas Göken und Christopher Eineke

Alternative Energiequellen

2. Wasserkraft

Weltweit werden derzeit etwa 5 % des Bedarfs an Primärenergie und 20 % des Bedarfs an elektrischer Energie aus Wasserkraft gedeckt. Das nutzbare Potential an Wasserkraft ist jedoch fünfmal so groß, so daß Wasserkraftwerke einen wichtigen Beitrag zur Lösung des Weltenergieproblems leisten können. Geographisch sind die Wasserkräfte allerdings sehr unterschiedlich verteilt: Rund zwei Drittel des auf der Erde nutzbaren Potentials an Wasserkraft liegen in Ländern der dritten Welt. Die größten Wasserkraftwerke - an der installierten Leistung gemessen - befinden sich durchweg außerhalb Europas: Die Rangliste führt neuerdings das brasilianische Kraftwerk ITAIPú am Parana mit einer Kapazität von 12600MW. Die weiteren Plätze belegen Anlagen in Nord- und Südamerika, Asien oder Afrika. Erst auf Platz 13 erscheint - als einziges europäisches Wasserkraftwerk unter den ersten 25 - Kuybischew an der Wolga mit 2563MW. Deutschland nutzt seine Wasserkräfte derzeit schon zu etwa 70 % für die Stromerzeugung. Das sind im Durchschnitt 18 Mrd. kWh jährlich. Die Elektrizitätswirtschaft schätzt, daß bis Anfang des nächsten Jahrtausends eine weitere Steigerung auf 20 Mrd. kWh jährlich möglich wäre. Rein technisch ließen sich noch etwa weitere 7 Mrd. kWh nutzen, doch müßten dann vielfach Gesichtspunkte des Landschaftsschutzes und auch betriebswirtschaftliche Überlegungen zurückstehen. Bei den Wasserkraftanlagen der öffentlichen Elektrizitätsversorgung in den alten Bundesländern bietet sich nach Art, Anzahl und Leistung folgendes Bild (Bild siehe letzten Seiten). Insgesamt verfügen die öffentlichen Elektrizitätserzeuger damit in den alten Bundesländern über 604 Kraftwerke, die mit einer installierten Leistung von 3728MW Strom aus natürlicher Wasserkraft erzeugen (die reinen Pumpspeicher-Kraftwerke ohne natürlichen Zufluß nicht mitgerechnet). Daneben gibt es noch 97 industrielle Eigenanlagen mit 225MW, 9 Wasserkraftwerke der Bundesbahn mit 189MW und schätzungsweise 3700 andere Eigenanlagen mit 376MW. Der Geographie entsprechend liegen die meisten Wasserkraftwerke im Süden Deutschlands: An der Donau mit ihren Nebenflüssen Iller, Lech, Isar und Inn, sowie an Rhein, Mosel, Neckar und Main. In den fünf neuen Bundesländern gibt es weniger Möglichkeiten zur Nutzung von Wasserkräften als im westlichen Teil. So wurden 1990 in den alten Bundesländern knapp 4 % der öffentlichen Stromversorgung durch Wasserkraftwerke bestritten, während im Osten der entsprechende Anteil nur bei 0,4 % lag, also zehnmal geringer war. Der Hauptgrund dafür ist in der Topographie zu suchen: Flüsse wie Elbe, Oder und Saale haben ein weniger günstiges Gefälle als Rhein, Main oder Donau. Insgesamt gibt es in den fünf neuen Bundesländern 7 größere Laufwasser-Kraftwerke (ab 1MW) mit einer installierten Leistung von 14,3MW, 1 Speicherwasser-Kraftwerk mit 0,7MW sowie 7 Pumpspeicherwerke (davon drei mit natürlichem Zufluß). Wasserkraftwerke sind nicht gerade billig, aber robust und wartungsarm, so daß sie auf längere Sicht sehr rentabel arbeiten.

Arten von Turbinen

Francis-Turbine: Bei der Francis-Turbine wird das Wasser durch ein feststehendes "Leitrad" mit verstellbaren Schaufeln auf die gegenläufig gekrümmten Schaufeln des Laufrads gelenkt. Da das Wasser vor dem Eintritt in die Turbine unter höherem Druck steht als nach dem Austritt spricht man auch von einer Überdruckturbine.
Pelton- oder Freistrahlturbine: Bei der Pelton- oder Freistrahlturbine wird ausschließlich die Bewegungsenergie des Wassers genutzt, das aus einer oder mehreren Düsen auf die becherförmigen Schaufeln des Laufrads trifft. Da das Antriebswasser nach dem Austritt aus der Düse auf Umgebungsdruck entspannt wird, spricht man auch von einer Gleichdruck-Turbine. Die Pelton-Turbine wird in Wasserkraftwerken mit sehr hohen Fallhöhen (bis 1800m) bei vergleichsweise geringen Wassermengen eingesetzt. Sie ist typisch für Speicherwasser-Kraftwerke im Hochgebirge.
Ein Nachteil von Fourneyrons Reaktions-Turbine war, daß sich beim Übergang des Wassers aus dem innen angebrachten Leitwerk in den Schaufeln des Laufrads Turbulenzen ergaben, die bremsende Wirkung hatten. 1837 kam der Deutsche Karl Anton Henschel auf die Idee, dies zu vermeiden, indem er die Leitschaufeln oberhalb des Laufrads statt in dessen Zentrum anordnete. Weitere Verbesserungen ersannen der Amerikaner Samuel B. Howd, der 1838 das Laufrad ins Innere des Leitwerks verlegte, sowie der Engländer James Thomson, der verstellbare Leitschaufeln und gekrümmte Laufradschaufeln einführte. 1849 konstruierte der anglo-amerikansiche Ingenieur James B. Francis auf diesen physikalischen Grundlagen eine auch technisch verbesserte Turbine, die einen Wirkungsgrad von rund 90 % erreichte. Von ihm hat die Francis-Turbis ihren Namen, die heute die verbreitetste und am universellsten verwendbare Turbinenart ist. Die größten Francis-Laufräder erreichen ein Gußgewicht von ca. 150

"Sledge" <Sledge@come-on.de>

t und eine Leistung von über 700MW. Die Francis-Turbine kann auch als Pumpe arbeiten. Dies macht man sich in den Pumpspeicher-Kraftwerke zunutze, wo eine Francis-Turbine und der Generator häufig zu sog. Pumpturbine vereinigt sind, die sich wahlweise auf (stromverbrauchenden) Pumpbetrieb oder (stromerzeugend) Generatorbetrieb umstellen läßt.
Kaplan-Turbine: Für geringe Wasserdrücke bei großen Durchflüssen wurde aus der Francis-Turbine die Kaplan-Turbine entwickelt. Bei ihr lassen sich sowohl die Schaufeln des Laufrads wie auch die des Leitwerks verstellen. Das Laufrad gleicht einem Schiffspropeller. Weiterentwicklungen sind die Rohr-Turbine für besonders geringe Fallhöhen und die Straflo-Turbine, bei der der Generator und Turbine eine Einheit bilden. Speziell für geringe Wasserdrücke entwickelte zu Beginn der zwanziger Jahre der österreichische Ingenieur Viktor Kapla die nach ihm benannte Kaplan-Turbine. Ihr Laufrad gleicht einem Schiffspropeller, durch dessen verstellbare Schaufeln die Wassermassen strömen und - umgekehrt wie beim Schiffsantrieb - den Propeller antreiben. Das Leitwerk der Kaplan-Turbine lenkt die einströmende Wassermassen so, daß sie parallel zur Welle der Turbine auf die drei bis sechs Schaufeln des Laufrads treffen. Sowohl die Laufradschaufeln als auch das Leitwerk sind verstellbar. Dies ermöglicht das Anpassen an Schwankungen der Wasserführungen und des Gefälles. Große Kaplan-Turbinen werden vor allem vertikal eingebaut, so daß das Wasser von oben nach unten durchströmt. Die äußerst schnellaufende Turbine weist in einem weiten Belastungsbereich einen Wirkungsgrad von 80 bis 95 % auf.
Rohr-Turbinen: Für niedrige Fallhöhen wurde aus der Kaplan-Turbine die Rohrturbine entwickelt, die in Laufwasser-Kraftwerken Leistungen bis 75MW erzielt. Die Rohrturbine werden horizontal, in der Richtung des strömenden Wasser, eingebaut, so daß Umlenkverluste weitgehend vermieden werden. Der Generator befindet sich in Verlängerung der Turbinenwelle in einem vom Wasser umströmten, wasserdichten Gehäuse. Rohrturbinen sind platzsparend und ermöglichen deshalb hervorragend die landschaftliche Einpassung von Wasserkraftwerken.
Die Leistung einer Turbine errechnet sich aus dem Produkt der Erdbeschleunigung (9,81 m/sec²) mit der Fallhöhe des Wassers (in m), dem Durchfluß durch die Turbine (in m³/sec) und dem Wirkungsgrad. Um einen optimalen Wirkungsgrad zu erzielen, muß man die Turbine den unterschiedlichen Fallhöhen und Wasserdurchflußmengen angepaßt sein. Die größte Verbreitung hat die Francis-Turbine, deren Einsatzbereit sich nach oben mit dem der Pelton-Turbine und nach unten mit der Kaplan-Turbine überschneidet. Welche Turbine im konkreten Fall gewählt wird, hängt nicht nur von der nutzbaren Fallhöhe des Wassers ab, sondern auch vom Wasserdurchfluß und anderen Faktoren.

Die Geschichte der Turbine

Die Vorläufer unserer heutigen Turbinen waren Wasserräder, wie sie bereits um das Jahr 3500 v.Chr. in Mesopotamien zum Schöpfen von Wasser verwendet wurden. Auch Inder, Ägypter und Chinesen kannten diese Technik. Im Römischen Reich fanden Wasserräder vielfältige Verwendung für Göpelwerke, Getreidemühlen, Sägewerke, Schöpfvorrichtungen und sonstige Zwecke. Die Durchmesser der Räder erreichten bis zu 30 Metern. Die älteste Form des Wasserrads ist das "Stoßrad", das mit seinen Schaufeln horizontal in den Fluß eintaucht. Hier wird ausschließlich die Bewegungsenergie des Wassers genutzt. Daraus abgeleitet ist das "unterschlächtige" Wasserrad, bei dem zwischen Ein- und Austritt des Wassers eine leichte Höhendifferenz besteht und so neben der Bewegungsenergie auch die Schwerkraft bzw. der Druck des Wassers von der Bergseite her genutzt wird. Anders beim "oberschlächtigen" Wasserrad, das im Mittelalter entwickelt wurde: Hier fließt das Wasser von oben auf die muldenförmigen Schaufeln, so daß das Rad hauptsächlich durch das Gewicht des Wassers angetrieben wird. Als Mischform mit vorwiegender Nutzung der Lageenergie wäre noch das "mittelschlächtige" Wasserrad zu erwähnen.

Die verschiedenen Arten von Wasserkraftwerken
Nach der Betriebsweise unterscheidet man Laufwasser- und Speicherwasser-Karftwerke. In einem Fall (Flüsse) wird die zur Verfügung stehende Energie des Wassers kontinuierlich, im andern (Talsperre) nach Bedarf zur Stromerzeugung genutzt. Man kann die Wasserkraftwerke aber auch nach der Fallhöhe unterscheiden: Im Bereich bis etwa 25 m spricht man von Niederdruckkraftwerken und über 100 m von Hochdruckkraftwerken. Im Niederdruckbereich werden außer der Pelton-Turbine alle Turbinenkonstruktionen in sehr unterschiedlichen Einbauvarianten verwendet. Im Mitteldruckbereich verwendet man hauptsächlich senkrecht angeordnete Kaplan-Turbinen oder auch - je nach Wasserdurchfluß und Fallhöhe - Francis-Turbinen. Die Hochdruckkraftwerke schließen sich eine Domäne der Francis- und Pelton-Turbine, wobei letztere um so eher eingesetzt werden. Je höher die Fallhöhe bei relativ geringer Wassermenge ist.