

3 Technische Grundlagen

Entlang eines Gewässerlaufs ändern sich die Fließverhältnisse infolge natürlicher Veränderungen, wie Gefällewechsel, Felsbarrieren, Schluchtstrecken, aber auch infolge menschlicher Eingriffe. Schon vor Jahrhunderten wurden Wehre in Flüssen errichtet, um Triebwasser für die Mühlen des aufblühenden Gewerbes auszuleiten. Mit Beginn des 19. Jahrhunderts entwickelte sich der ingenieurtechnische Gewässerausbau unter den Anforderungen einer wachsenden Bevölkerung, des rasch steigenden Energiebedarfs durch die zunehmende Industrialisierung (Bild 3.1) sowie dem dringenden Bedarf an Verkehrswegen. Zeugnisse darüber geben u. a.:

- Die Längskorrekturen zur Landgewinnung sowie zum Hochwasserschutz.
- Die Sohlensicherung durch Querbauwerke, um Eintiefungen zu verhindern.

- Ab 1830 Inbetriebnahme von Wasserkraftanlagen mit Turbinen zur Erzeugung mechanischer Energie.
- Ausbau der größeren Flüsse für die ganzjährige Schifffahrt.
- Seit 1890 Errichtung von Wasserkraftanlagen zur Erzeugung von elektrischem Strom.

In Deutschland sind von insgesamt etwa 400.000 Gewässerkilometern 75 % künstlich verändert. Davon entfallen über 5.000 km auf die Flussabschnitte der Bundeswasserstraßen. Einen Einblick in die Intensität des Ausbaus von Fließgewässern an verschiedenen Flüssen gibt Tabelle 3.1. Von Wasserbauwerken können insbesondere Staubauwerke und Wasserentnahmen die Abwärtswanderung der Fische beeinträchtigen, wobei die wesentlichen dieser Anlagen nachfolgend beschrieben werden.



Bild 3.1: Der Ausschnitt aus der Schleenstein'schen Karte aus den Jahren 1705 - 1710 mit einem Abschnitt der Pfiel, einem Zufluss der Fulda, dokumentiert die ehemalige Dichte von Mühlenwehren im Bereich der Stadt Spangenberg

Tabelle 3.1: Staubauwerke in ausgewählten Fließgewässern

Gewässer	Flusslänge [km]	Anzahl Querbauwerke	Mittlerer Abstand [km]	Funktion						Autor Bemerkungen
				B	E	K	S	Si	So	
Elbe (Deutschland)	727	1	-					1		
Fulda (Hessen)	219	86	2,5	4	27	47	5	3		SCHWEVERS et al., 2000
Donau (Bayern)	378	22	17,2		22		6			209 km Bundeswasserstraße
Jagst (Baden-Würtem.)	114	34	3,4	1	31				2	SILIGATO et al., 2000
Lahn (Hessen/Rheinland-Pfalz)	165	56	2,9	17	25		3		11	SCHWEVERS & ADAM, 1996
Lech (Deutschland)	166	39	4,4	3	30			1	13	
Main (Oberfranken)	167	31	5,4		21	5		2	3	STROHMEIER, 1998 Roter Main & Main bis Viereth
Main (Bundeswasserstraße)	381	35	10,9		31		35			BORN, 1995
Mosel (Bundeswasserstraße)	245	12	20,4		12		12			
Neckar (Bundeswasserstraße)	203	27	7,5		24		27			
Rhein (Hochrhein)	170	13	13,1		11		2		2	Konstanz bis Basel
Rhein (Oberrhein)	164	16	10,2		2		7		14	Basel bis Iffezheim
Ruhr (Nordrhein-Westfalen)	214	85	2,5	7	45	33	11	3		DUMONT et al., 2002
Weser (Bundeswasserstraße)	227	8	28,4		6		8		1	
Wupper (Nordrhein-Westfalen)	113	32	3,5	6	10	16				

Legende:
 B Ausleitung von Brauchwasser, Kühlwasser, Bewässerung o.ä.
 E Energieerzeugung
 K keine erkennbare Funktion, aufgelassen
 S Schifffahrtsausbau
 Si Sicherung von Bauwerken (Brücken)
 So Sohlenstützung, Grundwasseranhebung

3.1 Sohlenbauwerke

Gemäß DIN 4047 sind Sohlenbauwerke quer zur Fließrichtung angeordnete Bauwerke, die eine Erosion der Gewässersohle verhindern sollen. Nach Bauform und Höhenlage zur Flusssohle werden Schwellen wie Grund- und Sohlenschwellen von Sohlenstufen wie Sohlenrampe und -absturz unterschieden (Bild 3.2, Bild 3.3). Über alle Sohlenbauwerke fließt ständig Wasser, so dass sie kein Hindernis für stromabwärts wandernde Fische darstellen.

Muss zur Sohlensicherung auch der Wasserspiegel angehoben werden, sind Stützwehre erforderlich, deren Überlaufkronen über der oberstromigen Gewässersohle liegt. Bei Stützschwelen oder Stützwehren ragt der Baukörper so hoch über die Sohle hinaus, dass über seiner Krone ein Fließwechsel auftritt. Das überfallende Wasser bildet jedoch in der Regel ein genügend tiefes Wasserpolster, das abwandernden Fischen eine schadloose Passage ermöglicht.

3.2 Staustufen

Staustufen sind gemäß DIN 4048 Stauanlagen, die im wesentlichen nur den Fluss, und nicht aber die ganze Talbreite absperren. Ihre Absperrbauwerke sind Wehre mit Stauhaltungsdämmen oder Deichen. Je nach Aufgabe sind weitere Bauwerke, wie Wasserkraftwerke, Schiffs- und Bootsschleusen oder Kanaleinläufe angegliedert.

3.2.1 Wehre

Ein Wehr ist ein Absperrbauwerk, das der Hebung des Wasserspiegels und meist auch der Regelung des Abflusses dient (DIN 19700, Teil 13). Der Bau von Wehren geht auf eine lange Tradition zurück. Eine der ältesten Anlagen in Deutschland ist das Wehr Hameln an der Weser, das um 1.000 n. Chr. errichtet wurde und das in seiner heutigen Form auf das Jahr 1900 zurück geht (DVWK 1996). Im Laufe der Zeit entstand eine Vielzahl von Konstruktionstypen, von denen nachfolgend nur die Gebräuchlichsten beschrieben werden.

Die Technik unterscheidet zunächst zwischen festen und beweglichen Wehren. Feste Wehre sind solche ohne bewegliche Verschlüsse. Unter beweglichen

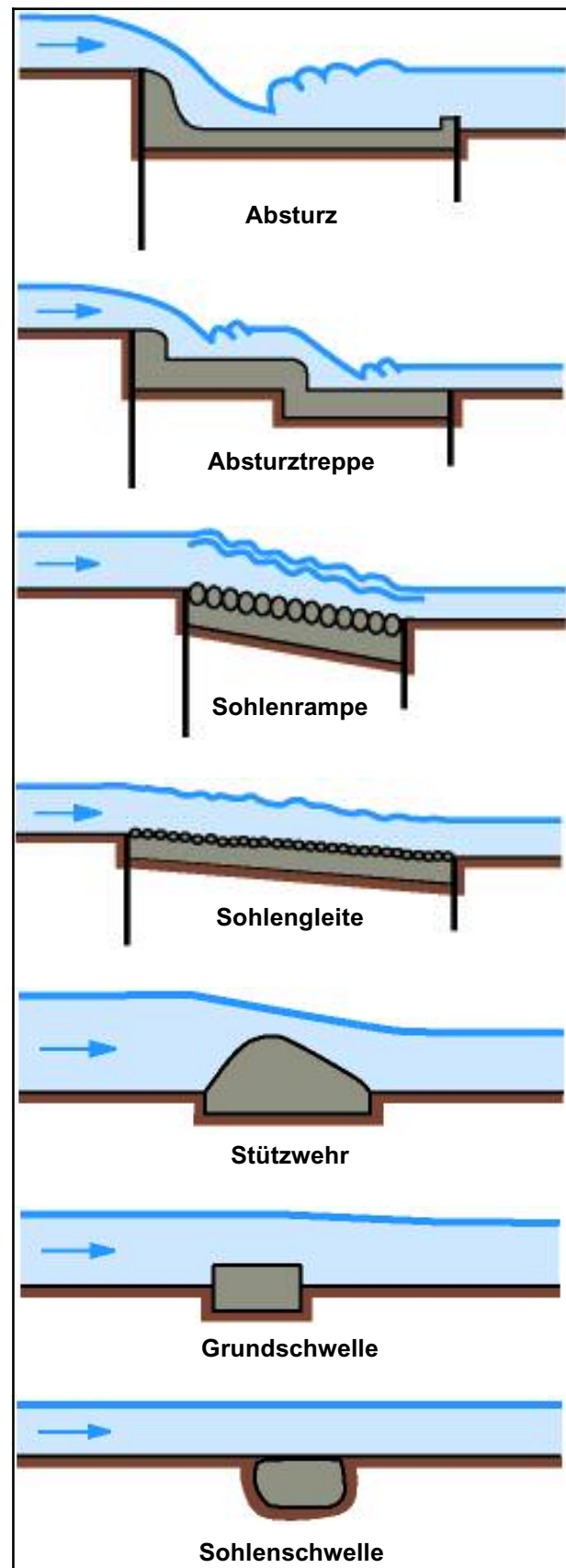


Bild 3.2: Typen von Sohlenbauwerken (nach: DIN 4047, Teil 5)

Bild 3.3:
Absturztreppe am Lech
südlich von Augsburg
(Bayern)



Bild 3.4:
Kulturwehr Kehl
am Rhein
(Baden-Württemberg)



Bild 3.5:
Schützenwehr Egel
an der Bode
(Sachsen-Anhalt)



Wehren werden Anlagen mit verstellbaren Verschlüssen verstanden, mit deren Hilfe Wasserspiegellage und Abfluss geregelt werden können. Reguliert der Wasserspiegel eines Wehres in erster Linie den korrespondierenden Grundwasserstrom, wird die Anlage als Kulturwehr bezeichnet (Bild 3.4).

Zu den einfachsten beweglichen Wehre zählen Schützenwehre (Bild 3.5). Die Schützen sind ebene Verschlusswände aus Holz, Stahl oder Beton, die mittels eines Hubwerkes hochgezogen werden. Bei Altanlagen und kleineren Wehrbauwerken sind sie die gängige Bauweise.

Sind größere Abflüsse zu beherrschen, wird das Wehr zur Begrenzung der Abmessungen der Verschlüsse, zur Optimierung der Antriebskräfte und zur Erhöhung der Betriebssicherheit in mehrere Wehrfelder unter-

teilt. Zur Abflussregulierung müssen die Verschlüsse abgesenkt oder aus dem Wasser gezogen werden. Dadurch entsteht eine Über- oder Unterströmung des Wehrverschlusses.

Zu den Wehrverschlüssen, die sich absenken lassen gehören Stauklappen, Sektorwehre, Trommelwehre sowie Doppelklappen (Dachwehre) (Bild 3.6). Walzenwehre, die mit Versenkwalzen ausgerüstet sind, können ebenfalls unter die Normalstellung abgesenkt werden, um Eis oder Treibgut abzugeben (Bild 3.7, Bild 3.8). Dies gilt auch für zweiteilige Verschlüsse, die aus einem Grundelement und einem aufgesetzten, absenkbaaren Element bestehen (Bild 3.9). Beispiele hierfür sind Druck- und Zugsegmente mit aufgesetzter Stauklappe (Bild 3.10), Haken-doppelschütz und Doppelschütz.

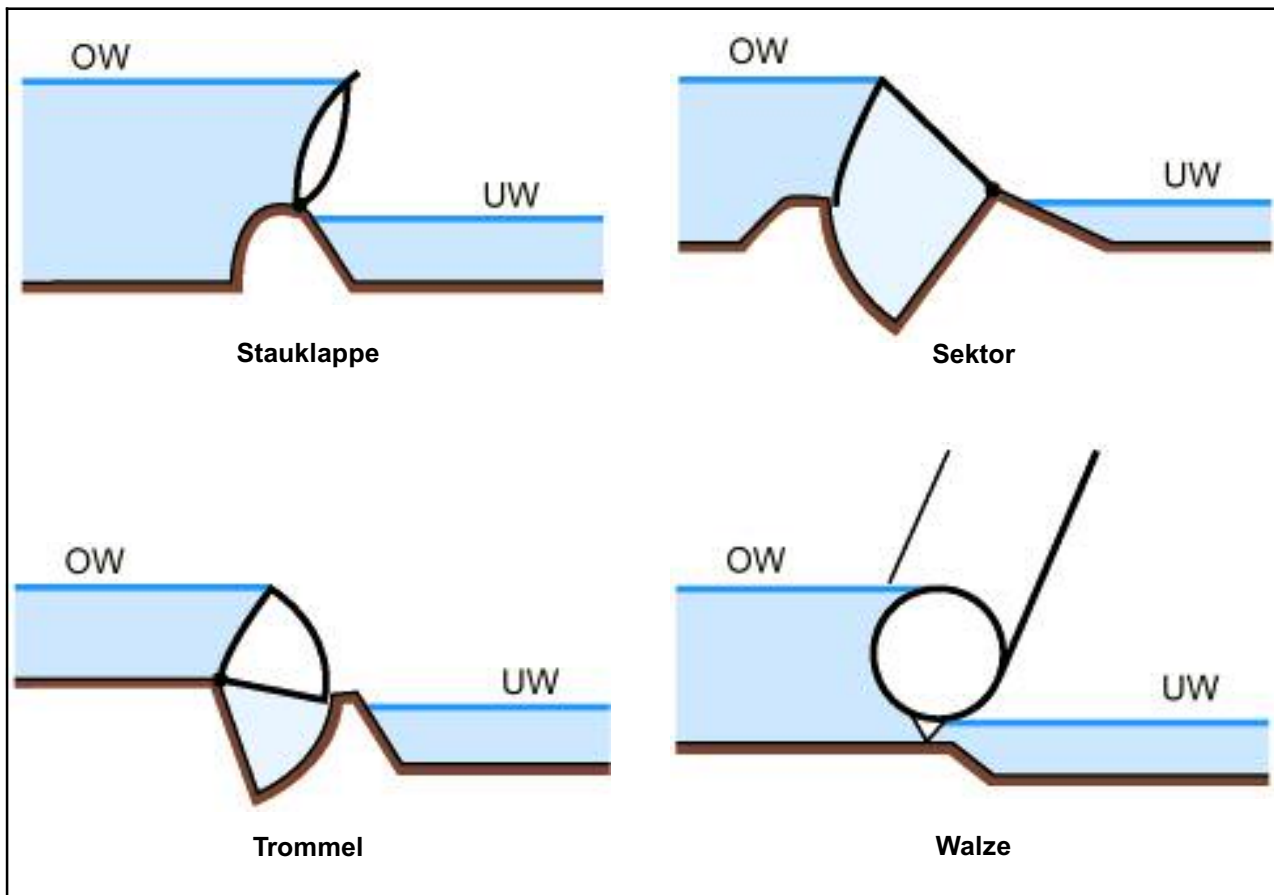


Bild 3.6: Einteilige Wehrverschlüsse (nach: DIN 4048, Teil 1)

Bild 3.7:
In die Außenfelder des Wehres der Mainstau-
stufe Garstadt (Bayern)
sind Walzenverschlüsse
eingesetzt, im Mittelfeld
ein Schütz mit aufgesetz-
ter Stauklappe



Bild 3.8:
Sektorwehr der Mosel-
staustufe Lehmen
(Rheinland-Pfalz)

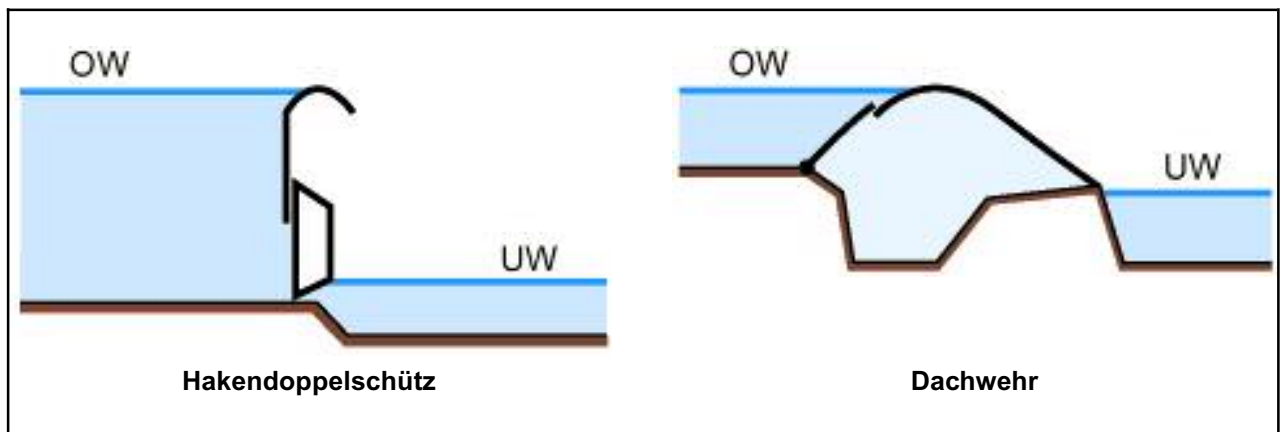


Bild 3.9: Zweiteilige Wehrverschlüsse (nach: DIN 4048, Teil 1)



Bild 3.10:
Donaustaustufe Vohburg
(Bayern):
Zugsegmente mit aufge-
setzter Stauklappe

Bei den Segmentwehren mit und ohne Aufsatzklappe muss zur vollständigen Wasserabgabe der Verschlusskörper aus dem Wasser gehoben werden (Bild 3.11).

Eine neuere Konstruktion stellen die Schlauchwehre dar (Bild 3.12). Schlauchwehre zählen zu den beweglichen Wehren. Auf einem festen Betonkörper wird ein Gummigewebe so verankert, dass ein dichter flexibler Innenraum, also ein „Schlauch“ entsteht. Der Schlauch wird mit Luft oder Wasser gefüllt, wobei über den Füllungsgrad die Stauhöhe reguliert wird.

In der langjährigen Wasserbaupraxis haben Planer und Betreiber verschiedene Kombinationen entwick-

kelt. An den großen Flüssen, die zu Schifffahrtsstraßen ausgebaut wurden, sind in der Regel zweiteilige oder absenkbare Verschlüsse eingesetzt. Zumindest ein Wehrfeld wird mit einem Organ zur Feinregulierung ausgestattet, damit der für die Schifffahrt notwendige Wasserstand möglichst exakt gehalten werden kann (vgl. Bild 3.7). Die Bedienung der beweglichen Wehre erfolgt nach den Vorgaben einer Betriebsvorschrift, die die Einhaltung des Stauwasserspiegels in Abhängigkeit vom Zufluss regelt. Üblicherweise werden die Betriebsvorschriften von den Aufsichtsbehörden geprüft und genehmigt. Bei kleineren Wehranlagen sind auch automatische Steuerungen im Einsatz.

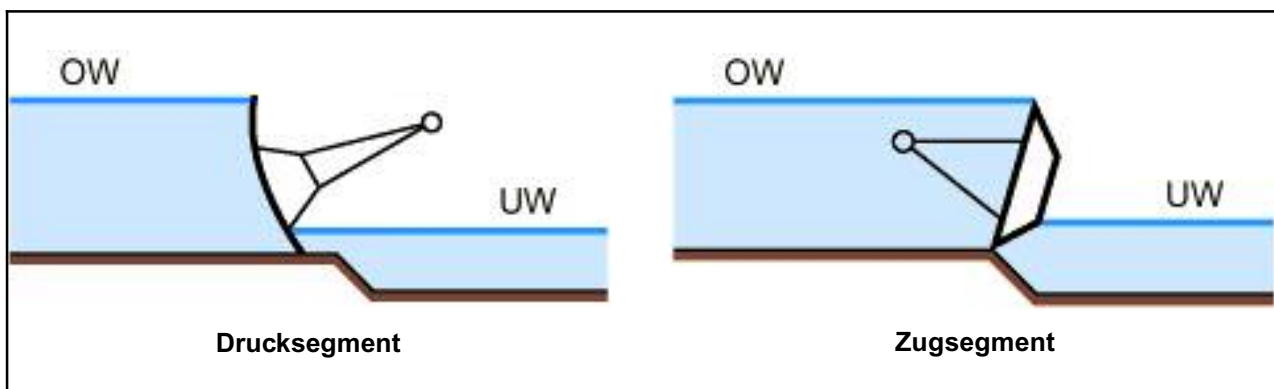


Bild 3.11: Segmentverschlüsse (nach: DIN 4048, Teil 1)

Bild 3.12:
Schlauchwehr Thierbach
an der Zwickauer Mulde
(Sachsen)



3.2.2 Schiffs- und Bootsschleusen

An den Staustufen einer Schifffahrtsstraße werden zur Überwindung des Höhenunterschiedes zwischen Ober- und Unterwasser Schiffsschleusen errichtet (Bild 3.13). Bei großen Höhenunterschieden kommen auch Schiffshebwerke zum Einsatz. Beim Füllen der Schleuse strömt Wasser über Flutungsöffnungen im Obertor oder unter dem angehobenen Tor in die Schleusen-kammer. Alternativ werden die Schleusen auch über Kanalsysteme im Kammerboden oder in den Kammerwänden gefüllt. Beim Entleeren der Schleusen-kammer wird das Schleusenwasser über vergleichbare Wege in das Unterwasser abgelassen. Sobald sich die Wasserstände in der Schleusen-kammer und im Ober- bzw. Unterwasser ausgeglichen haben, kann das entsprechende Schleusentor geöffnet werden. Die Betriebszeiten der Schiffsschleusen sind abgesehen von Eis und Hochwasser hauptsächlich vom Frachtaufkommen abhängig (Tabelle 3.2).

An vielen Staustufen existieren darüber hinaus Bootsschleusen, die Fischer- und Sportbooten die Möglichkeit zum Passieren der Stufe bieten. Das Konstruktionsprinzip entspricht bei erheblich geringeren Abmessungen dem der Schiffsschleusen. Zum Beispiel besitzt die Bootsschleuse der Donaustufe Bad Abbach (Bayern) nur etwa 1/30 des Volumens der Schiffsschleuse.

Fische können in Abhängigkeit von den Betriebszeiten (Tabelle 3.2) mit dem Schleusenwasser in die Schleuse bzw. in das Unterwasser gelangen oder sie schwimmen durch die geöffneten Schleusentore.



Bild 3.13: Kammerschleuse

Tabelle 3.2: Beispiele für die Betriebszeiten von Schleusen

Schiffahrtsstraße	Betriebszeiten
Donau, Main, Mosel, Rhein, Saar	24 h - Betrieb, ganzjährig
Neckar	Tagesbetrieb, ganzjährig
Lahn	Tagesbetrieb, Betriebsruhe 01.10. - 31.03.

3.3 Talsperren

Talsperren sind Stauanlagen, die über den Querschnitt des Wasserlaufes hinaus den ganzen Talquerschnitt absperren (Bild 5.1). Bei den Absperrbauwerken wird zwischen Staudämmen und Staumauern unterschieden. Mit dem Stausee entsteht ein völlig neues Gewässer, dessen Fische nur durch die Entnahmeanlagen oder im Hochwasserfall über die Entlastungsanlagen in das Unterwasser gelangen können.

In Deutschland existieren mehr als 300 Anlagen mit Stauhöhen über 15 m bzw. einem Stauvolumen über 1 Mio. m³. Mehrheitlich dienen sie der Trinkwasserversorgung, dem Hochwasserschutz oder der Niedrigwasseraufhöhung; im geringen Umfang auch der Energieerzeugung. Für den Betrieb der Talsperren sind Entnahme- und Entlastungsanlagen vorhanden:

- Entnahmeanlagen für die Bewirtschaftung des gespeicherten Wassers
- Grundablässe für die Entleerung des Staubeckens
- Entlastungsanlagen für die sichere Abführung von Hochwasser.

Jeder dieser Wasserwege besteht grundsätzlich aus den drei Bauwerksteilen Einlauf-, Transport- und Auslaufbauwerk. Aus der Art des Absperrbauwerkes, dem Zweck der Talsperre, den örtlichen Gegebenheiten, wie Hydrologie, Topographie usw. ergeben sich eine Vielzahl von Lösungsmöglichkeiten für die Gestaltung der Betriebseinrichtungen (RISSLER, 1998).

3.4 Wasserkraftnutzung

Unter Wasserkraft versteht man die auf der Schwerkraft beruhende Fähigkeit des fallenden Wassers, Arbeit zu verrichten. Die Wasserkraft gehört zu den Ener-

giequellen, die der Mensch als erste erschlossen hat. Sie wurde zunächst in Mühlen, Hammerwerken usw. als mechanische Energie eingesetzt. Nach der Entdeckung des Dynamo-Prinzips durch WERNER v. SIEMENS im Jahr 1867 war es möglich, Wasserkraft mit Hilfe von Turbine und Generator großtechnisch in elektrische Energie umzuwandeln. Heute wird die Wasserkraft fast ausschließlich zur Elektrizitätserzeugung verwendet. Bei der Wasserkraft handelt es sich um eine unerschöpfliche Energie, die über die Sonneneinstrahlung ständig regeneriert wird. Die Stromerzeugung aus Wasserkraft stellt heute die am besten erschlossene und wichtigste regenerative Energiequelle dar. Sie liefert zur Zeit etwa 5 % der Elektrizität in Deutschland; der Anteil der Wasserkraft an der weltweiten Energieerzeugung sowie die Verhältnisse in ausgewählten Ländern ist in den Tabellen 3.3 und 3.4 dargestellt. Durch die Errichtung neuer Wasserkraftanlagen sowie die Modernisierung bestehender Anlagen kann ein zusätzliches Potenzial zur Steigerung der Energieerzeugung aus regenerativen Quellen geschaffen werden.

3.4.1 Wasserkraftanlagen

Wasserkraftanlagen bestehen aus folgenden Hauptkomponenten, die in den Bildern 3.14 und 3.15 schematisch dargestellt sind:

- Speicherung eines künstlichen oder natürlichen Sees oder eines aufgestauten Fließgewässers
- Entnahmeanlage mit Absperrvorrichtungen und Überlauf
- Mechanische Barrieren (Kap. 5.2)

Nach GIESECKE & MOSONYI (1998) können Wasserkraftwerke nach unterschiedlichen Gesichtspunkten zu Gruppen zusammengefasst werden (Tabelle 3.5).

Tabelle 3.3: Anteil der Wasserkraft im Jahr 1995 an der Stromerzeugung der Bundesländer (aus: VDEW, 1996)

Bundesland	insgesamt erzeugte elektrische Energie [GWh/a]	Anteil Wasserkraft [GWh/a]	Anteil Wasserkraft [%]
Baden-Württemberg	55.182	5.571	10,1
Bayern	65.783	10.654	16,2
Berlin	10.237	-	-
Brandenburg	17.683	5	0,03
Bremen	4.319	-	-
Hamburg	1.339	-	-
Hessen	20.286	969	4,8
Mecklenburg-Vorpommern	2.075	3	0,15
Niedersachsen	50.991	389	0,8
Nordrhein-Westfalen	126.554	598	0,5
Rheinland-Pfalz	5.106	1.026	20,1
Saarland	5.609	64	1,1
Sachsen	31.051	1.062	0,3
Sachsen-Anhalt	2.616	113	0,4
Schleswig-Holstein	26.235	140	0,05
Thüringen	1.136	569	0,05
Deutschland gesamt	426.202	21.163	5,0

Tabelle 3.4: Anteil der Wasserkraft an der weltweiten Energieerzeugung (aus: ASE, 1997)

Land	Stromerzeugung insgesamt [GWh/a]	Anteil Wasserkraft [GWh/a]	Anteil Wasserkraft [%]
USA	2.755.000	275.500	10,0
Japan	902.200	92.100	10,2
Russland	810.700	167.000	20,6
Frankreich	494.000	69.200	14,0
Deutschland	426.200	21.200	5,0
Kanada	465.100	293.000	63,0
Indien	266.000	71.700	27,0
Brasilien	240.000	228.000	95,0
Schweden	140.900	73.300	52,0
Norwegen	112.100	111.700	99,6
Niederlande (1999)	83.800	110	0,1
Schweiz	51.600	31.500	61,0
Österreich	48.200	34.000	70,5
Weltweit gesamt	12.081.100	2.147.310	17,9

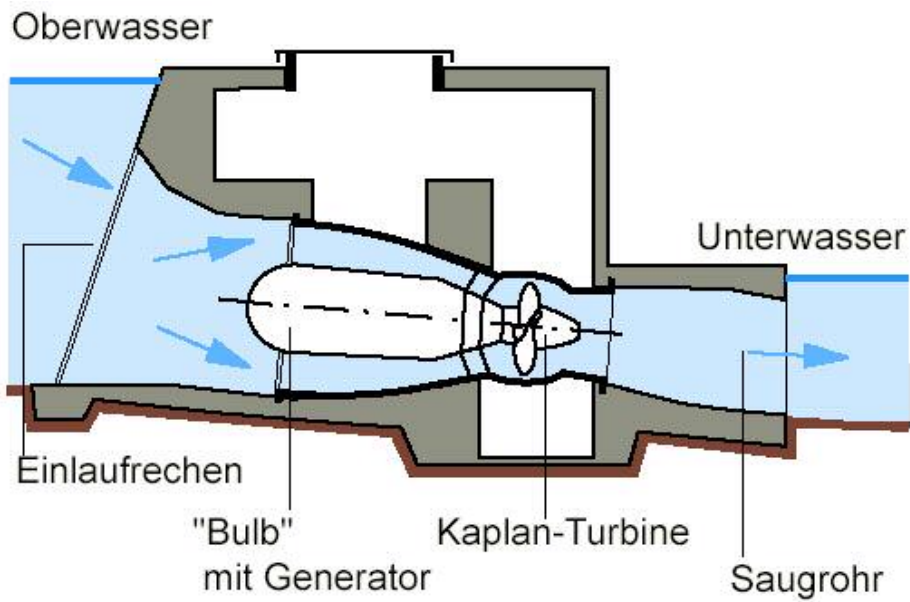


Bild 3.14: Prinzipskizze eines Laufwasserkraftwerks

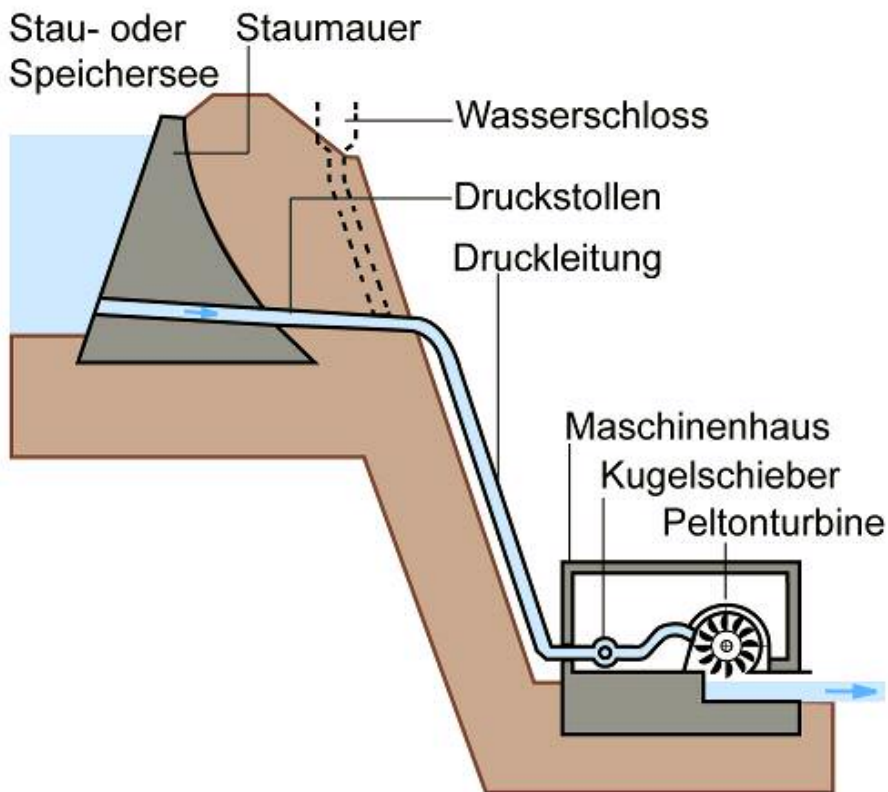


Bild 3.15:
Prinzipskizze eines
Hochdruckkraftwerks

Tabelle 3.5: Gruppierung verschiedener Typen von Wasserkraftwerken

Technische (flussbaulichen und bautechnischen) und topographische Kriterien	
Laufwasserkraftwerke	in Flüssen oder Kanälen
Speicherkraftwerke	an Stauanlagen mit natürlichem Zufluss
Pumpspeicherkraftwerke	an Stauanlagen ohne oder mit natürlichem Zufluss
Nutzfallhöhe	
Niederdruckanlagen	Fallhöhe < 15 m
Mitteldruckanlagen	Fallhöhe 15 - 50 m
Hochdruckanlagen	Fallhöhe > 50 m
Installierte Leistung	
Kleinwasserkraftanlagen	Leistung < 1 MW
Mittelgroße Wasserkraftanlagen	Leistung < 100 MW
Großwasserkraftanlagen	Leistung > 100 MW
Energiewirtschaftliche Kriterien	
Grundlastkraftwerke	
Mittellastkraftwerke	
Spitzenlastkraftwerke	
Wasserwirtschaftliche Kriterien	
Wasserkraftanlagen, die ausschließlich der Energieerzeugung dienen	
Wasserkraftanlagen für mehrere wasserwirtschaftliche Zielsetzungen (Mehrzweckanlagen)	
Wasserkraftanlagen, die hauptsächlich anderen Zielsetzungen und nur untergeordnet der Energieerzeugung dienen	

Allerdings ist ihre definitive Abgrenzung im Sinne einer Systematik einerseits aufgrund fließender Übergänge zwischen den Gruppen und andererseits wegen der zahlreichen Sonderformen der Wasserkraftnutzung nur schwer möglich.

Neben dem besonders wichtigen Kriterium der Nutzfallhöhe sind weitere Kenngrößen eines Standortes

bei der Differenzierung von Kraftwerkstypen (Tabelle 3.6) zu berücksichtigen. So ergeben sich in Verbindung mit dem Turbinendurchfluss bestimmte Merkmale der Bauausführung, die zusammen mit den zugehörigen Bauelementen, die wiederum charakteristische Differenzierungen aufweisen, nachfolgend näher betrachtet werden.

Tabelle 3.6: Typisierung von Wasserkraftanlagen (aus: GIESECKE & MOSONYI, 1998)

	Niederdruckanlagen $h_f < 15 \text{ m}$	Mitteldruckanlagen $h_f = 15 \text{ bis } 50 \text{ m}$	Hochdruckanlagen $h_f > 50 \text{ m}$
Landschaftstyp	Flachland und Mittelgebirge	Mittelgebirge	Mittel- / Hochgebirge
Turbinendurchfluss	groß	mittelgroß	klein
Baugrund	vorwiegend Lockergestein	Felsgestein	Felsgestein
Stauhaltung	feste und bewegliche Wehre	Talsperren (Dämme oder Staumauern)	Talsperren (Dämme oder Staumauern)
Triebwasserführung	Fluss- oder Ausleitungskraftwerke	Ausleitungskraftwerke, seltener Flusskraftwerke	Ausleitungskraftwerke oder Kraftwerke mit Triebwasserstollen
Wesentliche Bauelemente	Einlauf, Maschinenhaus, Auslauf	Einlauf, Druckrohrleitung- oder -stollen, Maschinenhaus, Auslauf	Einlauf, Druckstollen, Wasserschloss, Druckrohrleitung, Maschinenhaus, Auslauf
Wasserturbinen	Kaplan- / Propeller-Rohr-Turbinen oder Francisturbinen	Francisturbinen oder Kaplan-/ Propeller-Turbinen	Francisturbinen oder Pelton-turbinen
	bei gleicher Maschinenleistung:		
	Einheiten großer Abmessungen	Einheiten mittlerer Abmessungen	Einheiten kleiner Abmessungen
	horizontale und vertikale Wellenanordnung (geneigt bei Rohr- und teilweise Propellerturbinen)	vertikale Wellenanordnung	hauptsächlich vertikale Wellenanordnung (horizontal nur bei kleineren Maschinensätzen)
Generatoren	Generatoren mit großer Polzahl	Generatoren normaler Bauart	Generatoren normaler Bauart
	Generator unmittelbar gekuppelt (Getriebe)	Generator unmittelbar gekuppelt (Getriebe)	Generator unmittelbar gekuppelt oder mit Getriebe
Ausmaß der Speicherung	Laufkraftwerke oder Tagesspeicherung	Tages- oder Wochenspeicherung	Tages- bis Überjahresspeicherung
Vorwiegende Energieerzeugung	schwankend u. U. unterbrochen	kleinere Schwankungen, stetig	in Anpassung an den Bedarf
Lastbetrieb im Verbundbetrieb	Grundlastkraftwerk im Verbundbetrieb	Grundlastkraftwerk im Verbundbetrieb	Grund-, Mittel- oder Spitzenkraftwerk

3.4.1.1 Niederdruckkraftwerke

Niederdruckkraftwerke arbeiten bei Fallhöhen bis etwa 15 m und einem relativ großen Durchfluss. Insbesondere wenn die Topographie keine nennenswerte Speichermöglichkeit durch die Überflutung weiter Uferbereiche zulässt, werden Niederdruckkraftwerke als Fluss- oder Laufwasserkraftwerke mit Propeller-, Kaplan-, Rohr- oder Durchströmturbinen konzipiert. Seltener kommen bei diesem Kraftwerkstyp Francis turbinen zum Einsatz. Die Anzahl der Maschinensätze in einem Kraftwerk richtet sich primär nach dem Durchfluss und der jährlichen Abflusscharakteristik des jeweiligen Gewässers. Niederdruckkraftwerke werden entweder einzeln oder zur Durchlaufspeicherung in einer Kraftwerkskette sowie häufig in Kombination mit anderen Nutzungszielen, z. B. der Schifffahrt oder Trinkwassergewinnung betrieben.

Als Flusskraftwerk wird dieser Kraftwerkstyp bevorzugt in Flüsse und Ströme mit einem Gefälle kleiner als 2 ‰, quer zum Stromstrich gebaut. Dabei erzeugen die Stau- und Kraftwerksanlagen in geringem Umfang einen zusätzlichen Speicherraum. Wehr und Krafthaus eines Flusskraftwerkes liegen zumeist direkt nebeneinander, wobei sich diese Anordnung vor allem dann bewährt, wenn der höchste Hochwasserabfluss ohne zusätzliche Verbreiterung des Flussquerschnittes über die Stauanlage abgeführt werden kann. Bei schiffbaren Flüssen ist zusätzlich neben der Stauanlage eine Schleuse angeordnet.

Eine Aneinanderreihung von Flusskraftwerken, die sogenannte Staffelung oder Kettenanordnung, kann die Ausnutzung der Fallhöhe entscheidend verbessern. Gestaffelte Flusskraftwerke lassen sich als Laufwasserkraftanlagen oder als Abfolge von Flusskraftwerken mit Durchlaufspeicherung betreiben. Dabei nutzen Laufwasserkraftanlagen kontinuierlich über den Tag das natürliche Wasserdargebot ohne nennenswerte Speicherung und stellen damit Grundlastenergie bereit. Um die Stromerzeugung einem schwankenden Strombedarf anzupassen, werden Flusskraftwerke in Durchlaufspeicherung betrieben. Dabei werden die vorhandenen Maschinensätze je nach Bedarf gesteuert. Voraussetzung für diese Betriebsweise ist ein ausreichend großes Stauvolumen in jeder Staustufe der Kraftwerkskette, das im Bedarfsfall zusätzlich zum natürlichen Abfluss genutzt werden kann.

Grundsätzlich kann die Durchlaufspeicherung einer Kraftwerkskette als Kipp- oder als Schwellbetrieb

erfolgen. Beim Kippbetrieb werden alle Wasserkraftanlagen gleichzeitig mit demselben Turbinendurchfluss in Betrieb genommen, so dass der Wasserspiegel aus der Ruhelage kippt. Bei dieser Betriebsweise steht augenblicklich die volle Leistung der gesamten Kette zur Verfügung. Beim Schwellbetrieb werden entsprechend dem Abfluss die einzelnen Wasserkraftanlagen nacheinander in Betrieb genommen. Bei dieser Betriebsweise wird eine gute Ausnutzung der Fallhöhe erreicht und eine erhöhte Leistung über einen längeren Zeitraum erzielt.

Die Steuerung von Kraftwerksketten z. B. an Rhein, Neckar, Donau, Drau und Lech, erfolgt heute zunehmend automatisch. Hierbei kommen komplexe Steuerungs- und Simulationsmodelle zur Anwendung, die über die Anforderungen an eine optimierte Energiegewinnung hinausgehen und z. B. auch die Belange der Binnenschifffahrt, der Wassermengenvirtschaft, der Umweltwechselbeziehungen sowie der Freizeit- und Erholungsansprüche berücksichtigen.

Entsprechend der Anordnung von Krafthaus, Wehranlage und einer eventuell vorhandenen Schiffschleuse im Querschnitt eines Gewässers, lassen sich drei Bauformen von Wasserkraftanlagen unterscheiden:

Zusammenhängende Bauweise

a) **Blockbauweise** (Bild 3.16a): Das Krafthaus liegt bevorzugt am geschleibeärmeren Ufer. Um hier die oftmals ungünstigen An- und Abströmverhältnisse zu verbessern, kann die Errichtung von Leitwänden erforderlich sein, um sowohl Querströmungen, als auch die Ausbildung von Stillwasserzonen im Oberwasser zu verhindern, die zu Verlandungen neigen.

b) **Buchtenkraftwerk** (Bild 3.16e): Buchtenkraftwerke sind eine häufig realisierte Sonderform der Blockbauweise, bei der das Kraftwerk seitlich des ursprünglichen Flusslaufs in einer künstlich geschaffenen Bucht liegt. Da gegenüber der Blockbauweise der durchflossene Querschnitt des Gewässers kaum bzw. gar nicht verringert wird, können Hochwässer vergleichbar dem unverbauten Zustand störungsfrei abgeführt werden.

Aufgelöste Bauweise

a) **Zwillingsbauweise** (Bild 3.16b): Bei Gewässern mit großen Abflüssen, jedoch kleiner Fallhöhe kann eine Zweiteilung des Kraftwerks sinnvoll

sein, um einerseits eine größere Zahl von Maschinen unterzubringen und andererseits ein Missverhältnis zwischen der Krafthauslänge und der ursprünglichen Flussbreite zu vermeiden. Eine symmetrische Anordnung beider Krafthäuser bietet darüber hinaus Vorteile bezüglich der An- und Abströmverhältnisse.

b) Pfeilerbauweise (Bild 3.16c): Bei Pfeilerkraftwerken wechseln sich Wehrfelder und Turbinenpfeiler in der Querachse der Wehranlage ab. Da die Turbinenpfeiler gleichzeitig als Widerlager für die Wehrfelder dienen, ist die Anströmung beider Anlagenteile sehr gleichmäßig. Bei diesem Kraftwerkstyp entfällt der Bau eines Krafthauses, da die Betriebsräume seitlich um die Turbine angeordnet werden können, der zumeist der Generator aufsitzt. Die Wartung der Maschinensätze erfolgt über einen auf dem Dach der Anlage installierten Portalkran.

Überströmbare Bauweise (Bild 3.16d): Überströmbare Wasserkraftwerke, die auch als Unterwasserkraftwerke bezeichnet werden, bestehen aus einem einheitlich ausgebildeten Baukörper, der die Maschinensätze enthält und der Stauerzeugung sowie der Wasserabgabe bei Überschreitung des Ausbaudurchflusses dient. Die Krone des Baukörpers trägt i.d.R. einen aus mehreren Stauklappen bestehenden Wehraufsatz, der bei Hochwasser umgelegt wird, so dass

das Wasser über das Wehrkraftwerk abgeführt, es also überströmt wird. 1907 ging das erste Unterwasserkraftwerke an der Patapskostufe Ilchester (USA, Baltimore) in Betrieb. In Deutschland wurden erstmals in der Zeit von 1936 bis 1945 Unterwasserkraftwerke an Persante, Iller und Lech (Bayern) (Bild 3.17) erbaut.

Der Raumbedarf von Unterwasserkraftwerken ist gering und die Anlagen lassen sich vergleichsweise sehr gut in das Landschaftsbild integrieren (Bild 3.17). Deshalb wurde auch das im historischen Altstadt-kern von Heidelberg liegende, 40 m breite Wehr „Karlstor“ am Neckar (Baden-Württemberg) oberstromseitig mit einem Unterwasserkraftwerk ausgestattet (Bild 3.17, Bild 3.18) (LIENING, 1996). Dieses überflutete Laufwasser-kraftwerk besitzt zwei Kaplan-Rohrturbinen und erreicht bei 2,6 m Fallhöhe und 140 m³/s Durchfluss eine Gesamtleistung von 3,1 MW.

3.4.1.2 Umleitungskraftwerke

Zu Beginn des Wasserkraftbaus wurde aus bautechnischen und betrieblichen Gründen der Kraftwerksbau außerhalb des Gewässers bevorzugt. Im Stau der Wehranlage wird dabei das Triebwasser in einen Oberwasserkanal ausgeleitet (Bild 3.19), der das Umleitungskraftwerk, das auch als Ausleitungs- oder Kanalkraftwerk bezeichnet wird, speist.

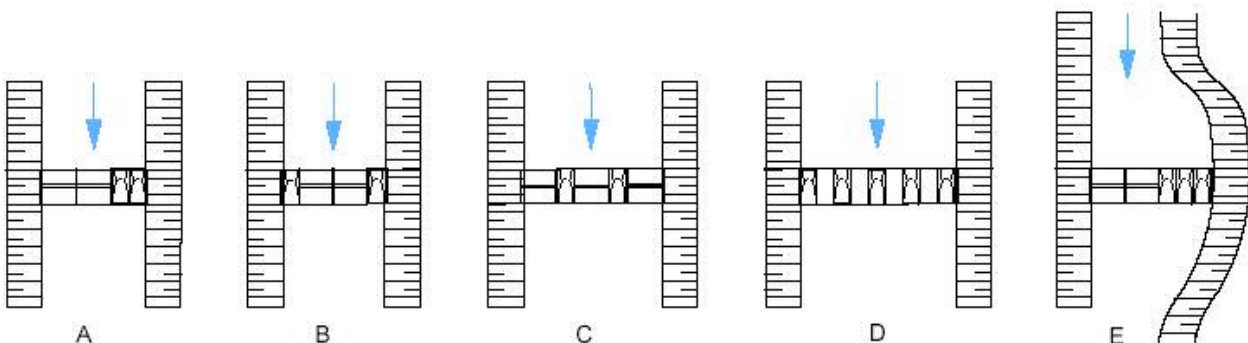


Bild 3.16: Anordnung von Flusskraftwerken
A: Blockbauweise, B: Zwillingbauweise, C: Pfeilerbauweise,
D: überströmbares Kraftwerk, E: Buchtenkraftwerk
 (verändert nach: GIESECKE & MOSONYI, 1998)

An der Ausleitung des Oberwasserkanals wird meist ein Einlaufbauwerk angeordnet (Bild 3.20), das folgende Bauelemente aufweisen kann:

- Tauchwand zur Abweisung von Treibzeug, Treibeis etc.,
- Grobrechen zum Schutz vor Treibholz,
- Sohlenschwelle zur Verminderung des Geschiebeeintrags,

- Absperrvorrichtungen wie Schützen zur Trockenlegung der Kanalstrecke,
- Floss- oder Bootseinlass zur Befahrung des Kanals.

Bei Geschiebe führenden Fließgewässern wird das Geschiebe aus dem Einlauf über Geschiebekanäle kontinuierlich oder zeitweise in das Flussbett zurückgespült.

Bei Umleitungskraftwerken verbleibt im Unterwasser der Stauanlage, d. h. im Mutterbett, lediglich der für



Bild 3.17:
Überflutbares Wasserkraftwerk Lechblick am Lech (Bayern)

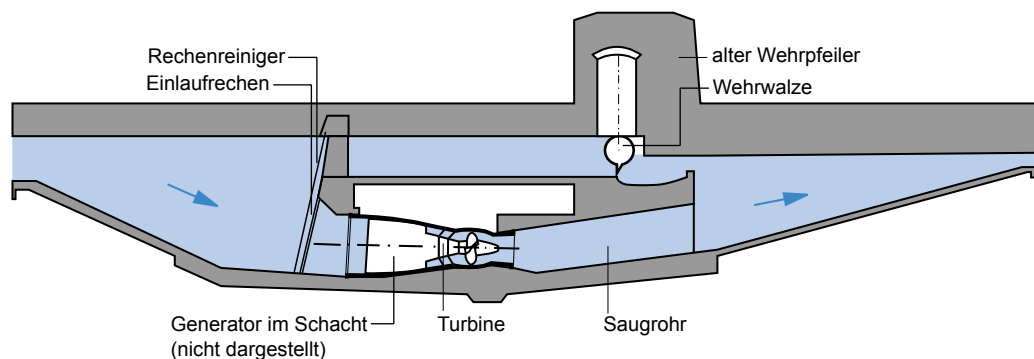


Bild 3.18: Systemschnitt durch das Unterwasserkraftwerk „Karlstor“ in Heidelberg am Neckar (Baden-Württemberg) (verändert nach: LIENING, 1996)

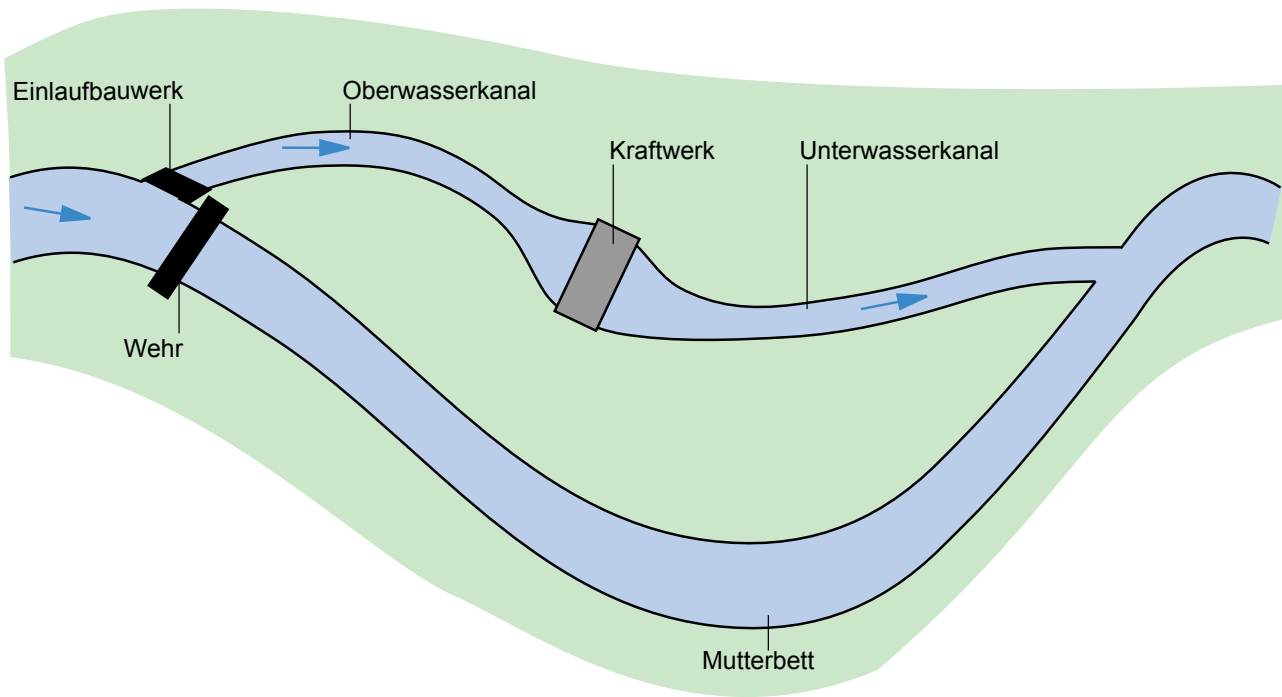


Bild 3.19: Prinzipskizze eines Umleitungskraftwerks

die Energieerzeugung nicht genutzte Mindestwasserabfluss sowie der Abfluss, der die Ausbaugröße der Wasserkraftanlage übersteigt. Die Höhe des Mindestabflusses ist insbesondere hinsichtlich der Durchwanderbarkeit der

Ausleitungsstrecke für Fische von Bedeutung. Im Rahmen der Fischabstiegsproblematik ist zu beachten, dass den Fischen zwei Wege zur Verfügung stehen, nämlich über das Wehr und durch den Ausleitungskanal.



Bild 3.20:
Einlaufbauwerk Illerkanal
am Wehr Mooshausen
(Baden-Württemberg)

3.4.1.3 Mitteldruckkraftwerke

Zu den Mitteldruckkraftwerken sind Wasserkraftanlagen zu rechnen, die mittlere Fallhöhen von 15 bis 50 m nutzen. Diese finden sich zumeist an niedrigeren Talsperren in Form von Speicherkraftwerken oder an höheren Wehren als Laufwasserkraftanlage, wobei die erforderlichen Wasserdurchsätze stets durch Speicherbewirtschaftung zur Verfügung gestellt werden. Neben der Energieerzeugung gilt es beim Betrieb von Mitteldruckanlagen in der Regel weitere Nutzungsinteressen, z. B. Abflussregelung, Trinkwasserversorgung, Hochwasserschutz, Freizeit- und Erholung sowie auch die Fischerei zu berücksichtigen.

Neben dem Fallhöhenbereich ist für Mitteldruckkraftwerke der Aufbau des Krafthauses aus folgenden Komponenten charakteristisch:

- Einlauf mit Rechen und Turbinenschütz,
- Triebwasserleitung,
- Einlaufspirale, Wasserturbine und Saugschlauch.

Als Maschinen kommen hauptsächlich Francisturbinen, seltener Pelton- oder Kaplan-turbinen zum Einsatz.

3.4.1.4 Hochdruckkraftwerke

Hochdruckkraftwerke nutzen zur Energiegewinnung Fallhöhen über 50 m bei verhältnismäßig geringen Durchflüssen (vgl. Bild 3.15). Während die in den Fassungen und Zuleitungen auftretenden Verluste durch die großen Fallhöhen wenig ins Gewicht fallen, erzeugen Schwankungen der je nach Größe des Einzugsgebiets und des Speicherraums verfügbaren Abflüsse energetische Verluste. Deshalb werden nicht selten benachbarte Einzugsgebiete zur Nutzung herangezogen, wobei der Ausgleich der schwankenden Zuflüsse durch eine gezielte Bewirtschaftung von mehreren Speichern erfolgt. Neben der Pelton-turbine kommen bis ca. 300 m Fallhöhe auch Francisturbinen zur Energieerzeugung zum Einsatz.

3.4.2 Wasserturbinen

Die verschiedenen Wasserkraftwerkstypen werden mit unterschiedlichen Wasserturbinen betrieben. Entsprechend der Fallhöhe und dem festgelegten

Ausbaudurchfluss ist für jeden Standort der geeignete Turbinentyp mit den günstigsten Auslegungskriterien z. B. Laufradform, Drehzahl, Durchmesser und Einbauhöhe zu finden (Bild 3.21). Die Grundlage dieser Überlegungen bilden stets langjährige Abfluss- und Pegelmessungen zur Ermittlung der Fallhöhe und des Abflusses.

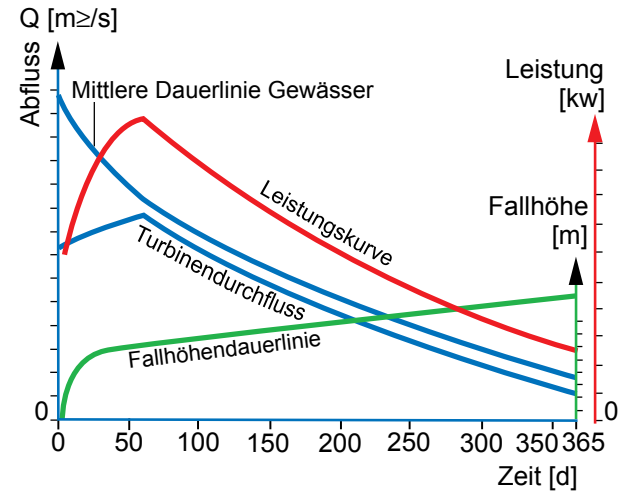


Bild 3.21: Abflussdauerlinie, Leistungskurve und Fallhöhendauerlinie (verändert nach: WBW, 1994)

Unter dem Ausbaudurchfluss eines Wasserkraftwerks wird der Wasserstrom verstanden, bei dem die Anlage die maximale Leistung mit dem günstigsten Wirkungsgrad erbringt. Der Ausbaugrad einer Wasserkraftanlage ist dabei nicht allein von der Abflusscharakteristik des Gewässers abhängig, sondern auch von der Einsatzart der Wasserkraftanlage, anderweitigen Nutzungsinteressen am Gewässer sowie nicht zuletzt vom Kosten-Nutzen-Verhältnis.

Der Auslegungspunkt einer Turbine liegt erfahrungsgemäß zwischen 80 und 120 Tagen p. a., kann aber auch Werte bis 180 Tage p. a. erreichen. Mit der Wahl des Auslegungspunktes werden auch die Nennwerte von Fallhöhe und Ausbaudurchfluss festgelegt, wobei der Ausbaudurchfluss einer Wasserkraftanlage ca. 20 % höher liegt, als der Durchfluss im Auslegungspunkt der Turbine. Bild 3.22 stellt die Anwendungsbereiche der verschiedenen Typen von Wasserturbinen in Abhängigkeit von Fallhöhe und Wasserstrom dar.

Die Einsatzbereiche der verschiedenen Turbinentypen sind so zu wählen, dass jeweils die wirtschaftlich günstigste Lösung zur Anwendung kommt. In der Regel erfordern große Fallhöhen den Einsatz von Pelton-turbinen, mittlere den von Francis-turbinen, und kleinere den von Kaplan-turbinen. Da sich die Einsatzbereiche der Turbinen verschiedentlich überschneiden, werden nachfolgend einige Gesichtspunkte aufgeführt, die bei der Auswahl des richtigen Turbinentyps für den speziellen Anwendungsfall zu berücksichtigen sind.

Überschneidungsbereich

Pelton- und Francis-Spiralturbine:

Die Vorteile einer Francis-Spiralturbine gegenüber einer Pelton-turbine bestehen in den kleineren Abmessungen und den höheren Drehzahlen. Daneben ist der Einbau einer für den Einsatz bei starken Unterwasserspiegelschwankungen besser geeigneten Francis-Spiralturbine kostengünstiger.

Demgegenüber weist die Pelton-turbine einen flacheren Wirkungsgradverlauf auf. Dies bedeutet, dass durch den Einsatz dieses Turbinentyps ein Leistungsbereich von 20 bis 100 % abgedeckt wird, bei der Francis-turbine hingegen lediglich von 40 bis 100 %. Deshalb weist die Pelton-turbine insbesondere bei schwankendem Wasserdargebot ein größeres Jahresarbeitsvermögen auf. Ferner wird ihr Einsatz bei sandhaltigem Wasser bevorzugt, da die wenigen Verschleißteile schnell und kostengünstig repariert bzw. ausgewechselt werden können.

Überschneidungsbereich

Francis-Schachtturbine und Kaplan-turbine:

Die Vorteile der Francis-Schachtturbine gegenüber der Kaplan-turbine bestehen in dem einfacheren und damit kostengünstigeren Aufbau von Turbine und Krafthaus. Ferner können Francis-Schachtturbinen noch bei Höhen von der Laufradachse zum Unterwasserspiegel von bis zu 6 m betrieben werden.

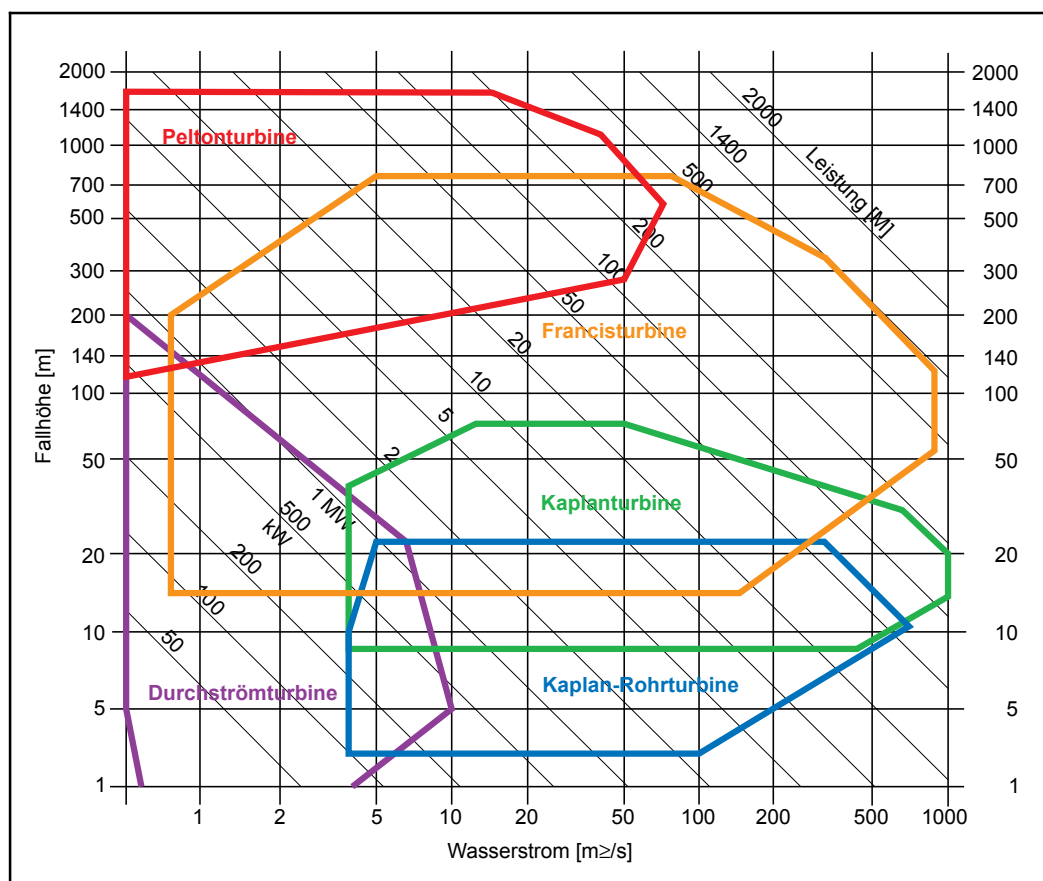


Bild 3.22: Einsatzbereiche verschiedener Wasserturbinen und Leistungsgrößen in Abhängigkeit von Fallhöhe [m] und Wasserstrom [m³/s] (verändert nach: GIESECKE & MOSONYI, 1998)

Hingegen erzielen die höhere Drehzahlen aufweisenden Kaplan-turbinen vor allem bei schwankendem Wasserdargebot aufgrund der besseren Wirkungsgradcharakteristik ein höheres Jahresarbeitsvermögen, sofern Laufrad und Leitrad regulierbar sind. Bei horizontalen Turbinen ist ferner eine landschaftsbildgerechtere Flachbauweise für das Krafthaus möglich.

Für die Entscheidung, welcher Turbinentyp zur Anwendung kommt, sind stets die örtlichen Gegebenheiten ausschlaggebend. In den letzten Jahren kamen jedoch vor allem die infolge ihres relativ kleinen Bauvolumens kostengünstigen und in Komplettmontage einzubauenden Getriebe-Rohrturbinen zum Einsatz. Nachfolgend werden die am häufigsten eingesetzten Turbinentypen näher beschrieben.

3.4.2.1 Wasserrad

Das Wasserrad stellt die Urform einer Wasserkraftmaschine dar. Geschichtlich lässt sich ein wassergetriebenes Schöpfwerk bis in das 3. Jahrhundert v. Chr. zurückverfolgen. Wasserräder dienten überwiegend als Bewässerungseinrichtungen und Getreidemühlentriebe. Sie haben sich in ihrem Bauprinzip und in ihrer Anwendung bis in die heutige Zeit erhalten. In Mitteleuropa setzte sich seit dem 9. Jahrhundert die Anwendung bei handwerklichen Arbeitsgängen wie beispielsweise Hämmern, Walken, Stampfen, Schleifen, Sägen, Drehen und dergleichen durch. Verstärkt nimmt sich heute der Denkmalschutz der historischen Wassermühlen an, um sie als eindrucksvolle Zeugnisse der handwerklichen Tradition und als technisches Kulturgut der vorindustriellen Arbeitswelt zu bewahren.

Über Jahrtausende hinweg ist das Wasserrad wegen seiner Aufgabe, die Mühlen anzutreiben, erhal-

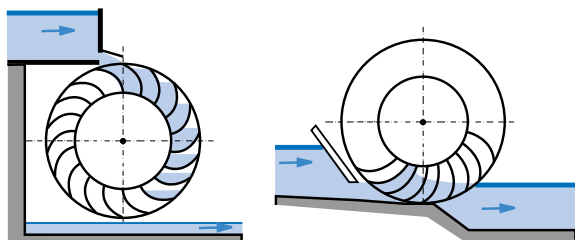


Bild 3.23: Typen von Wasserrädern, links: ober-schlächtiges Zellenrad, rechts: unter-schlächtiges Schaufelrad

ten geblieben. Wegen der besseren Energieausbeute sind die Wasserräder mit der Zeit z. T. durch Wasserturbinen zur Erzeugung elektrischen Stromes ersetzt worden. Heute werden unter bestimmten Rahmenbedingungen, bei geringen Wassermengen und niedrigem Gefälle, wieder Wasserräder neuerer Bauart zur Stromerzeugung errichtet (Bild 3.23).

3.4.2.2 Wasserkraftschnecke

Als Archimedische Schraube ist die Wasserförderschnecke seit dem Altertum bekannt. In der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts fast vergessen, erlebte sie danach eine Renaissance durch ihre Anwendung in der Abwassertechnik. Bei der Wasserkraftschnecke handelt es sich um die energetische Umkehrung der aus der Abwassertechnik bekannten Wasserförderschnecke (Bild 3.24).

Die Wasserkraftschnecke ist keine Turbine, sondern allenfalls den Wasserrädern zuzuordnen, denn wie ein ober-schlächtiges Wasserrad nutzt sie unter atmosphärischem Druck ausschließlich die Lageenergie des Wassers aus. Jedoch greift dieser Energiewandler mit einem Schluckvermögen von 0,04 bis 4,0 m³/s und Fallhöhen von 0,5 bis 5,0 m über den klassischen Bereich der Wasserräder hinaus und kann sich bedingt an wechselnde Wasserstände anpassen. Die Wasserkraftschnecke erreicht nicht die Spitzenwirkungsgrade der Turbinen von > 90 %; vielmehr wurden Werte von etwa 65 % gemessen (INGENIEURBÜRO FLOECKSMÜHLE, 1999).

3.4.2.3 Francisturbine

Die erstmals 1873 angewandte Francisturbine ist eine Maschine mit sehr großem Einsatzgebiet, das sich in den Grenzbereichen mit Pelton- und Kaplan-turbinen überschneidet. Von diesem Turbinentyp können Fallhöhen zwischen 15 und 720 m sowie Wasserströme bis 900 m³/s verarbeitet werden. Dabei werden Maschinenleistungen von bis zu 1.000 MW erreicht.

Bei der Francisturbine wird das Wasser über eine Beton- oder Stahlspirale und den verstellbaren Leitapparat (Bild 3.26) auf das Laufrad (Bild 3.25) geführt. Dabei strömt das Wasser radial auf die feststehenden, räumlich gekrümmten Laufschaufeln ein und axial wieder aus. Die Regelung erfolgt ausschließlich über den Leitapparat, was gegenüber



Bild 3.24:
Wasserkraftschnecke,
Ansicht (oben) und
Detail (Schnecke) (unten)



Bild 3.25:
Laufwerk einer
Francisturbine

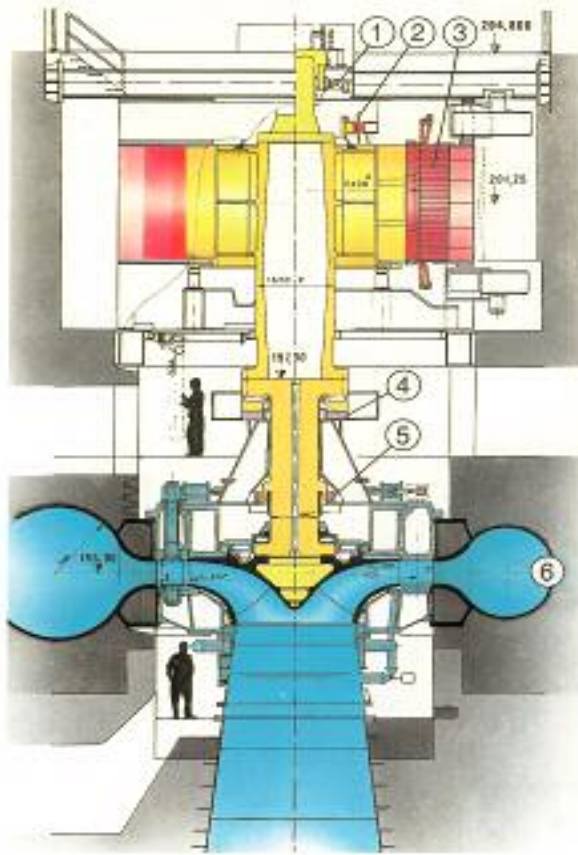


Bild 3.26: Einbau einer Francisturbine in einem Speicherkraftwerk (Mitteldruckanlage) (verändert nach: EnBW ING, 2000)

Kaplanturbinen zu einem schlechteren Teillastverhalten führt. Die Francisturbine verfügt über ein Saugrohr, in dem der Druck nach dem Laufrad künstlich herabgesetzt und so ein höherer Turbinenwirkungsgrad erreicht wird.

Vor der Entwicklung der Kaplan turbine wurden Francisturbinen auch dort eingesetzt, wo heute wegen des besseren Wirkungsgrades Kaplan turbinen Verwendung finden. Viele dieser Anlagen sind heute noch in Betrieb.

3.4.2.4 Francis-Schachtturbine

Eine kleinere, einfache und damit kostengünstige Bauform der Francisturbine ist die Francis-Schacht- oder Kammerturbine, die vor allem für Kleinwasserkraftwerke Verwendung findet (Bild 3.27). Sie wird für Fallhöhen bis etwa 5 m eingesetzt und erlaubt daher den Verzicht des Spiralgehäuses. Das Spiralgehäuse wird durch eine einfache Turbinenkammer mit rechteckigem Querschnitt ersetzt. Dieser Turbinentyp wird lediglich mit verstellbaren Leitschaufeln, Laufrad und Saugrohr gebaut, wobei das Reguliergestänge des Leitrades offen im Oberwasser liegt.

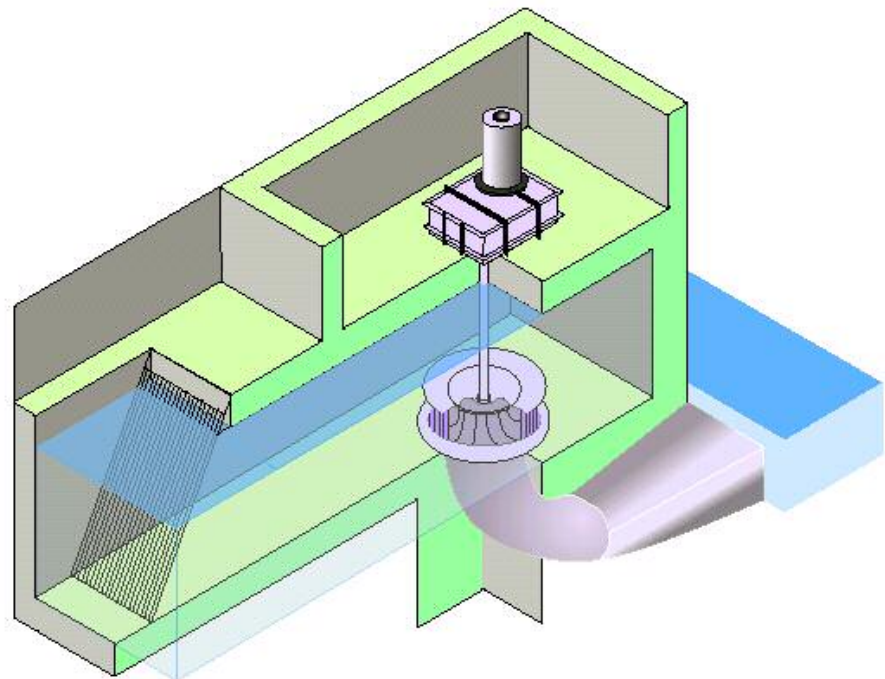


Bild 3.27: Prinzipskizze einer Francis-Schachtturbine mit vertikaler Welle, Getriebe und Generator

3.4.2.5 Pelton turbine

Die 1892 erstmalig gebaute Pelton turbine wird auch Freistrahl turbine genannt. Es handelt sich dabei um eine Hochdruck turbine, die bei Fallhöhen > 100 m und Wasserströmen < 80 m³/s eingesetzt wird. Klassische Einsatzfälle für diesen Turbinentyp sind z. B. alpine Speicherkraftwerke mit Fallhöhen bis zu 2.000 m, bei denen das Wasser über eine Druckleitung von einem Stausee zum Kraftwerk geleitet wird. Über eine oder mehrere Düsen wird das Wasser dann auf ein mit Bechern beschau feltes Laufrad geführt (Bild 3.28). Der mit hoher Geschwindigkeit auf die Laufschau feln treffende Wasserstrahl wird umgelenkt, woraus eine Drehbewegung des Laufrades resultiert. Die rotierende Turbinenwelle kann hierbei vertikal oder horizontal angeordnet sein. Die Regelung erfolgt mittels einer verstellbaren Nadel innerhalb des Düsenkörpers. Je nach Wasserstrom werden Pelton turbinen ein- oder mehrdüsig ausgeführt. Im Falle eines Notschlusses, z. B. bei einem Netzausfall, kann die Turbine mit Hilfe eines Strahlablenkers schnell stillgesetzt werden. Für Revisionszwecke ist vor der Düse ein Verschlussorgan z. B. in Form eines Kugelschiebers angeordnet.

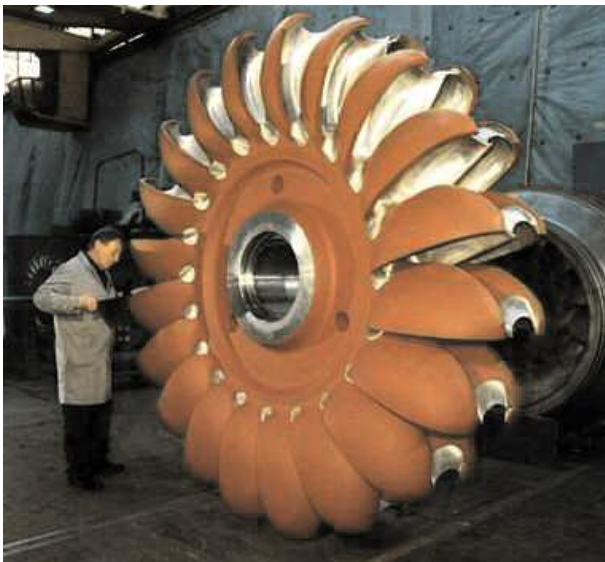


Bild 3.28: Laufrad einer Pelton turbine

3.4.2.6 Durchström turbine

Bei diesem Turbinentyp durchströmt das vom Leitapparat tangential zugeführte Wasser das zylindrische Laufrad von außen nach innen und nach Durchqueren des Radinnern von innen nach außen. Die in den 30er Jahren entwickelte Durchström turbine eignet sich besonders gut für den Einsatz bei stark schwankenden Zuflüssen, da das Laufrad je nach vorhandenem Triebwasser nur teilbeaufschlagt werden kann. Durch den mehrzelligen Aufbau (normale Unterteilung 1:2) kann die kleine Zelle kleine Wasserströme, die große Zelle mittlere Wasserströme und beide zusammen den vollen Wasserstrom effizient nutzen (Bild 3.29). Durch diese Anpassungsmöglichkeit an das schwankende Wasserdargebot ergibt sich ein sehr flacher, jedoch niedrigerer Verlauf des Turbinenwirkungsgrades gegenüber den anderen Turbinenarten. Wegen der guten Anpassung an stark schwankende Zuflüsse und der einfachen Bauweise wird die Durchström turbine in neuerer Zeit häufig bei Kleinwasserkraftanlagen eingebaut. Der Fallhöhen ein satzbereich erstreckt sich von 1 bis 200 m.

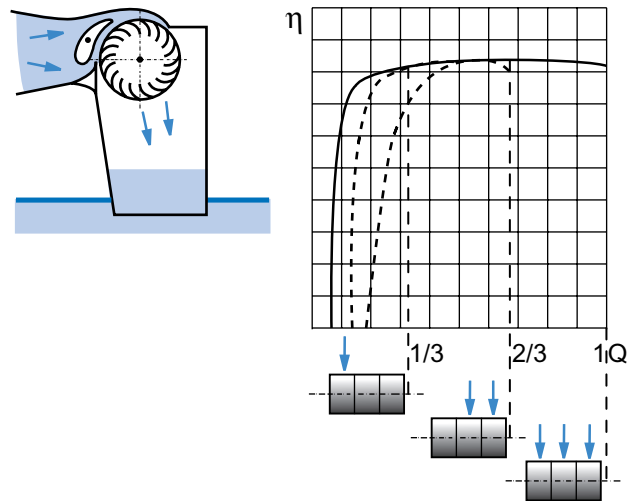


Bild 3.29: Strömungsverlauf einer Durchström turbine (verändert nach: GIESECKE & MOSONYI, 1998) mit horizontalem Zufluss (links) und Wirkungsgradkennlinie bei einer 1:2-Unterteilung

3.4.2.7 Kaplan turbine

Die erste Anwendung einer Kaplan turbine geht auf das Jahr 1919 zurück. Kaplan turbinen sind axiale wasserturbinen mit wenigen schaufeln (Bild 3.30). Das Einsatzgebiet umfasst fallhöhen von 8 bis 70 m und wasserströme bis zu 1.000 m³/s. Aufgrund der guten Regelfähigkeit und des flachen Wirkungsgradverlaufs eignet sich dieser Turbinentyp besonders gut für Flusskraftwerke, wo schwankende Fallhöhen und ein unterschiedliches Wasserangebot auftreten. Bei der klassischen Bauart der Kaplan turbine mit vertikaler Welle strömt das Wasser über eine Betonspirale und den verstellbaren Leitapparat auf das Laufrad mit ebenfalls verstellbaren Laufschaufeln (Bild 3.31). Der Austritt erfolgt über den Saugrohrkrümmer.

Aufgrund des besseren Regelverhaltens verdrängen die Kaplan turbinen im Grenzbereich zunehmend die Francisturbinen. Die Nachteile der Kaplan turbine bestehen jedoch vor allem in Wirkungsgradeinbußen durch die zweimalige Strömungsumlenkung. Ferner verursacht die aufgrund der vertikalen Wellenlage und dem anschließenden Saugrohrkrümmer erforderliche große Bautiefe höhere Baukosten.

Eine vereinfachte Form der Kaplan turbine ist die Propellerturbine. Sie ist im konstruktiven Aufbau iden-



Bild 3.30: Laufwerk einer Kaplan turbine

tisch, mit Ausnahme der nicht verstellbaren Laufradschaufeln. Durch den Wegfall des sonst erforderlichen hydraulischen Verstellmechanismus und der dazu gehörenden Steuereinrichtungen ist sie preiswerter als die Kaplan turbine. Nachteilig ist jedoch die geringere Anpassung an sich verändernde hydraulische Verhältnisse und somit ein geringerer Wirkungsgrad.

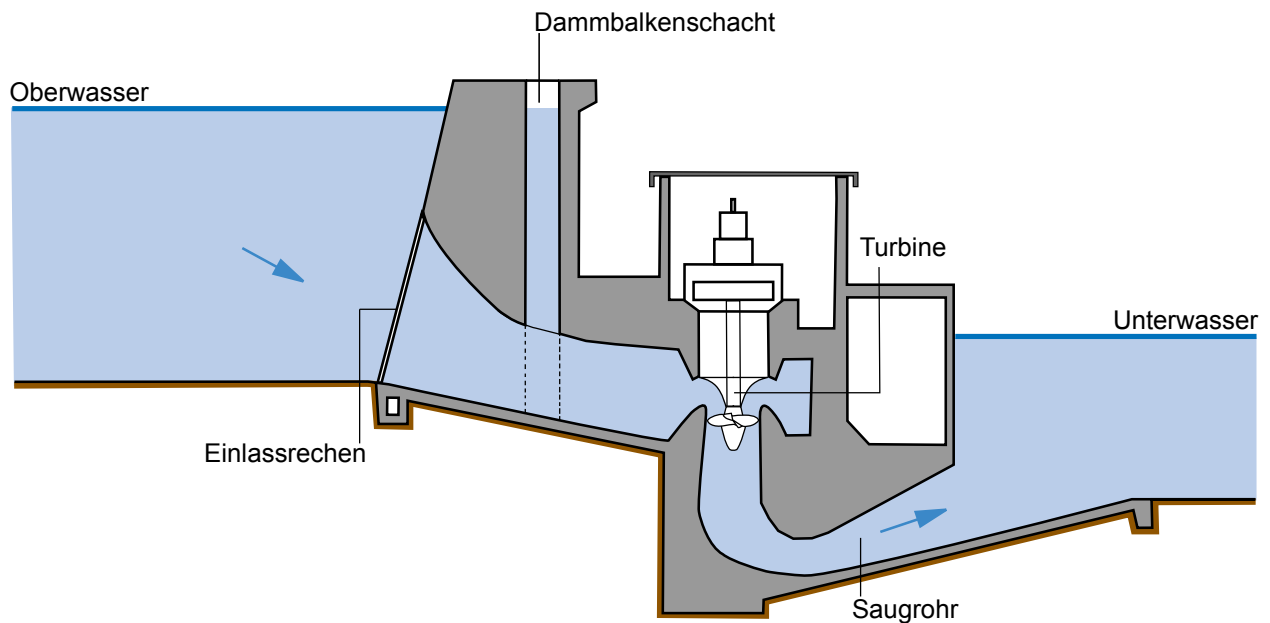


Bild 3.31: Kaplan turbine in einem Laufwasserkraftwerk

3.4.2.8 Kaplan-Rohrturbine

Die Kaplan-Rohrturbine ist eine besondere Bauform der Kaplan­turbine. Ihr Einsatzgebiet liegt bei Fallhöhen zwischen 2 und 22 Meter sowie bei Wasserströmen von 4 bis 750 m³/s. Sie stellt heute die häufigste Ausrüstung für Laufwasserkraftwerke dar. Die Kaplan-Rohrturbine ist mit horizontaler oder leicht geneigter Welle direkt im Rohr eingebaut. Das Wasser umströmt das Turbinengehäuse mit Turbinenwelle und Generator und fließt über den verstellbaren Leitapparat durch die ebenfalls verstellbaren Schaufeln des Laufrades (vgl. Bild 3.14). Der Strömungsaus­tritt erfolgt über das sich anschließende Saugrohr. Aufgrund der geradlinigen Durchströmung der Turbine ergibt sich gegenüber der Kaplan­turbine klas­sischer Bauart ein um etwa 3 % höherer Wirkungs­grad. Außerdem ist die Kaplan-Rohrturbine durch den Wegfall von Spiralgehäuse und Saugrohrkrümmer sehr kompakt und ermöglicht dadurch günstigere Baukosten.

Eine Besonderheit stellt die sogenannte Außenkranz-Rohrturbine dar, bei der Turbine und Generator ein direkt gekoppeltes Aggregat ohne Antriebswelle bilden. Der Generator liegt in der gleichen vertikalen Ebene wie das Laufrad, ist aber außerhalb des durch-

strömten Rohres angeordnet. Das Laufrad kann mit beweglichen oder feststehenden Laufschaufeln ausgeführt werden. Vorteile ergeben sich bei dieser Bauart durch geringeres Bau- und Anlagenvolumen und damit Kostenersparnisse. Nachteile bestehen im Betrieb durch den höheren Wartungsaufwand.

3.5 Wasserentnahmebauwerke

Zur Ausleitung von Trink- und Brauchwasser werden Entnahmebauwerke errichtet. Ihr Standort ist entweder direkt am Ufer oder sie werden durch einen mehr oder minder langen Stichkanal angeströmt. Die seitliche Wasserentnahme, zumeist nur eines geringen Teiles des Gesamtabflusses, erfordert keinen Aufstau des Gewässers. Bild 3.32 zeigt den schematischen Aufbau eines Entnahmebauwerkes.

Im einfachsten Fall verhindern Tauchwand und Grobrechen das Einspülen von Treibgut. Werden höhere Reinheitsanforderungen an das Brauchwasser gestellt, werden dem Grobrechen ein oder mehrere Feinrechen, Siebbandanlagen oder sonstige Filtersysteme nachgeschaltet. Über Rechenreinigungs- und Siebbandmaschine wird das Schwemmgut dem Wasser entnommen.

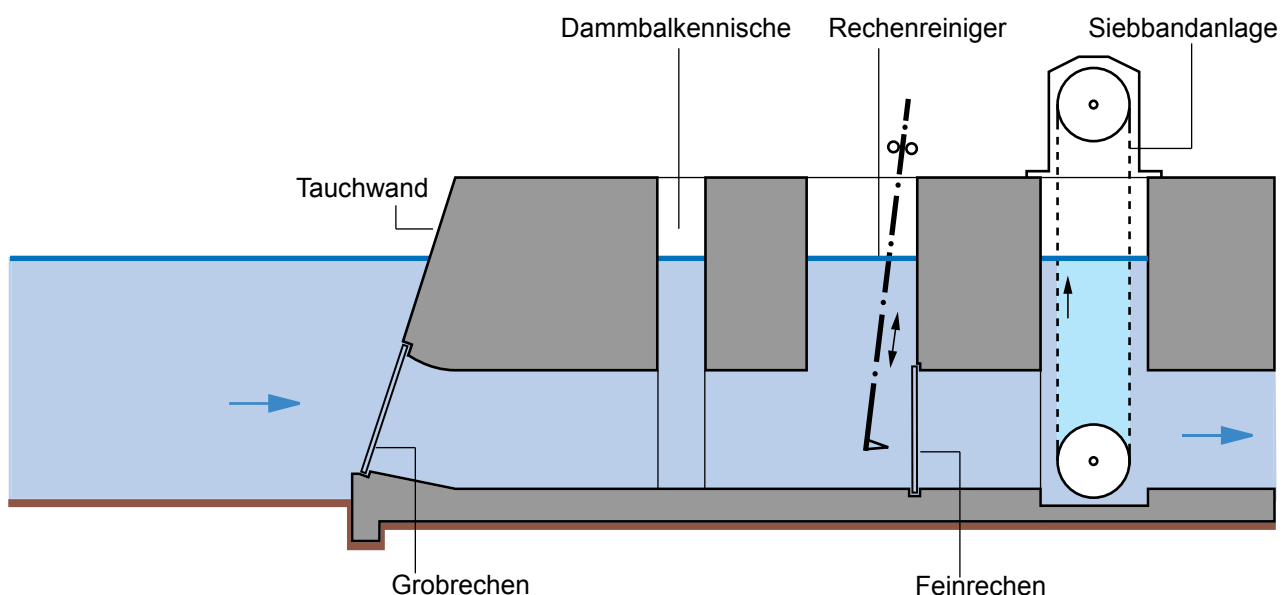


Bild 3.32: Prinzipskizze eines Wasserentnahmebauwerkes