

Bau von Wasserkraftanlagen

Praxisbezogene Planungsgrundlagen

Bearbeitet von
Christoph Jehle

06. Auflage, überarbeitete 2015. Taschenbuch. 289 S. Paperback

ISBN 978 3 8007 3646 1

Format (B x L): 17 x 24 cm

[Weitere Fachgebiete > Technik > Energietechnik, Elektrotechnik](#)

schnell und portofrei erhältlich bei


DIE FACHBUCHHANDLUNG

Die Online-Fachbuchhandlung beck-shop.de ist spezialisiert auf Fachbücher, insbesondere Recht, Steuern und Wirtschaft. Im Sortiment finden Sie alle Medien (Bücher, Zeitschriften, CDs, eBooks, etc.) aller Verlage. Ergänzt wird das Programm durch Services wie Neuerscheinungsdienst oder Zusammenstellungen von Büchern zu Sonderpreisen. Der Shop führt mehr als 8 Millionen Produkte.

6 Wasserbau und Gebäude

6.1 Wasserbau für Niederdruckwerke

6.1.1 Wasserfassung

Der Zu- und Abfluss des Betriebswassers einer Wasserkraftanlage ist besonders bei Flusskraftwerken immer ein Eingriff in die Natur, doch nicht jeder Eingriff ist nachteilig. Es kann auch das Gegenteil zutreffen. Das zu erreichen sollte stets versucht werden. Flussverlaufsänderungen wie Begradigungen und Änderungen der Flussgeschwindigkeit sollten vermieden werden. Denn davon hängt der Transport des Geschiebes ab, das in Jahrtausenden, in denen der Fluss sich sein Bett schuf, allmählich einigermaßen Ruhe gefunden hat.

Der unvermeidliche und nicht geringe Eingriff ist die Erstellung der notwendigen Fallhöhe durch Aufstau des Oberwassers mit Wehrverschlüssen und die Absenkung des Unterwassers durch Ausbaggerungen. Das ändert den Grundwasserspiegel, wenn man nichts dagegen unternimmt. Auch der Flussquerschnitt ändert sich durch die Baumaßnahme und damit die Abflussmöglichkeit des Hochwassers. Das hundertjährige höchste Hochwasser muss bei der Gestaltung des neuen oder veränderten Flussbetts zwingend beachtet werden, um Überschwemmungen zu vermeiden. Der Flussquerschnitt im Bereich der Baustelle darf nur insoweit vermindert werden, als dies durch eine erhöhte Fließgeschwindigkeit durch das Gefälle und die Ausbaggerungen im Unterwasser wettgemacht wird. Die Fallhöhe selbst hat dabei nur eine sekundäre Bedeutung, da bei Hochwasser der Stau in den meisten Fällen gelegt werden muss. Bei größeren Fallhöhen, ab etwa 10 m, kann eventuell ein Teilstau erhalten bleiben. Die Hochwasserperioden sind die Zeiten der großen Geschiebetransporte, da die Schleppkraft eines Flusses mit dem Quadrat seiner Strömungsgeschwindigkeit wächst. Auch die Orte der Ablagerungen sind während der Hochwasserzeit andere als bei Normalwassermengen. Die hohen Wassergeschwindigkeiten nehmen Sand und Kies auf und lagern sie an Stellen mit geringen Geschwindigkeiten ab. Das trifft u. a. bei Flussverbreiterungen oder auf der Leeseite von Bauwerken wie Kraftwerksgebäuden zu, also in der unterwasserseitigen Kraftwerksbucht. An diesen Kiesbänken staut sich das auslaufende Turbinenwasser, was zu einer Fallhöhenminderung führt. Es gibt Anlagen, bei denen nach jedem größeren Hochwasser das Flussbett im Unterwasser ausgebaggert werden muss, weil keine Geschieberegnerungen, die nicht ganz einfach sind, durchgeführt wurden. Bei der Einbringung von Wasserkraftanlagen in Flüsse, die große Geschiebemengen mit sich führen, kann die Gestaltung der Unterwasserquerschnitte des Gewässers praktisch nur noch im Modellversuch ermittelt werden. Eine Reihe von Energieversorgungsunternehmen besitzt solche Freiluft-Modellanlagen an Bächen, in die ein genaues Abbild der Gebäude, der Stauanlagen, des Flussverlaufes mit Böschung und der Sohlentiefe errichtet wird, z. B. im Maßstab 1:100. Durch dieses Modell lässt man über einige Wochen oder Monate eine in der Modellrechnung gefundene Wassermenge fließen, die den Sand in einer gewissen Korngröße an den kritischen Stellen so ablagert, wie dies später im Großen geschehen wird. Während der Versuchszeiten werden die Modelle immer wieder verändert, bis eine optimale Form gefunden ist.

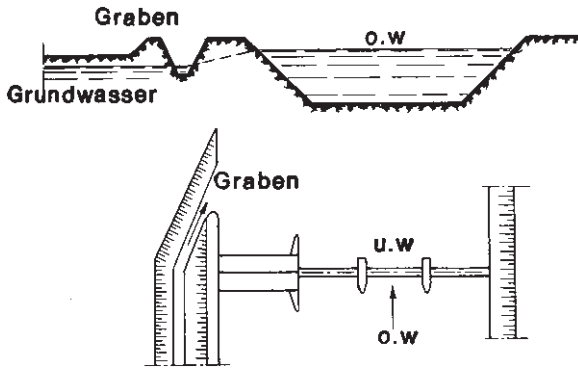


Abb. 6.1: Einregulierung des Grundwassers mittels Graben oder Gerinne

Im Allgemeinen gilt die Regel bei Wasserbauvorhaben, einen Fluss so wenig wie möglich hinsichtlich Linienführung, Wassermenge und -geschwindigkeiten, Flussbreiten und Hochwasserquerschnitt zu verändern. Durch den für die energetische Nutzung notwendigen Stau ist das aber nur bedingt möglich. Bei richtiger Planung ist aber eine Stauerrichtung landschaftlich meist ein Gewinn. Viel gravierender können die Auswirkungen der Wasserbauten auf das Unterwasser sein, die für die Felder der Anrainer positiv, aber auch absolut untragbar sein können; denn oberhalb der Kraftstufe wird das Wasser um mehrere Meter angehoben und unterhalb durch die Ausbaggerung abgesenkt. Das muss aber nicht sein. Liegt das Oberwasser z. B. über der Flusshöhe, so kann der Oberwasserspiegel mittels eines Grabens neben dem Fluss (siehe Abbildung 6.1) abgebaut werden. Führt man den Reguliergraben auf der Unterwasserseite entlang des Flusses weiter, so kann damit das durch die Ausbaggerung abgesenkte Grundwasser in den Feldern wieder angehoben werden. Der Kraftwerksbauer ist zu solchen Maßnahmen verpflichtet. Es ist eine einmalige Ausgabe. Wenn sich in dem Gerinne, infolge der Bodenverhältnisse, nicht der gewünschte Wasserspiegel einstellt, kann mit kleinen Pumpen, die vom Grundwasserspiegel gesteuert werden, nachgeholfen werden. Mit einer solchen Grundwasserregelung werden z. B. die Felder und der Ort Grafenrheinfeld vor einem zu hohen Grundwasser geschützt, das durch den Aufstau am Mainkraftwerk Garstadt entstand.

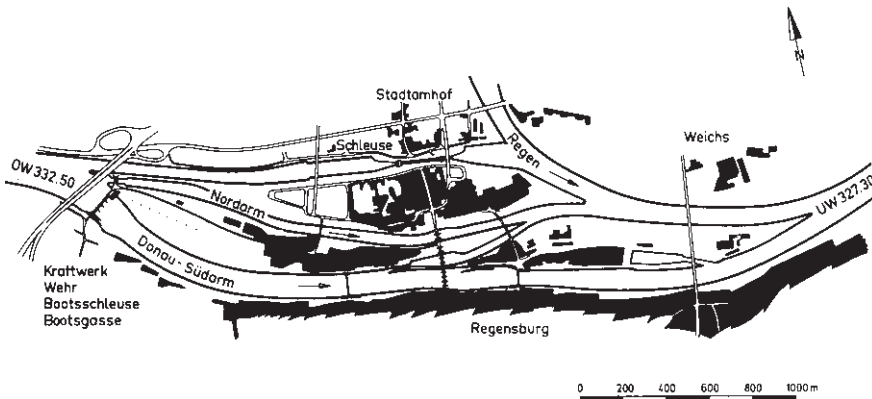


Abb. 6.2: Modell für den Durchgang der Großschiffahrtsstraße mit Kraftwerk durch die Stadt Regensburg (Quelle: Rhein-Main-Donau AG)

Ganz besonders bei Großwasserkraftanlagen und bei Flusskraftwerken innerhalb von Städten sind genaue Grundwasserstudien mithilfe von Großmodellversuchen unabdingbar. So konnte durch die eingehenden Studien und Modellversuche etwa ein geradezu klassisches Ergebnis einer gelungenen Lösung erzielt werden.

Die örtlichen Gegebenheiten eines Flusses haben großen Einfluss auf die jeweilige Bauweise der Kraftwerke. Man unterscheidet fünf Flusskraftwerks-Bauweisen.

6.1.1.1 Das Maschinenhaus liegt im Flussquerschnitt

Das Kraftwerk kann entweder im Fluss oder an einer Seite platziert werden. Auf einer geraden Strecke des Flusses besteht strömungstechnisch kein Unterschied, ob das Kraftwerk links oder rechts des Flusses errichtet wird. Lediglich die Drehrichtung der Turbinen ändert sich. Liegt das Kraftwerk auf der linken Seite, so sollen die Turbinen eine Drehrichtung im Uhrzeigersinn (von oben gesehen) haben. Liegt es auf der rechten Seite, ist die Drehrichtung der Turbine linksdrehend. Damit strömt das Wasser am Turbinenauslauf so aus, dass es der Flussmitte zufließt und nicht gegen die Böschung. Das würde die natürliche Wirbelbildung nur noch erhöhen.

Wie Abbildung 6.3 zeigt, holt die wasserseitige Turbine sich aus der Wasserfläche des anliegenden Wehrverschlusses Betriebswasser, was zu Wirbeln vor dem Rechen führt, die so stark werden können, dass sich ein Trichter bildet, der die Leistung der Turbine um über 1 % mindern kann. Die Verhältnisse werden günstiger, wenn die Wehrachse zum Oberwasser hin verlegt wird. Bei einem fertigen Kraftwerk sind solche Maßnahmen natürlich nicht mehr möglich. Aber man kann nachträglich noch eine Leitwand einbauen, die die Zuströmung zur Turbine befriedigend verbessert. Die richtige Form und Lage können nur im Modellversuch gefunden werden.

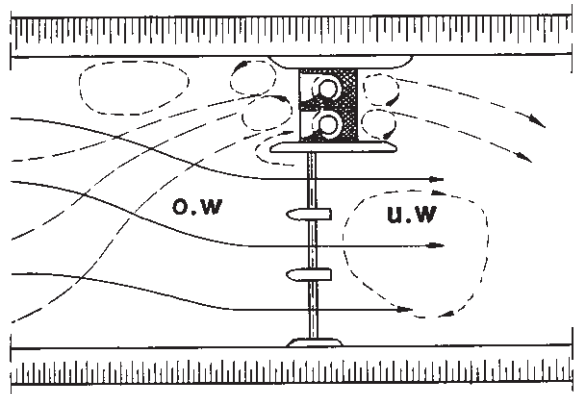


Abb. 6.3: Strömungsbild eines Flusskraftwerks im Ober- und Unterwasser mit Trennpfeiler am Kraftwerk, bei einer Überausbauwassermenge mit Wasserabfuhr über die Wehre

6.1.1.2 Das Buchtenkraftwerk

Hauptsächlich aus dem Grund, den Hochwasserquerschnitt des Flusses durch das Kraftwerk nicht zu schmälern, baggert man am Fluss eine Bucht von der Größe der Kraftwerkslänge und der notwendigen Zu- und Abflussquerschnitte aus.

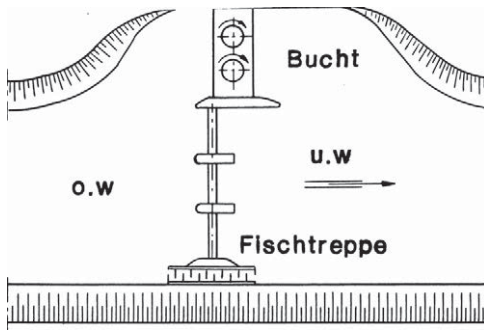


Abb. 6.4: Schema eines Buchtenkraftwerks

Ein weiterer Vorteil dieses Kraftwerkstyps ist, dass die Baugrube leichter und kostengünstiger abgedämmt werden kann. Man zieht eine Spundwand über die ganze Bucht und alle Arbeiten können im Trockenen durchgeführt werden. Das Sickerwasser kann mithilfe einer Unterwasserpumpe mit Niveauschaltung automatisch in der Baugrube niedrig gehalten werden.

6.1.1.3 Kraftwerke in Flussmitte

Die Lage eines Wasserkraftwerks in der Flussmitte wird meist vom Untergrund her bestimmt. Es gibt auch Situationen z. B. in Städten, wo das Ufer so verbaut ist, dass ein Kraftwerk außerhalb des Flusses keinen Platz hat oder wo ein Werk in der Mitte zugleich als Teil einer Brücke dienen soll.

In engen und felsigen Tälern legt man die Kraftwerke oft nicht nur in den Fluss, sondern orientiert die Längsachse in Flussrichtung und nicht quer zur Strömung. Das hat jedoch eine doppelte Umlenkung des Betriebswassers zur Folge und zwar einmal vor der Turbine und auch nach dem Turbinenauslauf. Etwas Schwierigkeiten macht die Rechenreinigung, da die Wasserströmung das Rechengut nicht an den Rechen drückt wie in der Normallage eines Flusskraftwerks. Nur das Schwemmgut, das sich in unmittelbarer Nähe des Turbineneinlaufs befindet, wird an den Rechen gezogen. Eine allgemeine Reinigung des Flusses ist bei dieser Bauweise nicht möglich. Doch dazu ist der Betreiber einer Wasserkraftanlage auch nicht verpflichtet.

6.1.1.4 Pfeilerkraftwerke

Die Vorbedingungen für ein Pfeilerkraftwerk sind ähnlich wie in Abschnitt 6.1.1.3. Die Strömungsverläufe sind jedoch weitaus besser, ja geradezu ideal. Der gleichmäßig verteilte Abfluss des Gewässers bleibt ähnlich, wie er vor dem Ausbau des Flusses gewesen war. Auch an der Hochwasserabführung ändert sich gegenüber dem unverbauten Fluss wenig.

Dazu kommt der große Vorteil, dass durch die Doppelnutzung der Wehrpfeiler für die Stauerichtung und das Kraftwerk die Flussbreite sich nur wenig erweitert. Nicht zuletzt ergibt sich durch die Doppelnutzung des Pfeilers auch ein wirtschaftlicher Vorteil. Seit den Dreißigerjahren wird deshalb diese Bauform immer häufiger gewählt. Einen gewissen Nachteil bringt die Dezentralisierung der Kraftanlage in mehrere Krafthäuser über die ganze Flussbreite verteilt mit sich. Im Zeitalter der Elektronik, der Fernbedienung und Fernüberwachung haben diese Nachteile sehr an Boden verloren.

Ein weiterer Nachteil der Pfeilerbauweise ist der, dass für den Betrieb und die Zufuhr von Material und Maschinenteilen eine Straße über die Kraftanlage führen muss. Doch meist nutzt

man das Vorhandensein eines Kraftwerks im Fluss sowieso dazu, eine Straße über den Fluss zu führen, da die Fundamente schon vorhanden sind. Ein Vorteil der dezentralen Bauweise ergibt sich besonders während der Montage, da immer nur ein Teil der Kraftanlage umspundet werden muss. Das erleichtert nicht nur die Wasserhaltung in der Baugrube, sondern hält immer einen ausreichenden Querschnitt für die Hochwasserabführung frei, ein Problem, dem man immer eine große Aufmerksamkeit schenken muss.

Die Rechenreinigungsanlage muss hier kontinuierlich und automatisch erfolgen, da das Rechengut kaum an Land gebracht werden kann, gesetzlich jedoch das Schwemmgut in seinem Anfall nicht verändert werden darf. Herausgenommenes Schwemmgut darf nicht wieder eingebracht werden.

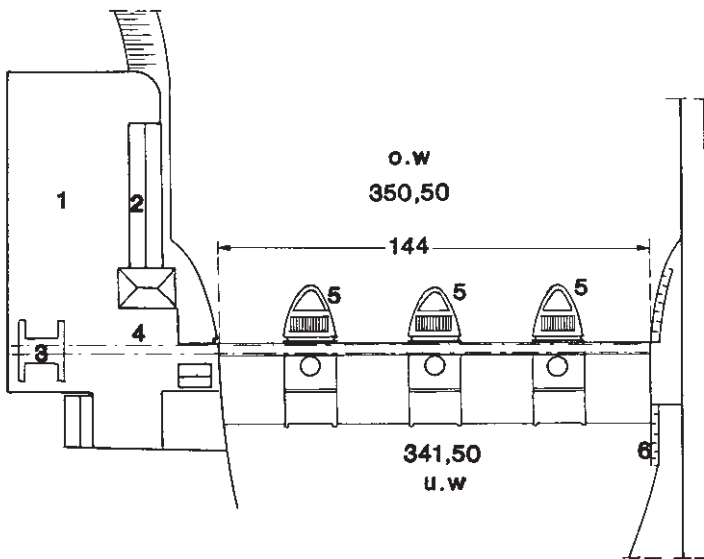


Abb. 6.5: Grundriss des Pfeilerkraftwerks Lavamünd an der Drau/Österreich
1100-kV-Schaltanlage, 2 Niederspannungsschaltanlage, 3 Portalkran,
4 Krangelaise, 5 Kraftpfeiler, 6 Fischtreppe

6.1.1.5 Kanal- und Umleitungskraftwerke

Flüsse mit großen Schleifen ermöglichen es, durch Stichkanäle den Fluss abzukürzen und so das Gefälle der großen Schleifenstrecke auf einen kurzen Kanal zu übertragen. Die große Mainschleife z. B. bei Volkach, die sich um einen großen Weinberg windet und einen fast geschlossenen Ring bildet, wurde durch einen kurzen Kanal bei Gerlachshausen kurzgeschlossen. Dadurch konnte das romantische Tal beim Ausbau der Großschiffahrtsstraße unangetastet bleiben. Das Kraftwerk Volkach in der Schlei sorgte durch den Stau sogar für die Erhaltung des Kleinklimas, das für die Weingüte wesentlich ist. Der Betreiber des Kraftwerks Volkach bekam die Auflage, die Wassermenge in der Schleife nicht unter $40 \text{ m}^3/\text{s}$ absinken zu lassen, sofern nicht der natürliche Zufluss kleiner war. Das Kanalkraftwerk Gerlachshausen darf deshalb nur bei Wassermengen über $40 \text{ m}^3/\text{s}$ in Betrieb genommen werden, was sich trotzdem lohnt, da in Gerlachshausen statt der Fallhöhe in Volkach von 3 m im Mittel 6 m zur Verfügung stehen.

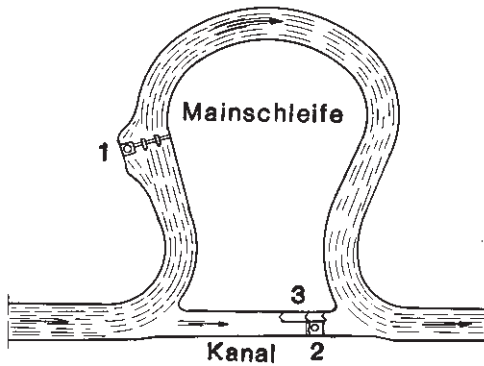


Abb. 6.6: Skizze einer Flussschleife am Main mit Abkürzungskanal
 1 Kraftwerk Volkach, 2 Kanalkraftwerk Gerlachshausen, 3 Schleuse Gerlachshausen

Der Grund für den Abkürzungskanal war weniger die Gewinnung der großen Fallhöhe für ein Kraftwerk als die Notwendigkeit, für die Schubschifffahrt einen sicheren Weg zu schaffen. Die Wünsche nach Energieerzeugung, sicherer Schifffahrt und ökologische Forderungen konnten hier bestens in Übereinstimmung gebracht werden.

6.1.2 Offene Triebwasserleitungen

Sieht man von felsigem Gelände ab, so nehmen die Wasserläufe meist einen trapezförmigen Querschnitt an. Entsprechend der Zusammensetzung des Erdmaterials bilden sich von selbst die Böschungswinkel, die sich bei den gegebenen Verhältnissen stabilisieren. Beim Ausbau eines Flusses zu einem Triebwerkskanal tut man gut daran, diese Winkel beizubehalten. Wo dies nicht möglich ist, müssen die Böschungen befestigt werden und mit zunehmender Steilheit durch Mauern ersetzt werden. Die Sohle des freien Gewässers wird man bei reiner Kraftnutzung einigermaßen belassen können, da sich auf der freien Strecke am Fließverlauf nicht viel ändern wird, ob der Fluss ungenutzt ist oder Turbinen antreibt. Soll das Gewässer jedoch schiffbar werden, so ist eine Wassertiefe auf die Breite des schiffbaren Flussprofils von 3,5 m zu garantieren. Das hat immer umfangreiche Bagger- und Böschungsarbeiten zur Folge. Dazu wird viel fremdes Schüttgut herangefahren, dessen natürlicher Böschungswinkel sich von dem unbebauten Zustand stark unterscheiden kann und nach dem sich die Böschungswinkel richten.

Die Werte aus Tabelle 6.1 dürfen dabei nicht überschritten werden.

Tabelle 6.1: Böschungsneigungen

Fließgeschwindigkeit und Material	Böschungsneigungen
Sand, unverkleidet, 0,2 m/s	1:2
Lehm, unverkleidet, 0,6 m/s	1:3
Kies, unverkleidet, 1 m/s	1:1,5
Gestein/Sand, unverkleidet, 2 bis 4 m/s	1:(0,5 bis 1)
Beton mit sandhaltigem Wasser, 3 m/s	1:0
felsiger Boden, bis zu 8 m/s	1:0,1

Selbstverständlich ist jede Böschung zu verkleiden. Im Wellenbereich wird man oft um einen Steinwurf nicht herum kommen. Darüber folgt begrünter Humus und über der Hochwasserkote ein Gürtel von Büschen und Stauden. Es ist heute selbstverständlich, dass man keine unbepflanzten Beton- oder Steingerinne anlegt.

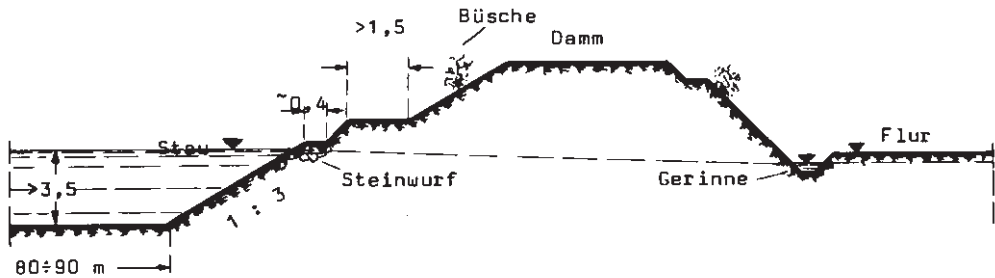


Abb. 6.7: Beispiel eines schiffbaren Flussquerschnitts mit Entwässerungsgerinne nach Fertigstellung

Es lässt sich beim Ausbau eines Flusses kaum vermeiden, dass die Strömungsgeschwindigkeiten nach dem Ausbau etwas höher liegen als beim unbebauten Fluss und zwar vor allem bei Hochwasser, was einesteils sogar erwünscht sein kann, weil größere Mengen Wasser abgeführt werden können. Das kann aber auch die Überschwemmungsgebiete lediglich verlagern.

Der Ausbau eines Gewässers hat auch zur Folge, dass sich die Rauigkeit der Sohle und der Böschungen verändert. Wenn auch das Gefälle über größere Strecken beim Ausbau unverändert bleiben wird, so können die Fallhöhenverluste infolge der Reibung des Flussbetts doch etwas andere Werte annehmen als vor dem Ausbau.

Die Berechnung der Fallhöhe eines Flussabschnitts muss wohl immer dem Hydrogeologen vorbehalten bleiben. Die Differenz der Höhenkoten am Ort des geplanten Kraftwerks und an der oberen Stauwurzel bringt nur die theoretisch mögliche Fallhöhe, die mithilfe der Rauigkeitsberechnungen auf der Staustrecke und der Reibungswiderstände korrigiert werden muss, siehe auch Abschnitt 7.1.1.

Flussbegradigungen sind sicher nur in wenigen begründeten Fällen erwägungswürdig. Wirtschaftliche Gründe reichen nicht aus. Was für das Energieversorgungsunternehmen wirtschaftlich sein kann, ist volkswirtschaftlich noch lange nicht sinnvoll, wenn Schäden durch Hochwasser oder im ökologischen Bereich auftreten, die vom Staat oder den Gemeinden beseitigt werden müssen. Das Verursacherprinzip setzt sich hier richtigerweise immer mehr durch, sodass man es sich gut überlegen muss, ob die Priorität der eigenen Wirtschaftlichkeit nicht eine Lawine von Regresspflichten auslösen kann, die nachträglich die Wirtschaftlichkeit infrage stellen.

Die Aufgaben des Projektträgers beim Flussbau enden jedoch nicht bei der Gestaltung der Böschungen, so wertvoll es auch ist. Der Eingriff in einen Flusslauf ist auch immer ein Eingriff biotopischer Art. Die Flüsse haben in Tausenden von Jahren Biotop entwickelt, in deren Feuchträumen eine ganz spezifische Pflanzen- und Tierwelt lebt, die nicht ohne Einfluss auf die Gesamtheit ist. Die Anhebung oder Absenkung des Grundwassers durch Staumanipulation

nen können sich schon bei geringen Änderungen katastrophal auswirken und ein weit größeres Gebiet beeinträchtigen als das direkt betroffene Biotop.



Abb. 6.8: Vorbildlich angelegte Böschung mit Böschungsweg beim Donau-Kraftwerk Dillingen
(Foto: Rhein-Main-Donau AG)

Die Abdichtung und der Schutz der Böschungen gegen Wellenschlag sind bei lehm- und sandhaltigen Böden meist vonnöten. Beton und Asphalt unter der Wasserlinie sind sicher gut, aber oft nicht nötig. Sie haben außerdem einen so geringen Reibungsfaktor, dass die Hochwassergeschwindigkeiten unzulässig anwachsen können und in Biegungen oder beim Übergang zum gewachsenen Kanal Rückstauüberschwemmungen verursachen können. Querswellen alle paar hundert Meter im Flussbett sind meist notwendig. Die kritische Zone der Böschungen liegt im Stauspiegelbereich. Dort wird eine Pflasterung mit Fugenbewachsung kaum zu umgehen sein.

Statt Beton oder Asphalt in diesem Bereich kommt eine Schotterung oder ein Steinwurf von 30 cm Stärke der Natur näher. Bei einem Fluss mit Großschifffahrt erreicht die Steinlage eine Stärke von einem Meter. Schilfgewächse sind geeignet, die naturfremde Einrahmung des Flusses zu verbergen. Auf die in jedem Fall notwendige Bepflanzung wurde schon hingewiesen.

Wenn keine Großschifffahrt vorgesehen ist, besteht meist die ideale Lösung darin, den natürlichen Stromverlauf beizubehalten, wenn der Fluss nicht allzu sehr mäandert. Sollte dennoch eine Begradigung notwendig werden, dann ist es wünschenswert, die ehemaligen Flussschleifen als Altwasser für die Laichplätze zu erhalten.

Aufgefüllte Böschungen über dem Stauspiegel sollten nicht steiler als 1:1,5 errichtet und mit Mischgras begrünt werden.

Bermen (Böschungsabsätze) mit Wegen sind nur dort erforderlich, wo man mit Unterhaltsarbeiten rechnen muss. Je nach der Fließgeschwindigkeit sollten alle 200 bis 500 m Treppen in die Böschungen eingebaut werden, evtl. sogar bis zur Sohle, um Personen, die sich im Wasser befinden, das Aussteigen zu ermöglichen. Die Oberkanten der Böschungen sollten immer gut abgerundet werden, damit bei starken Regenfällen kein Erdrutsch entstehen kann.