

Externe Effekte der Laufwasserkraftnutzung

Von der Fakultät Bau- und Umweltingenieurwissenschaften
der Universität Stuttgart zur Erlangung der Würde
eines Doktors der Ingenieurwissenschaften (Dr.-Ing.) genehmigte Abhandlung

Vorgelegt von
Beate Kohler
aus Stuttgart

Hauptberichter: Professor Dr.-Ing. habil. Dr.-Ing. E. h. Jürgen Giesecke
Mitberichter: Professor Dr. rer. pol. habil. Siegfried Franke

Tag der mündlichen Prüfung: 24. Juli 2006

Institut für Wasserbau der Universität Stuttgart

2006

Heft 149 Externe Effekte der
Laufwasserkraftnutzung

von
Dr.-Ing. Beate Kohler

D93 Externe Effekte der Laufwasserkraftnutzung

CIP-Titelaufnahme der Deutschen Bibliothek:

Beate Kohler

Externe Effekte der Laufwasserkraftnutzung/
von Beate Kohler. Institut für Wasserbau, an der
Universität Stuttgart. - Stuttgart: Inst. für Wasserbau der Univ., 2006
(Mitteilungen/Institut für Wasserbau, Universität Stuttgart; H. 149)
Zugel.: Stuttgart, Univ., Diss. 2006
NE: Institut für Wasserbau < Stuttgart >: Mitteilungen
ISBN 3-933761-52-2; ISSN 0343-1150

Gegen Vervielfältigung und Übersetzung bestehen keine Einwände, es wird lediglich um Quellenangabe gebeten.

Herausgeber: Eigenverlag des Instituts für Wasserbau, Universität Stuttgart, 2006
Druck: e. kurz + co druck und medientechnik gmbh, Stuttgart

VORWORT

1 Veranlassung

Die Nutzung der Wasserkraft als gesellschaftliche Aufgabe

In der Entwicklung der Menschheitsgeschichte spielen von Anfang an das örtliche Wasservorkommen und dessen Nutzung sowie der Schutz gegen drohende Gefahren durch das Wasser eine ausschlaggebende Rolle. Ob Wasserversorgung, landwirtschaftliche Bewässerung, Entwässerung mit Bewirtschaftung des verfügbaren Wassers, Schiffstransport oder Hochwasserschutz mussten Bauten, d. h. Talsperren, Kanäle, Verteilungssysteme, Schleusen, Schiffsanlegestellen, Uferdämme und dgl. m. geschaffen, betrieben und erhalten werden. Mit „Hydraulic Civilizations“ wurden jene ersten großen 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 haben.

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. Wind unterstützte Schifffahrt auf Flüssen und in Küstengewässern ist seit etwa 3000 v. Chr. belegt. Rund 1.000 Jahre später gelang die Nutzung der Wasserkraft, d. h. der dem Wasser innewohnenden Kräfte, nämlich des Arbeitsvermögens eines über dem Nutzungsstandort höher gelegenen Wassers mit Umsetzung von Lageenergie (potentielle Energie) und Bewegungsenergie (kinetische 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.

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

Die Leistung eines Wasserkraftwerkes 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, heimische, regenerative, d. h. erneuerbare Energiequelle. Jede hiermit erzeugte kWh ersetzt rund 1 kg Kohlendioxyd, 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, Naturpflegender und städtebaulicher Aufgaben im Rahmen sog. Mehrzwecknutzungen.

Energiefragen stehen in den letzten Jahrzehnten permanent im Zentrum des öffentlichen Interesses. Dabei wird bei den derzeit laufenden Überlegungen zu einem langfristigen, nachhaltigen Wandel der Stromerzeugung ein besonderes Augenmerk auf die Wasserkraft als emissionsfreie Energiequelle gerichtet. Die große Wasserkraft ist ein langfristig ausgerichteter Wirtschafts-

zweig. Der Bau von Wasserkraftanlagen ist kostenträchtig und dauert lange. Die hohen Gesteungskosten resultieren aus der Ableitung des Triebwassers aus dem Wasserlauf, der Zuführung und Rückgabe. Die Hauptbauwerke sind die Stauanlage (Wehr, Talsperre), die Triebwasserleitung und das Krafthaus einschließlich der maschinen- und elektrotechnischen Ausrüstungen. Die Wasserkraftanlage muss am Standort möglichst unauffällig in eine ästhetisch und ökologisch geprägte Flusslandschaft eingefügt werden. Dagegen steht die Antriebskraft des zufließenden Wassers nahezu kostenlos zur Verfügung, sieht man von Wassernutzungsgebühren und Betriebskosten ab.

Typenvielfalt von Wasserkraftwerken

Je nach Schwerpunktsetzung in der Klassifizierung von Wasserkraftanlagen kann nach flussbaulichen und bautechnischen Gesichtspunkten, nach topographischer Lage, Fallhöhe, Leistung und Betriebsweise oder nach wasser- und energiewirtschaftlichen Gegebenheiten unterschieden werden. Offensichtliche Hauptmerkmale bestehen beispielsweise bei Laufwasserkraftwerken und Speicherkraftwerken.

Laufwasserkraftwerke nutzen das natürliche Wasserdargebot ohne nennenswerte Speicherung entsprechend ihrem Ausbaugrad permanent während des ganzen Tages und stellen daher Grundlastenergie bereit. In Deutschland sind es derzeit 7.500 Wasserkraftanlagen, die mit 4.620 MW installierter Leistung im langfristigen Mittel jährlich 26 Mrd. kWh elektrischen Strom liefern. Hierunter reihen sich insgesamt 156 Laufwasserkraftwerke ein, die den jeweilig anfallenden Zufluss unverzögert verwerten und eine installierte Leistung von mindestens 5 MW haben. Sie weisen in der Summe 2.548 MW und ein Regelarbeitsvermögen von 14,3 Mrd. kWh auf. In absehbarer Zeit vergrößern sich durch Neu- und Ausbauten sowie Modernisierung bestehender Anlagen diese Kennwerte.

Gesamtgesellschaftliche Bewertungsansätze

Gesamtgesellschaftliche Bewertungsansätze kommen bei Wasserkraftprojekten neben der heute selbstverständlichen Prüfung der Umweltverträglichkeit im Rahmen von Genehmigungsverfahren zur Anwendung. Hierzu zählen beispielsweise Vergleiche zwischen unterschiedlichen Energieerzeugungsformen oder Prüfungen und Bewertungen von bestehenden Anlagen. Verschiedenartige Zertifizierungsverfahren gehen meistens von den sog. internen und externen Effekten aus.

Unter den internen Effekten versteht man jene, die aus innerbetrieblichen Zwängen in Maß und Zahl erfasst werden müssen und schließlich als monetäre Größen in die unternehmerischen Erfolgsrechnungen entsprechend ihrem Ertrag oder ihrer Aufwendung einfließen, also bereits internalisiert sind.

Die zusätzlichen, im weiteren Umfeld entstehenden Wirkungen werden schließlich als sog. externe Effekte bzw. Sozialkosten und Sozialnutzen bezeichnet. Diese Effekte werden nicht über den Markt erfasst und monetär bewertet. Entsprechend der Kostenart können diese zwei Gruppen zugeordnet werden.

Die erste Gruppe sind die externen Kosten, die eine Beeinträchtigung darstellen, die durch ein Vorhaben einem Dritten, häufig der Allgemeinheit, zugefügt werden, ohne dass der Betroffene entschädigt wird. In die zweite Gruppe sind die externen Nutzen einzureihen, die umgekehrt einem Dritten, häufig der Allgemeinheit, durch ein Vorhaben einen Vorteil zuteil werden lassen, ohne dass der Nutznießer diesen abgelten würde.

Zielsetzung der Forschungsarbeit

Die bisher im Bereich der Energieversorgung und darunter der Wasserkraft vorgenommenen wenigen ersten Untersuchungen über die vorgenannten Bewertungsansätze zeigen, dass man bei einer korrekten natur- und ingenieurwissenschaftlichen Identifizierung und Quantifizierung der internen und externen Effekte zu verhältnismäßig realistischen Ergebnissen gelangen kann, wobei jedoch noch geeignete Praktiken fehlen, diese Bewertungsergebnisse korrekt in ein kombiniertes, mit der betriebswirtschaftlichen Komponente verbundenes Gesamtverfahren einzubinden.

Von entscheidender, grundsätzlicher Bedeutung ist, dass bei solchen Analysen nicht mehr oder minder ausschließlich nur die externen Kosten betrachtet werden, sondern auch die externen Nutzen den ihnen gebührenden Raum einnehmen. Bis zuletzt dürfte eine derartige umfassende Bilanz zusätzlich zu einer besseren Vergleichbarkeit der verschiedenen Energiegewinnungsmöglichkeiten führen, die nicht allein von der jeweils vermeintlich politisch vorherrschenden Auffassung abhängig ist. Die Bestimmung der externen Effekte läuft auf eine interdisziplinäre Betrachtungsweise hinaus, in die sowohl ingenieur- und wirtschaftswissenschaftliche Fakten einfließen als auch Ökologie, Recht und Soziologie ihren Stellenwert haben.

Hier setzt die vorliegende Promotionsschrift als ein für die Baupraxis bedeutsames Forschungsvorhaben an. Um den Rahmen nicht zu sprengen, wird angesichts der eingangs erwähnten Typenvielfalt von Wasserkraftanlagen diese Arbeit auf Laufwasserkraftanlagen beschränkt, ohne die grundsätzliche Übertragbarkeit der Untersuchungsergebnisse auf andere Wasserkraftwerke in Frage zu stellen.

2 ZUM INHALT

Die Verfasserin schildert im 1. Kapitel eingehend die Problemstellung, die Zielsetzung der Untersuchungen und den gegliederten Lösungsweg. Die zugehörige grafische Darstellung zeigt die Vorgehensweise auf, beginnend mit der Einbeziehung von externen Effekten in die Entscheidungsfindung über deren Internalisierung, mit der Beschränkung auf Laufwasserkraftanlagen und in der Quantifizierung über sich anbietende Bewertungsverfahren bis hin zur theoretischen Fundierung und praktischen Anwendung des zu erarbeitenden Instrumentariums.

Das 2. Kapitel befasst sich ausführlich mit der Problemstellung externer Effekte und mit den sinnvoll in Frage kommenden Bewertungsverfahren, die ihren Bezug zu den Wirtschaftswissenschaften vornehmlich haben. Die zu überwindenden Schwierigkeiten der geeigneten, d. h. aussagekräftigen Erfassung externer Effekte liegen in der einer Definition und einer Monetarisierung schwer zugänglichen Charakterisierung dieser Parameter. Beispielsweise lassen sich keine oder nur unzureichende Kompensationszahlungen leisten, da weder Kosten noch Nutzen marktwirtschaftlich zu berücksichtigen und in Geldeinheiten ausdrückbar sind. Hinzu kommt, dass keines unter den gängigen allgemeinen Bewertungsverfahren zur Internalisierung eine in jeder Weise optimale Aussagekraft sichert, sondern Vor- und Nachteile je nach Zielsetzung einschließt. Mit dieser Problematik setzt sich gleichfalls die Doktorandin aufschlussreich auseinander.

Im 3. Kapitel steht die umfassende Katalogisierung aller bei Laufwasserkraftwerken festzustellenden externen Effekte im Vordergrund, die erstmalig in dieser Teildisziplin der elektrischen Energiegewinnung mittels Wasserkraft erfolgt und à priori einen hohen Stellenwert erlangt. Die sicherlich überraschende Vielzahl solcher Einflussfaktoren, die in 41 Tabellen nach Zuordnung zu Wirkungsfeldern, Wirkungszeit, Kosten und Nutzen zusammengestellt sind, erklärt sich aus der Mehrzwecknutzung, die in der Regel mit Stauanlagen und Wasserkraftwerken dutzendfach je

nach Örtlichkeit, Funktionsweise und Wirtschaftlichkeit im betroffenen Einzugsgebiet des genutzten Gewässerlaufes verknüpft werden kann.

Die so zustande gekommene Bewertungsmatrix unterstreicht mithin nicht nur die mühevoll Analyse der vielschichtigen Zusammenhänge, sondern auch die Sorgfalt der Vorgehensweise. Auf dieser Bewertungsmatrix baut das 4. Kapitel mit der praktikablen Erfassung und Quantifizierung externer Effekte auf, woraus in weiteren Untersuchungsschritten das für Entscheidungsprozesse geeignete Bewertungsverfahren zu entwickeln ist. Schon allein das herausgegriffene Beispiel der Einbindung von Ökosystemen, ihres Leitbildes und einer Idealvorstellung eines natürlichen, unbeeinflussten Zustandes einerseits und der Verletzung durch bau- und betriebsbedingte Eingriffe in die ursprüngliche Flusslandschaft durch eine Wasserkraftanlage andererseits lässt erkennen, wie ein rein formalisiertes, von Datenquantifizierung abhängiges Verfahren scheitern muss. Ähnlich verhält es sich mit den subjektiven Wertvorstellungen im sozialen Bereich.

Ein indirekter Ausweg eröffnet sich mit der Einbindung der für Genehmigungsverfahren von Wasserkraftanlagen seit 1990 zu beachtenden Umweltverträglichkeitsprüfung und der im Jahr 2000 eingeführten EG-Wasserrahmenrichtlinie zur einheitlichen Verbesserung der Oberflächengewässer und des Grundwassers. Dasselbe gilt für das besonders in jüngerer Zeit eingeführte Verfahren des Benchmarkings, worunter die Suche nach Lösungen für Best Practices von Instrumenten, Methoden und Produktionsverfahren im kontinuierlichen Vergleich untereinander zu verstehen ist.

Wiederum werden in diesen Zusammenhängen die sich anbietenden Erfassungs- und Quantifizierungsansätze eingehend erörtert, Vor- und Nachteile einander gegenübergestellt und entsprechende Schlussfolgerungen für die Anwendbarkeit auf externe Effekte von Laufwasserkraftwerken gezogen. Eine zehneitige Tabelle zeigt für gruppenweise zusammengefasste externe Effekte die möglichen Erfassungs- und Quantifizierungsansätze für nichtmonetäre Erfahrungswerte, Befragungen und Aufnahmen vor Ort übersichtlich auf.

Im 5. Kapitel wird eine weitere Detaillierung auf der Suche nach einem geeigneten, interdisziplinären Bewertungsverfahren vorgenommen, das die Integration externer Effekte in eine Optimierung und darüber hinaus einen in sich konsistenten Vergleich von Alternativen entweder auf monetärer Basis oder durch prozentuale Bewertungsparameter oder Punktsysteme erlaubt. Die aus volkswirtschaftlichen Untersuchungen hervorgegangenen, bekannten Verfahren der Kosten-Nutzen-Analyse, der Nutzwertanalyse oder der Kosten-Wirksamkeits-Analyse kommen für die vorliegende Aufgabenstellung am ehesten in Frage. Sie bilden den Schwerpunkt der durch die Doktorandin vorgenommenen Betrachtungen hinsichtlich Durchführung, Universalität und Ergebnislage. Deutlich zeichnet sich schließlich der Lösungsweg hin zur Nutzwertanalyse ab, auch wenn eine Subjektivität in der Festlegung von Zielgewichtung und Einschätzung bestimmter Merkmale wie der Gesamteindruck von Flusslandschaften, Landschaftsästhetik und Siedlungsstrukturen bei Wasserkraftanlagen im städtischen Bereich vorhanden ist. Viel eher ist dann eine Transparenz der Beurteilungsschritte gefragt.

Auf den in den vorausgegangenen Kapiteln erarbeiteten Grundlagen baut im 6. Kapitel das von der Doktorandin entwickelte Simulations- und Bewertungsverfahren auf. Hierbei finden die vielfachen definierten externen Effekte von Laufwasserkraftanlagen nach deren Katalogisierung und Quantifizierung Eingang und werden darüber hinaus in einer Gewichtungsmatrix erfasst, womit in Abhängigkeit der Einzelkriterien Relationen untereinander begründet werden. Mit den durch ein Punktesystem vorzunehmenden Gewichtungen der für ein Wasserkraftwerksprojekt individuell maßgebenden Parameter lassen sich in deren Gesamtheit Optimierungsziele verfolgen, in denen alle Interessenlagen eingebunden werden. Gerade bei der Wasserkraftnutzung zeigt sich

die Vielfalt der Einflussfaktoren, ob es nun die örtlichen Gegebenheiten, die Planungsdaten, die gewählte Bauweise oder die Betriebsführung vor allem hinsichtlich der Wassermengenbewirtschaftung sind. Tatsächlich gelingt es, eine derartige Datenfülle in die Bewertung externer Effekte übergehen und in einem von der Nutzwertanalyse ausgehenden Simulationsverfahren – ungeachtet gewisser subjektiver Einschätzungen – für die Baupraxis verwertbar machen zu lassen.

Die notwendigen Arbeitsschritte für die Anwendung des neuartig entwickelten Simulationsverfahrens gliedern sich in Datenaufnahme und Datendarstellung, in Skalierung und Bewertung der Daten, dann in die Auswertung der erstellten Bewertungsmatrix und schließlich in die Interpretation der erhaltenen Ergebnisse. Hierbei bedarf die Überleitung der in unterschiedlichen Messwerten angegebenen Effekte in eine einheitliche Punkteskala einer besonderen Sorgfalt und transparenten Darstellung. Mit der Zusammenfassung der so erhaltenen Einzelwerte zu einem Gesamtwert unter Anwendung der Gewichtungsmatrix für die Multiplikation der Einzelwerte mit den zutreffenden Gewichtungsfaktoren erhält man zunächst die einzelnen Nutzwerte, deren Aufsummierung zum aussagekräftigen Gesamtnutzwert der betrachteten Anlage führt.

Zur Veranschaulichung dieser das aufgestellte Bewertungsverfahren kennzeichnenden Vorgehensweise dienen fünf ausgewählte, aufeinander folgende Wasserkraftanlagen unterschiedlichen Bautyps längs der Iller zwischen Aitrach und Dettingen. Von diesen näher beschriebenen Laufwasserkraftanlagen sind drei sog. Ausleitungs- bzw. Kanalkraftwerke mit vom Hauptgewässer getrennter Triebwasserzuführung, ein in der Iller angeordnetes Flusskraftwerk und ein seitlich des Stauwehres und der Kanalüberleitung gelegenes Kleinwasserkraftwerk. Für die detaillierte Erläuterung der Arbeitsschritte wird hierunter das Ausleitungskraftwerk Tannheim ausgewählt. Die Tabellen 6.3 bis 6.9 vermitteln übersichtlich die stufenweise vorzunehmende Bearbeitung der Datengewinnung und der rechnerischen Behandlung zur Gewinnung des Gesamtnutzwertes als Gesamtergebnis aller externen Nutzen und Kosten. Veränderungen von Werteziffern entsprechend der Zielsetzung eines verschiedene Bauvarianten verfolgenden Simulationsverfahrens spiegeln sich in Abb. 6.1 mit der Darstellung relativer Nutzen und Kosten wider.

Mit den übrigen Fallbeispielen ließ sich gleichfalls der Nachweis für die leichte Handhabung des vorgelegten Instrumentariums und die hohe Aussagekraft des von Frau Kohler entwickelten Bewertungsverfahrens führen. Die diesbezüglichen aufschlussreichen Ergebnisse der Gesamtnutzwerte und der Kosten- bzw. Nutzungsanteile sind der Tabelle 6.12 und der Abb. 6.6 zu entnehmen.

Im 7. Kapitel legt die Doktorandin zusammenfassende Gedanken über die theoretische Basis und die Praxistauglichkeit des von ihr erfolgreich aufgestellten, interdisziplinären Simulationsverfahrens zur Bewertung externer Effekte aus technischer, umweltrelevanter, wirtschaftswissenschaftlicher und sozialwissenschaftlicher Sicht dar. Die prinzipielle Vorgehensweise, wie sie bei Laufwasserkraftwerksanlagen artikuliert worden ist, ist auch anderen Kraftwerkstypen wie überhaupt darüber hinaus gehenden, ähnlichen Problemstellungen zugänglich. Die mit einem Stichworte enthaltenden Schema belegten Aussagen münden in die Frage über, inwieweit ein Betreiber einer die Wasserkraft nutzenden Anlage schon im Vorlauf des Planungs- und Baugeschehens, im Rahmen eines behördlichen Genehmigungsverfahrens gezwungen werden könnte, auch in einen auf viele Betriebsjahrzehnte ausgerichteten Lösungsvorschlag von vornherein externe Effekte einzubinden und gleichfalls diesbezügliche Alternativuntersuchungen bis hin zum optimierten Ergebnis durchzuführen. Die Antwort liegt in der Praxistauglichkeit des unkomplizierten Simulationsverfahrens, die tatsächlich in der vorliegenden Promotionsschrift unter Beweis gestellt werden konnte.

3 ZUSAMMENFASSENDE BETRACHTUNG

Frau Dipl.-Ing. Beate Kohler legte eine beachtliche Promotionsschrift vor. In dieser befasste sie sich mit einer seit langen Jahren immer wiederkehrenden Problemstellung in Zusammenhang mit der Projektentwicklung von Wasserkraftanlagen und den zugehörigen Ansätzen für eine systematische, umfassende Beurteilung. Hierbei sind es nicht nur die ingenieurwissenschaftlichen und betriebswirtschaftlichen Grundlagen für die Wasserkraftnutzung zur elektrischen Stromerzeugung, sondern es treten bei Planung, Entwurf und Ausführung der zugehörigen Bauwerke auch gesamtwirtschaftliche und gesamtgesellschaftliche Gesichtspunkte hinzu, die in erweiterten Nutzen-Kosten-Analysen ihren Niederschlag finden.

Für vergleichende, interdisziplinäre Untersuchungen alternativer Wasserbauprojekte spielen ebenso Umweltwirkungen eine Rolle, die heute aus Verifizierungsverfahren nicht mehr wegzudenken sind. Diese werden mitbestimmt durch interne und externe Effekte. Erstere ergeben sich aus innerbetrieblichen Zwängen in Maß und Zahl und gehen als monetäre Größen in die unternehmerischen Erfolgsrechnungen entsprechend Aufwendung und Ertrag ein. Die externen Effekte beziehen sich auf im weiteren Umfeld entstehende Wirkungen und werden als Sozialnutzen und Sozialkosten verstanden. Sie sind einer monetären Bewertung nicht oder nur sehr schwer zugänglich.

Mit dem von Frau Kohler entwickelten, neuartigen Bewertungs- bzw. Simulationsverfahren lassen sich diese externen Effekte grundsätzlich in einen ökonomischen Ansatz einer Nutzwertanalyse einfügen, indem ingenieurwissenschaftliche, umweltrelevante bzw. ökologische und soziologische Komponenten zusätzlich diesen erweitern. Dazu dienen nach Definition vielfältiger externer Effekte deren Katalogisierung, Quantifizierung und Gewichtung. Die aufgezeigten Verfahrensschritte erstrecken sich auf Fluss- bzw. Laufwasserkraftwerksanlagen.

Mit fünf variantenreichen Fallbeispielen unter Heranziehung der Kraftwerkskette an der oberen Iller wird die hohe realitätsnahe Aussagekraft des erarbeiteten Simulationsverfahrens eindeutig bewiesen. Ohne Einschränkung kann dieses sowohl auf andere Typen von Wasserkraftanlagen als auch auf andere ähnlich gelagerte Wasserbauprojekte übertragen werden.

Abschließend sei festgehalten, dass die „Stiftung Energieforschung Baden-Württemberg“ das der Dissertation zugrunde liegende Forschungsprojekt mit einer mehrjährigen finanziellen Förderung unterstützt hat. Für diese großzügigen Zuwendungen seien an dieser Stelle Anerkennung und Dank durch die Universität Stuttgart ausgesprochen.

Stuttgart, im Juli 2006

Jürgen Giesecke

DANKSAGUNG

An erster Stelle gilt mein Dank meinem Doktorvater, Prof. Dr.-Ing. habil. Dr.-Ing. E. h. Jürgen Giesecke. Er begleitete meine Arbeit stets mit großem Interesse und trug durch seine zahlreichen Anregungen und wertvollen Tipps maßgeblich zur Fertigstellung dieser Arbeit bei. Herrn Prof. Dr. rer. pol. habil. Siegfried Franke danke ich für die Übernahme des Koreferats und sein Entgegenkommen, das einen so raschen Prüfungstermin ermöglichte.

Diese Arbeit entstand im Rahmen eines Förderprojekts der Stiftung Energieforschung Baden-Württemberg (SEF), ohne deren finanzielle Unterstützung die Bearbeitung dieser Dissertation viel schwieriger geworden wäre. Daher möchte ich mich an dieser Stelle herzlich für die Förderung bedanken.

Ein großer Dank geht auch an die EnBW Kraftwerke AG. Durch ihre bereitwillige Unterstützung und die schnelle Bereitstellung aller notwendigen Daten der in dieser Arbeit betrachteten Beispielanlagen haben sie mir die Arbeit sehr erleichtert. In diesem Zusammenhang sei insbesondere Herr Klaus Kallweit, Betriebsleiter Illerkraftwerke, genannt.

Besonders hervorzuheben ist die tatkräftige Unterstützung von Herrn Dr. Stephan Heimerl, der mir stets mit weiterführenden Informationen und Daten geholfen hat. Ihm gebührt zudem ein besonderer Dank für seine große Diskussionsbereitschaft und seine konstruktiven Ideen, die beim Entstehen der Arbeit von großer Bedeutung waren. Seine Dissertation bildete letztendlich den Ausgangspunkt meiner Überlegungen und Untersuchungen.

Nicht zuletzt möchte ich mich bei allen Kollegen und Freunden am IWS für die kollegiale Zusammenarbeit und das stets gute Arbeitsklima am Institut bedanken. Besonders wichtig sind in diesem Zusammenhang Simone Mödinger, Jantje Samtleben, Jens Wolf, Johanna Jagelke, Philipp Greiner, Vlad Rojanski, Jürgen Brommundt und Jens Mödinger für mich gewesen, die mich stets unterstützt haben.

Einen ganz besonderen Beitrag zu dieser Arbeit und damit ein ganz besonders herzlicher Dank gebührt Ilga Gebert und Benedikt Haubelt. Ohne ihre Unterstützung wären die letzten Wochen meiner Dissertation nicht nur härter, sondern auch nur halb so entspannt gewesen. Neben ihrem unermüdlichen Einsatz beim Korrekturlesen und ihrer fachlichen, volkswirtschaftlichen Beratung haben sie mich auch noch in dieser Zeit in München beherbergt und bestens gepflegt.

Ein herzlicher Dank gebührt den Familien Fellmeth und König, bei denen ich stets willkommen war und die jederzeit für mich da waren. Bei meinen Patenkindern Lisa und Elias fand ich immer die notwendige Ablenkung und einen schönen Ausgleich, um mit neuem Elan und freiem Kopf an meinen Schreibtisch zurückzukehren.

Unendlich viel zu verdanken habe ich meiner Familie, die mich nach vollen Kräften in der gesamten Zeit unterstützt hat, so dass ich mich voll und ganz auf meine Arbeit konzentrieren konnte.

Stuttgart, im Juli 2006

Beate Kohler

INHALTSVERZEICHNIS

1	EXTERNE EFFEKTE IN DER ENERGIEERZEUGUNG	1
1.1	PROBLEMSTELLUNG	1
1.2	ZIELSETZUNG UND AUFBAU DER ARBEIT	2
1.3	ANWENDUNGSMÖGLICHKEITEN	5
2	THEORETISCHE BETRACHTUNG DER EXTERNEN EFFEKTE	7
2.1	DEFINITION EXTERNER EFFEKTE	7
2.2	ANSÄTZE ZUR INTERNALISIERUNG EXTERNER EFFEKTE.....	9
2.2.1	<i>Marktlösungen</i>	9
2.2.2	<i>Staatliche Lösungen</i>	11
2.2.3	<i>Schlussfolgerungen</i>	12
3	EXTERNE EFFEKTE BEI LAUFWASSERKRAFTANLAGEN.....	13
3.1	WASSERKRAFT IM VERGLEICH VERSCHIEDENER ENERGIEERZEUGUNGSFORMEN.....	13
3.2	VORHANDENE ANSÄTZE ZUR BEWERTUNG EXTERNER EFFEKTE.....	16
3.3	ALLGEMEINE BEWERTUNGSMATRIX	18
3.4	ERLÄUTERUNGEN ZUR ALLGEMEINEN BEWERTUNGSMATRIX.....	22
4	PRAKTISCHE ERFASSUNG UND QUANTIFIZIERUNG EXTERNER EFFEKTE	51
4.1	MOTIVATION FÜR DIE ENTWICKLUNG DES BEWERTUNGSVERFAHRENS.....	51
4.1.1	<i>Einsatz als Marketing- und Planungs-Tool</i>	51
4.1.2	<i>Ökonomische Analyse in der EG-Wasserrahmenrichtlinie</i>	52
4.1.3	<i>Nutzen des Verfahrens als Benchmarking-Tool</i>	54
4.2	ERFASSUNGS- UND QUANTIFIZIERUNGSANSÄTZE	56
4.2.1	<i>Monetäre Erfassungs- und Quantifizierungsansätze</i>	56
4.2.2	<i>Nicht-monetäre Erfassungs- und Quantifizierungsansätze</i>	58
4.3	ERFASSUNGS- UND QUANTIFIZIERUNGSANSÄTZE VON EXTERNEN EFFEKTEN DER LAUFWASSERKRAFT.....	59
5	ALLGEMEINE VERFAHREN ZUR INTEGRATION EXTERNER EFFEKTE IN DEN ENTSCHEIDUNGSPROZESS	70
5.1	VERFAHRENSÜBERGREIFENDE ANFORDERUNGEN UND ASPEKTE.....	70
5.1.1	<i>Anforderungen</i>	70
5.1.2	<i>Vorgehensweise</i>	71
5.2	ÜBERBLICK ÜBER DIE WICHTIGSTEN BEWERTUNGSVERFAHREN	74
5.2.1	<i>Kosten-Nutzen-Analyse</i>	74
5.2.2	<i>Nutzwertanalyse</i>	77
5.2.3	<i>Kosten-Wirksamkeits-Analyse</i>	81
5.3	AUSWAHL DER BEWERTUNGSMETHODE.....	83
5.3.1	<i>Allgemeiner Vergleich der Verfahren</i>	83
5.3.2	<i>Verfahrensvergleich in Bezug auf die Einbeziehung externer Effekte</i>	83
5.3.3	<i>Wahl der verwendeten Methodik</i>	85
6	BEWERTUNGSVERFAHREN FÜR EXTERNE EFFEKTE	87
6.1	VERFAHRENSAUFBAU UND DATENGRUNDLAGE	87
6.2	GEWICHTUNG UND GEWICHTUNGSMATRIX.....	89
6.3	DURCHFÜHRUNG DES ENTWICKELTEN BEWERTUNGSVERFAHRENS.....	95
6.3.1	<i>Datenaufnahme und Darstellung der Daten</i>	95

6.3.2	<i>Skalierung und Bewertung der Daten</i>	97
6.3.3	<i>Spezifische Bewertungsmatrix</i>	100
6.4	ERGEBNISINTERPRETATION	102
6.5	FALLBEISPIELE	105
6.5.1	<i>Allgemeine Informationen zu den Fallbeispielen</i>	105
6.5.2	<i>Datenerhebung bei den Fallbeispielen</i>	109
6.5.3	<i>Bewertung der Fallbeispiele</i>	111
6.5.4	<i>Ergebnisse des Kraftwerks Tannheim</i>	113
6.5.5	<i>Ergebnisse der Illerkette</i>	115
7	ZUSAMMENFASSENDE GEDANKEN ZUR THEORETISCHEN FUNDIERUNG UND PRAKTISCHEN EVIDENZ	117
7.1	KONZEPTION DER UNTERSUCHUNG	117
7.2	VERFAHRENAUFBAU	119
7.3	WEITERE IMPLIKATIONEN FÜR DIE WASSERKRAFT ALS ENERGIEERZEUGUNGSFORM ..	119
7.4	ABSCHLIEßENDE BEMERKUNGEN	120
8	LITERATUR	122
9	ANHANG	128
9.1	DATENERHEBUNGSBOGEN TANNHEIM	128
9.2	SPEZIFISCHE BEWERTUNGSMATRIX AITRACH	149
9.3	SPEZIFISCHE BEWERTUNGSMATRIX UNTEROPFINGEN.....	150
9.4	SPEZIFISCHE BEWERTUNGSMATRIX DETTINGEN	151
9.5	SPEZIFISCHE BEWERTUNGSMATRIX MOOSHAUSEN	152

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1.1:	Ziele und Aufbau der vorliegenden Studie	3
Abbildung 2.1:	Abhängigkeit von Angebot und Nachfrage.....	8
Abbildung 3.1:	Verfügbarkeit erneuerbarer Energiequellen [Giesecke 2004].....	13
Abbildung 3.2:	Nettowirkungsgrade verschiedener Kraftwerkstypen in Abhängigkeit der elektrischen Nennleistung [Geiger & Wagner 1997]	15
Abbildung 4.1:	Bestimmung des Benchmarking-Ansatzes [VDI 2000].....	55
Abbildung 5.1:	Akkumulierung und Diskontierung von einmaligen Zahlungen Z bzw. gleichmäßigen Zahlungsreihen z [Giesecke & Mosonyi 2005].....	75
Abbildung 5.2:	Beispiel zur Bewertungsskala: Flächenbedarf im Betrieb auf Mensch- Wohlbefinden	79
Abbildung 6.1:	Relative Attraktivität von Kraftwerksvarianten.....	104
Abbildung 6.2:	Lageplan der betrachteten Illeranlagen [EnBW 2005].....	106
Abbildung 6.3:	Lageplan des Wehres Mooshausen mit der Ausleitung in den Illerkanal und dem Kleinkraftwerk Mooshausen.....	107
Abbildung 6.4:	Grundriss des Kraftwerks Tannheim	108
Abbildung 6.5:	Schnitte durch das Kraftwerk Tannheim (links durch eine der Francisturbinen, rechts durch die Kaplan turbine)	109
Abbildung 6.6:	Relative Attraktivität der Illeranlagen.....	116
Abbildung 7.1:	Gegenüberstellung des theoretischen, wirtschaftswissenschaftlichen Ansatzes und der praktischen Umsetzung in der Wasserwirtschaft....	117

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 3.1:	Verfügbarkeit und Erntefaktoren verschiedener Energieerzeugungsformen (Stand: 2002) [Giesecke 2004]	15
Tabelle 3.2:	Zusammenstellung der externen Effekte der Laufwasserkraftnutzung (allgemeine Bewertungsmatrix); Reihung ohne Gewichtung	20
Tabelle 3.3:	Erläuterung zu E1.1 Hochwasser	24
Tabelle 3.4:	Erläuterung zu E1.2 Grundwasser	25
Tabelle 3.5:	Erläuterung zu E1.3 Gewässergüte	26
Tabelle 3.6:	Erläuterung zu E1.4 Mindestwasser.....	27
Tabelle 3.7:	Erläuterung zu E2.1 Morphologie	28
Tabelle 3.8:	Erläuterung zu E2.2 Wasserspiegelschwankung.....	29
Tabelle 3.9:	Erläuterung zu E2.3 Geschiebe- und Schwebstoffhaushalt	30
Tabelle 3.10:	Erläuterung zu E3.1 Beeinflusste Gewässerstrecke.....	31
Tabelle 3.11:	Erläuterung zu E3.2 Fischbestand.....	32
Tabelle 3.12:	Erläuterung zu E3.3 Durchgängigkeit	32
Tabelle 3.13:	Erläuterung zu E3.4 Gewässerrandstreifen.....	33
Tabelle 3.14:	Erläuterung zu E4.1 Flächenbedarf	34
Tabelle 3.15:	Erläuterung zu E4.2 Überflutungsflächen.....	35
Tabelle 3.16:	Erläuterung zu E4.3 Landschaftsbild.....	36
Tabelle 3.17:	Erläuterung zu E4.4 Gewässerschutz/Bewuchspflege	37
Tabelle 3.18:	Erläuterung zu E4.5 Ökologische Ausgleichsflächen.....	37
Tabelle 3.19:	Erläuterung zu E4.6 Verkehr/Infrastruktur	38
Tabelle 3.20:	Erläuterung zu E4.7 Freizeitnutzung.....	38
Tabelle 3.21:	Erläuterung zu E5.1 Treib- und Hilfsstoffe.....	39
Tabelle 3.22:	Erläuterung zu E5.2 Betriebsstoffe.....	39
Tabelle 3.23:	Erläuterung zu E6.1 Rechen- und Schwemmgut	40
Tabelle 3.24:	Erläuterung zu E6.2 Zivilisationsmüll	41
Tabelle 3.25:	Erläuterung zu E6.3 Ausgehobener Boden.....	41
Tabelle 3.26:	Erläuterung zu E7.1 Fuhrpark/Materialversorgung.....	42
Tabelle 3.27:	Erläuterung zu E7.2 Energieableitung.....	42
Tabelle 3.28:	Erläuterung zu E8.1 Personalstand.....	43
Tabelle 3.29:	Erläuterung zu E9.1 Schiffbarkeit.....	43
Tabelle 3.30:	Erläuterung zu E9.2 Schiffbarmachung	44
Tabelle 3.31:	Erläuterung zu E10.1 Abwärme	44
Tabelle 3.32:	Erläuterung zu E10.2 Lärm	45
Tabelle 3.33:	Erläuterung zu E10.3 Erschütterungen	45
Tabelle 3.34:	Erläuterung zu E10.4 Luftschadstoffe	46
Tabelle 3.35:	Erläuterung zu E11.1 Baumaterialien.....	47
Tabelle 3.36:	Erläuterung zu E11.2 Energieeinsatz.....	47
Tabelle 3.37:	Erläuterung zu E12.1 Fachbesucher	48
Tabelle 3.38:	Erläuterung zu E12.2 Tourismus/Naherholung	48
Tabelle 3.39:	Erläuterung zu E12.3 Allgemeine öffentliche Darstellung.....	49
Tabelle 3.40:	Erläuterung zu E13.1 Erhöhung der Kaufkraft.....	49
Tabelle 3.41:	Erläuterung zu E13.2 Zusätzlicher Verdienst	50
Tabelle 4.1:	Erfassungs- und Quantifizierungsansätze aller externen Effekte	60
Tabelle 5.1:	Skalen und ihre Messwertigenschaften (nach [Froböse & Kaapke 2003])	73
Tabelle 5.2:	Wertziffernskala.....	78

Tabelle 5.3:	Übersicht über die drei beschriebenen Bewertungsverfahren.....	83
Tabelle 6.1:	Übersicht über die Punkteverteilung der einzelnen Dimensionen.....	91
Tabelle 6.2:	Gewichtungsmatrix und Dimensionsbewertung	92
Tabelle 6.3:	Teilbereich des Erhebungsbogens für die allgemeinen Kraftwerksdaten .	96
Tabelle 6.4:	Erläuterung zur Spalte „Vorkommen“	96
Tabelle 6.5:	Auszug aus dem Datenerhebungsbogen (Beispiel Hochwasser)	97
Tabelle 6.6:	Auswertungsmatrix (Teil Wassermanagement)	97
Tabelle 6.7:	Wertziffernskala	99
Tabelle 6.8:	Bewertungsskala (Beispiel Hochwasser)	100
Tabelle 6.9:	Auszug aus der spezifischen Bewertungsmatrix	102
Tabelle 6.10:	Auswertungsmatrix des Kraftwerks Tannheim	110
Tabelle 6.11:	Spezifische Bewertungsmatrix des Kraftwerks Tannheim	114
Tabelle 6.12:	Zusammenstellung der Gesamtnutzwerte aller Anlagen der Illerkette... 	115

Evaluation of Externalities for Run-of-River Hydropower Projects

Externalities of energy production

Ecological and social impacts play an important role with regard to energy production issues. Over the last decades there have been growing concerns on behalf of the public with respect to the reduction of the environmental impacts of energy production and the exploitation of the limited natural resources. These ecological and social impacts concern mainly the externalities. Nuclear accidents and the radioactive waste occurring as part of the deconstruction of nuclear power plants or the air pollution of a coal power plant are examples of dramatic externalities of energy production.

Hydropower plants have similar to every type of technical establishments positive and negative effects. Even people not involved in hydropower development are effected by it. It is, therefore, important, when setting up a project, to study potential externalities from hydropower energy production in detail. External costs and external benefits can be distinguished in discussing these externalities. The main characteristic of these externalities is the fact that non-effected public are subject to a positive or a negative impact and may not be compensated for the negative impacts or may not have to pay for benefits.

More precisely, negative (or detrimental) external effects are those which cause environmental and human damages to the public without adequate compensation. For instance, living conditions for fish may change significantly due to changes of the natural water level and discharge caused by barrages or intakes. The hydropower company that is responsible for the damage and thus the external cost, is not held fiscally responsible for changing the living conditions of the fish.

External benefits are those received by public without paying a compensation. For example, setting up a hydropower plant may increase employment opportunities and/or flood safety may be improved and/or recreation areas are created by headwater ponds or a reservoir.

The examples above show that many different aspects can be considered in discussing externalities from hydropower plants and that the impacts of these plants may be positive as well as negative ones. The impacts investigated in this study are the external ones for which neither the company obtains money for benefits of the project nor the public gets a compensation for a damage caused by the project. Costs or benefits which are accounted for either in the balance sheets of the company or through payments are not discussed in this study. They are considered to be so called internal effects.

The degree of acceptance of any kind of energy production project also of hydropower projects depends mainly on the proportion of these impacts, that is which effects occur and how great the positive effects are in relation to the negative impacts. For the local government as well as for the public it makes sense to agree to a hydropower project if the balance of these effects is positive, e. g. when the positive impacts exceed the negative ones.

In many economic studies they tried to find a solution for evaluating and measuring externalities. Up to the present moment, there has been no solution to the problem. There are two possible ways of realising an internalisation of the externalities: one solution is a self-regulation of the market (e. g., based on the ideas of the Coase Theorem) or the second solution is based on the in-

interference of the state (e. g., in form of the Pigou's tax). As there exists no market pricing for externalities, in general, the monetary evaluation of externalities is not possible.

In Germany hydropower plays, together with wind energy, the most important role among the different kinds of renewable energy production. The renewable energies are supported by the German government based on the Renewable Energy Sources Act. To justify a financial support for hydropower in comparison with conventional and renewable energy sources, a complete cost-benefit-analysis for all forms of energy production should be carried out. In this context, externalities have to be included in such a cost-benefit-analysis. Especially considering the economics of hydropower plants, these externalities play an important role. This aspect is often neglected due to the evaluation difficulties associated with these effects. Making allowance for the increase in public awareness with regard to the impacts of the environment ecological benefits need also to be taken into account.

During the feasibility study of a projected hydropower plant which includes an environmental impact assessment of both external costs and benefits it is important to show on the one hand clearly that there might be impacts on the ecological balance and on the other hand to stress that there are solutions for most of the critical aspects as well as clear advantages for the public especially compared with other ways of energy production. Thus there is the need to enhance the image of hydropower plants in public. When both the negative and also the positive aspects of a project are presented the public is more willing to accept the negative effects of it. In the feasibility study the best location of a project and the best variant have to be found. Each one has different advantages or disadvantages which have to be evaluated in the study. In the discussion it is important to find a solution for the competitive resource use conflict between e. g., the energy supplier and the nature conservators or even just between different kinds of interest groups like the fish and the birds biologists.

This study, supported by the “*Stiftung Energieforschung Baden-Württemberg*”, examined the externalities of hydropower energy production to provide an improved tool for comparison to other forms of energy production (e. g., nuclear or coal) and for allowing to compare different variants in projecting a hydropower plant. Since Baden-Württemberg harnesses hydropower resources mainly by run-of-river plants, this study focuses on this type of plants.

Different studies have investigated other forms of energy production more closely than hydropower but all studies focused only on external costs and more or less disregarded external benefits. With other forms of energy production, neglecting benefits does not as strongly effect the results of an external impacts' study. However, due to the multipurpose benefits of hydropower it is essential to consider these benefits. The multipurpose benefits of run-of-river plants in Baden-Württemberg include e. g., flood protection, improving navigation conditions in rivers.

Externalities of run-of-river hydropower plants

At the beginning of the study a list of all potential external costs and benefits arising in the context of run-of-river plants had to be made. For reasons of clearness, they were categorized into 13 groups. These groups were further subdivided into subsections to facilitate a logical overview (see table 1). These parameters form the basis for the evaluation of the externalities.

For an overview of the run-of-river plants' externalities, some short explanations of the 13 groups and their subsections mentioned before are provided in the following sections:

Water management: *Flood protection* can either have a positive or a negative impact. Positive effects are on the one hand e. g., dams which have been built along the river to protect areas close to the river against flood. On the other hand an increased danger of flooding due to smaller

flood plains can possibly cause a lot of damage. The *ground water level* can rise because of the backwater effect. This may, for example, lead some cellars to submerge and houses to be damaged. The *water quality* is influenced by e. g., the longer duration of the backwater. Regarding diversion-type of plants only little water, the so called *rest water (or due water) discharge*, is left in the former bed and is an important parameter of projects which effects mainly the flora and fauna in the former river bed.

Structure of water bodies: Interference of *morphology* can occur by the change of e. g., the former bed, the embankment or the base. Depending on the operation, hydropower plants can cause fast *water level alterations* and fish may not be able to cope with the fast lowering water level. *Changed sediment management* due to decrease in velocity of the water running through the river may have effects on the flora and fauna settled at the river bed.

Habitat/Surroundings: Changes in the *influenced stretches of the river* have negative effects especially on fauna and flora. But hydropower can also have a positive impact due to regular checks of the *fish stock*. Fish are certainly influenced by river barrages as weirs since either the *connectivity* is not given at all or, in case of a fish ladder, the migration is at least hampered. The botanical species diversity can be increased by additional plantings and the care of the *embankment plantings* by the power company.

Land management: The *required floor space*, which the buildings and the operating equipment of the hydropower plant need, could be used for other purposes. Important is to involve the impacts on *flooding areas, ecological compensation areas, recreation* and the *interference with the scenery* into the investigation. The power company is responsible for the *water protection* as a method of preventing damages from the discharge of oil or other operating supplies into the river, not only from the hydropower plant itself but also from other industry along the river, and for the cutting and care of the *natural cover* in the river and along the embankments. The *traffic* and *infra structure* can benefit by e. g., additional streets built for construction and/or operation and maintenance of the hydropower plant.

Fuel and operating supplies: Each hydropower plant needs *operating supplies*. For operation and maintenance a car pool is required and the cars consume *fuel*. The consumption of fuel and operating supplies have negative impacts on the environment, not only regionally but also globally.

Residues: The extraction of *screening and alluvium* can have either positive or negative impacts. On one hand, biogenous material in the alluvium is taken out of the water and can be composted. On the other hand the alluvium can be missing in the water as e. g., nutrients. The *waste* has to be disposed at cost of the power company, which can be an economical benefit for the public that would, otherwise, be responsible to provide a clean river. *Excavation residues* during construction time can be provided at a low price.

Transport: In the field of transport an additional production of emissions by the *car pool* and the *material supply* is not avoidable. Power transmission lines needed for the *power supply* may cause injuries to the human physical and emotional health.

Employees: The construction and the operation and maintenance of a power plant leads to the creation of new *jobs* or can maintain the regional employment because of demand of the power company satisfied in the region.

Shipping: Due to the use or extraction of water the *navigation* might be impeded. But a river can also become a *waterway* by a constant water level due to hydropower use.

Emissions: *Waste, heat, noise, vibrations* and *air pollution* can not be avoided especially during the time of construction but also during the operation and maintenance of the plant. The general

air pollution from energy production can be reduced while producing energy by hydropower instead of e. g., by coal power plants.

Energy and raw materials consumption: The consumption of energy and raw material rises because of the *used materials* and the *need of energy* during construction and operation. The local trade of building materials may profit.

Public: The region of the project rises interest in the region. *Professional visitors* and *tourists* can be attracted by a good public presentation of the site of a hydropower project or an operating plant. The region's and the hydropower's image benefit from the *general public presentation*. Tourists can be attracted by the surroundings of the plant, for example, of a reservoir. The local recreation areas may be enlarged, for example, by a bicycle path along the river which may be financed by the power company.

Investments: By an *increased local income* the region can have a profit by growing investments and the *proposal of spending power*.

General evaluation matrix

Positive and negative impacts were identified for each subdivided group. Some items can have both, a positive and a negative aspect. In some cases for one hydropower plant that is analysed only one aspect can occur at the same time (e. g., if flood protection is effected it can either become better or worse). Other aspects can have a positive and a negative impact at the same time (such as screening and alluvium).

Another important aspect of the externalities is the time period during which the effect occurs - during construction or during operation and maintenance (O & M). The duration of the effect is in this context the most important factor. The effects associated with construction are temporal and, therefore, greater stress may be tolerable. If an impact is considered to be long term, greater stress may not be tolerable. Noise is a good example. There is, of course, an increased level of noise during construction and people living close to the construction site might tolerate that for a certain period of time. On the other side during operation there might be problems with residents in case of a constant water overfall over a weir even if this makes much less noise than the excavator during construction.

Impact classifications include human physical and emotional health, flora, fauna, and environmental welfare. This division is considered to be necessary to allow to enhance the image of hydropower projects in the public opinion. If human beings are effected the kind and the strength of the impact have to be analysed even more closely. Looking at damages to the nature the opinion of effects' importance depends mainly on the individual's point of view. Even just a small group of people can disagree on the importance of nature.

The subdivided groups with the division of positive and negative impacts, the time period of effects and the impact classifications form the *general evaluation matrix* (see table 1).

Table 1: General evaluation matrix

		time period of effects				impact classification				
		cost		benefit		human's health		flora	fauna	environ- mental welfare
		con- struction	O & M	con- struction	O & M	physical	emotional			
E1	water management									
E1.1	flood protection	x	x		x	x	x	x	x	
E1.2	ground water	x	x			x	x	x		
E1.3	water quality		x			x	x	x	x	
E1.4	rest water		x		x			x	x	
E2	structure of water bodies									
E2.1	morphology		x				x			x
E2.2	water level alterations		x					x	x	
E2.3	sediment management		x					x	x	
E3	habitat/surroundings									
E3.1	influenced stretches of river	x	x					x	x	
E3.2	fish stock				x		x		x	
E3.3	connectivity	x	x						x	
E3.4	embankment plantings				x			x	x	
E4	land management									
E4.1	required floor space	x	x				x	x	x	
E4.2	flooding areas		x				x	x	x	
E4.3	interference of the scenery	x	x				x			
E4.4	water protection/natural cover				x		x			x
E4.5	ecological compensation areas				x		x	x	x	
E4.6	traffic/infra structure			x	x		x			
E4.7	recreation				x	x	x			
E5	fuel and operating supplies									
E5.1	fuel	x	x			x				x
E5.2	operating supplies	x	x							x
E6	residues									
E6.1	screening and alluvium		x		x		x	x	x	
E6.2	waste				x		x	x	x	
E6.3	excavation residues			x			x			
E7	transport									
E7.1	car pool/ material supply	x	x							x
E7.2	power supply		x			x	x			
E8	employees									
E8.1	job situation			x	x		x			
E9	shipping									
E9.1	navigation	x					x			
E9.2	waterway				x		x			
E10	emissions									
E10.1	waste heat	x	x				x	x	x	
E10.2	noise	x	x				x		x	
E10.3	vibrations	x	x				x		x	
E10.4	air pollution	x			x	x				x
E11	energy and raw materials consumption									
E11.1	used materials			x	x		x			
E11.2	need of energy	x	x							x
E12	public									
E12.1	professional visitors			x	x		x			
E12.2	tourism/recreation			x	x		x			
E12.3	general public presentation			x	x		x			
E13	investments									
E13.1	proposal of spending power			x	x		x			
E13.2	increased local income			x	x		x			

Data Collection

The general evaluation matrix provides the basis for more detailed evaluations. A data sheet was developed for typing in the data that was collected. For the data acquisition of this study run-of-river hydropower plants in Baden-Württemberg were assessed.

The hydropower plants evaluated in this study are situated at the river Iller and operated by the EnBW. There are five run-of-river plants: the river power plant Aitrach, three diversion plants Tannheim, Unteropfingen, Dettingen and the small hydropower plant Mooshausen. The power plants Tannheim, Unteropfingen und Dettingen were built between 1923 and 1927; Aitrach started to operate in 1950 and Mooshausen in 1994 with a view to use the rest water which has to stay in the former river bed of the Iller in that section of the river where the river flows parallel to the canal.

Since the construction time of most of the plants was a long time ago a lot of information of effects during construction time is lost. Therefore these had to be recapitulated by the given data as pictures or a book of the history of the Iller.

Description of the method used to evaluate externalities of run-of-river plants

To obtain an impartial evaluation the common methods were used including the value benefit analysis and the cost-benefit-analysis. Since the valuation of externalities on a monetary scale (valued in funds) is difficult or sometimes not possible at all the realisation of a traditional cost-benefit-analysis is not feasible. But as a monetary representation provides certainly a very clear form of presentation, the data entry form allows to show the effects if possible in a monetary scale. For the final evaluation in this study it is totally dispensed with a monetary evaluation and preference is given to a value benefit analysis. The value benefit analysis is based on a valuation on a weighting scale with a certain number of value digits; in this study a scale of six value digits was chosen which are verbally described in table 2.

Table 2: Description of the six value digits

value digit	description
0	absolutely no interference
1	weak interference
2	moderate interference
3	noticeable interference
4	strong interference
5	massive interference
6	maximum interference

When evaluating the subsections each effect is valued individually by assigning a value digit to it. Therefore the values in each subsection do not have to be assigned to the same value for all potential effects (the consequence to human beings can e. g., be stronger than the consequence to fauna or flora).

After evaluation of each subsection the general evaluation matrix is transformed into the *specific evaluation matrix* (see table 3) for the analysed project. The specific evaluation matrix contains two parts. Firstly, the weighting matrix which shows the importance of the each possible effect

within the general view in per cent. And, afterwards, the evaluation of the subsections through value digits which was already mentioned before. In table 3 the first group E1 “water management” is exemplified; in the complete specific evaluation matrix also the groups E2 to E13 are included.

Table 3: Specific evaluation matrix

		weighting factors				value digits												single value benefits				partial value benefits			
		costs		benefits		human health				environment															
		construction	O & M	construction	O & M	physical		emotional		flora		fauna						in general							
		I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV				
E1	water management																					-0,044			
E1.1	flood protection	1,32 %	2,36 %		2,36 %	0	0	1	0	0	3	0	0	2	0	0	2				0	0	0	0,19	0,189
E1.2	ground water	1,32 %	1,98 %			0		0	1		0	1									0	-0,04	0	0	-0,04
E1.3	water quality		1,98 %			0		1			2			2							0	-0,1	0	0	-0,099
E1.4	rest water		1,79 %		1,23 %									4	2	4	2				0	-0,14	0	0,05	-0,094
E2-E13																									
																		total value benefit	0,368						
																		portion of costs	-1,108						
																		portion of benefits	1,476						
																		relation benefits/costs	1,332						

The value of the partial value benefit of a certain effect is the result of the multiplication of the values of the weighting matrix with the value digits which are finally summed up. The value “-0,094” for the rest water is e. g., calculated in the following way:

$$partial\ value\ benefit\ "rest\ water" = 1,79\% \cdot (4 + 4) + 1,23\% \cdot (2 + 2) = -0,094$$

For interpretation of the results after evaluation, costs get a negative and benefits a positive sign. Is the final sum of all single subsections a positive value the benefits of this plant or this variant outweigh the costs. In case of a variant comparison it can easily be shown which variant has the greatest external benefits or which one causes the biggest external costs. The final election of a variant depends on the complete cost-benefit-analysis which includes the internal and external effects.

Conclusion

In the public opinion, a positive value result (more benefits than costs) is very important for the image of hydropower. Due to this it is can be a greater economic benefit for the power company to chose a slightly more expensive variant if, afterwards the public and especially directly effected residents may prefer this variant because of a higher proportion of external benefits. Problems arising with the public in the context of the planning, construction and use of the power plant can cost a lot of time and money for the energy supplier.

The scope of an environmental impact assessment may be accepted faster by all involved people when also showing the benefits of a project. For the planner it is important that the range is clearly defined and, therefore, they can save time and money.

The possibilities for the hydropower facility to provide other benefits are often widespread and important. It is therefore necessary for the hydropower planner to identify and to quantify such benefits before the project is presented to public and the economic evaluation is carried out. The inclusion of secondary benefits can completely change the ranking of competing variants. It is obviously essential that multipurpose aspects have to be taken into account when evaluating projects.

The evaluation matrix might present a useful tool to represent the hydropower projects more positively in public and to increase the degree of acceptability of this kind of energy production.

The results of the study can also be used for benchmarking. During a benchmarking process the best variant should be found. The developed method can be used as a benchmarking-tool. Analysing the evaluation matrix, where all externalities of a hydropower plant are clearly displayed, the particularly positive or particularly negative impacts of a certain plant can be pointed out relatively simple and fast. Therefore it is possible to benefit from the positive or negative externalities of one plant when constructing another one.

The Water Framework Directive, which was enacted in the countries of the European Union in December 2000, contains regulations which have a lasting effect on the operation and maintenance of hydraulic structures, including hydropower plants. It focuses on the protection and the improvement of the aquatic ecosystems and groundwater resources. First order is to review the current status of all rivers. This is accompanied by an economic analysis of the water use in order to comply with the principle of recovery of the costs of water services. By water services the Directive understands all water-related services provided to households, public institutions or commercial enterprises of any kind. Impoundments for the purpose of electricity generation and shipping as well as flood protection measures of any kind are so far not considered as water services within the scope of the Directive. By adopting the principle of cost recovery, it is intended to provide adequate incentives, with the help of water-pricing policies, for the efficient use of water resources. Without neglecting the polluter pays principle, the users have to make an adequate contribution to the cost of water services. The EC Directive envisages that the costs of water services should comprise not only the commercial costs, but also the environmental and resource costs which are meant to cover the entire externalities of water services. Herewith, an instrument is provided to show and to evaluate the multipurpose use of hydropower and, after the transformation of some aspects, other parts of water use.

The study concludes that externalities should be included in calculating the “true” unit energy cost for hydropower; and “true” hydropower energy cost should be used in cost comparisons with other forms of power generation in order to justify the subsidies and other benefits (e. g., in form of acts) hydropower receives from the government.

1 Externe Effekte in der Energieerzeugung

1.1 Problemstellung

In den vergangenen Jahrzehnten hat eine zunehmende Sensibilisierung bzgl. der Vermeidung von Umweltbelastungen im Zusammenhang mit dem Abbau und dem Verbrauch natürlicher Ressourcen stattgefunden. Das Thema ist nicht nur Gegenstand von Wissenschaft und Politik, sondern wird von einer breiten Öffentlichkeit diskutiert. Da Energieerzeugung stets an die Nutzung und insofern auch an die Belastung natürlicher Ressourcen gebunden ist, betrifft diese Thematik Energieversorgungsunternehmen in besonderem Maße.

Das Thema externer Effekte in der Energieerzeugung lässt sich anhand einer hypothetischen Frage sehr plakativ verdeutlichen. Die Frage lautet, ob das Kernkraftwerk in Tschernobyl nach Abschätzung der gesamtwirtschaftlichen und gesellschaftlichen Folgen gebaut worden wäre. Abgesehen von den erheblichen Schäden an der Natur, die aber angesichts des reichlichen Vorhandenseins an Grund und Boden in Relation zur Besiedlung in der Ukraine und den Nachbarstaaten eine geringere Rolle spielen mag, sind selbst zwanzig Jahre nach dem Reaktorunfall die Gesundheitsschäden für die dort lebenden Menschen nach wie vor nicht abzuschätzen. Es sind nicht einmal die Mittel vorhanden, um allen Menschen, die als Folge des Unfalls unter Krebs leiden, die entsprechenden medizinischen Behandlungen zu finanzieren. Würde in diesem Kontext über Entschädigungen für die erlittenen Schäden nachgedacht, so würden die Kosten ins Unermessliche wachsen. Von der technischen Seite her sind die Entsorgung und der Rückbau des betroffenen Reaktors nach wie vor nicht endgültig gelöst. Aktuell wird diskutiert, wie eine zweite Betonhülle über den nach wie vor strahlenden Reaktor gebaut werden kann.

Dieses Beispiel illustriert das Problem externer Effekte auf drastische Art und Weise, dass Unternehmen bei ihren Produktionsentscheidungen häufig nur die ihnen entstehenden direkten privatwirtschaftlichen Produktionskosten berücksichtigen, etwaige gesamtwirtschaftliche, ökologische und gesellschaftliche Auswirkungen, für deren Kompensation sie nicht aufzukommen haben, aber außer Acht lassen. Letztere werden in der Fachliteratur als externe Effekte bezeichnet. Sie lassen sich in positive und negative externe Effekte unterteilen. Dabei werden im weitesten Sinne Vorteile als „Nutzen“ und Nachteile als „Kosten“ bezeichnet. Externe Kosten entstehen, wenn wie im Tschernobyl-Beispiel einem Dritten, häufig der Allgemeinheit, ein Schaden oder eine Beeinträchtigung zugefügt wird, ohne dass der Betroffene dafür eine Entschädigung erhält. Bei externen Nutzen werden umgekehrt einem Dritten, häufig der Allgemeinheit, durch ein Vorhaben Vorteile zuteil, ohne dass der Nutznießer diese abgilt. So ist der Schluchsee im Schwarzwald ein beliebtes Naherholungs- und Tourismusziel. Ohne zusätzliche Kosten für die Besucher wie beispielsweise Eintrittsgelder wird ihnen mit dem für die Wasserkraftnutzung aufgestauten Speichersee eine Möglichkeit geboten, dort Wassersport zu betreiben. Auch wurden Rad- und Spazierwege angelegt, die eine Nutzung des Ufers für Besucher erlauben.

Da aufgrund der fehlenden Kompensation für diese externen Effekte, unabhängig davon ob Nutzen oder Kosten, keine Preise existieren, können diese bislang nahezu nicht oder nur sehr schwer bewertet werden. Darüber hinaus ist der durch sie entstehende Schaden oder Nutzen von sehr unterschiedlichem Wert für die einzelnen Individuen. Obgleich die Existenz von externen Effekten von niemandem bestritten wird, ist ihre Behandlung und Bewertung teilweise mit großen Schwierigkeiten verbunden. Bei einer Berücksichtigung externer Effekte müssen neben der hauptsächlich auf die Wirtschaftlichkeit eines Projekts ausgerichteten Zielsetzung des Unter-

nehmens auch die gesamtwirtschaftlichen, gesellschaftlichen und ökologischen Aspekte mit einbezogen werden.

Die Vernachlässigung externer Effekte führt nach wie vor bei politischen Entscheidungen dazu, dass gerade die nachhaltigen Energieerzeugungsformen nicht die entsprechende finanzielle Förderung erhalten, um für die Investoren eine rentable Alternative darzustellen.

Die angeführte Komplexität des Problems zeigt auf, dass nachhaltige Energieerzeugungsformen nur dann dem Wettbewerb mit den herkömmlichen Energieerzeugungsformen standhalten können, wenn neben den ökonomischen Zielen auch ökologische und gesellschaftliche Aspekte ein höheres Gewicht erhalten. Grundsätzlich ist das Problem der externen Effekte ein interdisziplinäres Problem, das der parallelen Betrachtung durch unterschiedliche Disziplinen wie Ingenieur- und Wirtschaftswissenschaften, Ökologie, Recht und Soziologie bedarf.

1.2 Zielsetzung und Aufbau der Arbeit

Im vorigen Abschnitt ist deutlich geworden, dass die Vernachlässigung externer Effekte unter gesamtwirtschaftlichen, gesellschaftlichen und ökologischen Gesichtspunkten zu suboptimalen Entscheidungen führt. Wasserkraftanlagen würden sich bei einer Berücksichtigung externer Effekte vor allem im Vergleich mit anderen Energieerzeugungsformen wie z. B. Atom- oder Kohlekraftwerken als relativ attraktiver erweisen. Ziel dieser Arbeit ist es daher, am Beispiel von Laufwasserkraftwerken zu verdeutlichen, dass sich bei der Berücksichtigung externer Effekte politische und wirtschaftliche Entscheidungen zugunsten alternativer Energieerzeugungsformen verschieben könnten.

Bisher ist die Auseinandersetzung mit externen Effekten hauptsächlich in der wirtschaftswissenschaftlichen Literatur erfolgt. Daher will diese Arbeit Erkenntnisse aus der wirtschaftswissenschaftlichen Forschung auf wasserwirtschaftliche Probleme übertragen. Während der wirtschaftswissenschaftliche Ansatz zwar Denkanstöße zu einer marktwirtschaftlichen oder staatlichen Lösung des Problems externer Effekte liefern kann, kann er immer nur eine vereinfachend abstrahierende Lösung anbieten, da eine vollständige Erfassung der externen Effekte aus technischer Sicht nicht im Fokus steht. Ziel dieser Studie ist es daher, zunächst einmal eine Basis für die Katalogisierung dieser Effekte am Beispiel der Laufwasserkraftwerke zu liefern und in einem zweiten Schritt Lösungsansätze der wirtschaftswissenschaftlichen Literatur auf ihre Praxistauglichkeit hin zu überprüfen. Auf dieser Basis wird in einem weiteren Schritt ein systematisches Bewertungsverfahren entwickelt, dessen praktische Anwendbarkeit an konkreten Fallbeispielen überprüft wird.

Wie Abbildung 1.1 zeigt, lässt sich die vorliegende Studie in zwei Hauptbereiche gliedern. In den Kapiteln 2 bis 4 werden die externen Effekte erst allgemein und dann laufwasserkraftspezifisch diskutiert, wobei zum Schluss auf ihre Quantifizierung eingegangen wird. Die letzten beiden Kapitel 5 und 6 befassen sich mit Bewertungsverfahren. Kapitel 5 stellt allgemein Ansätze aus der wirtschaftswissenschaftlichen Literatur vor, bevor in Kapitel 6 ein Bewertungsverfahren für die externen Effekte der Laufwasserkraftnutzung vorgestellt wird.

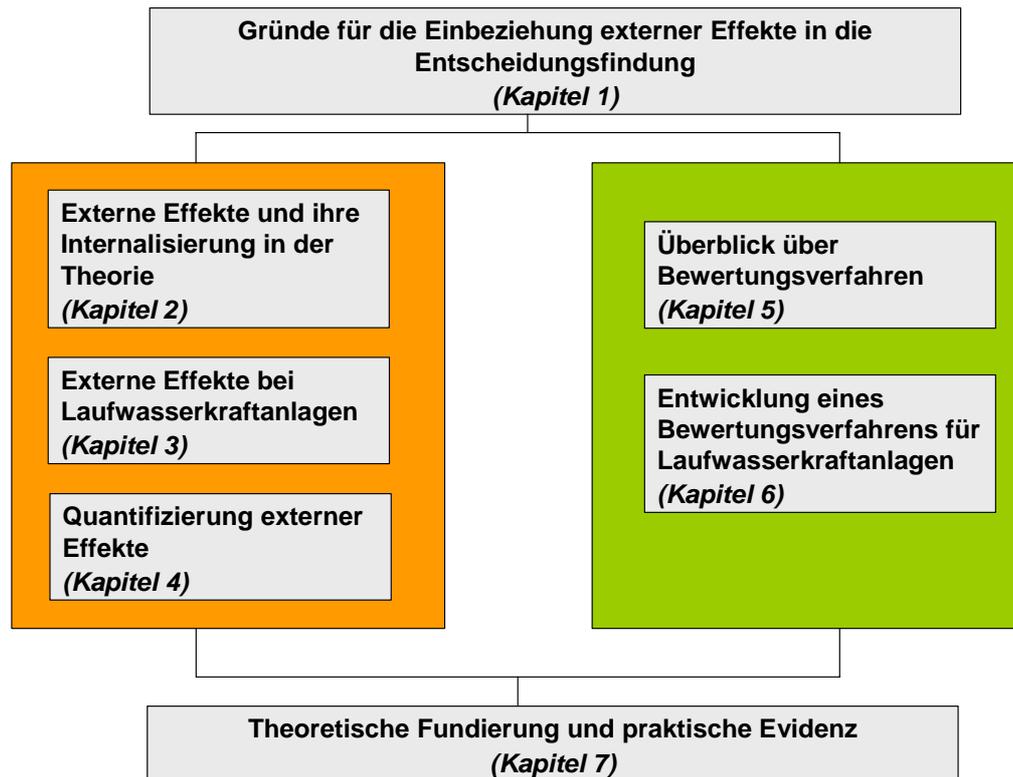


Abbildung 1.1: Ziele und Aufbau der vorliegenden Studie

Die Arbeit gliedert sich im einzelnen wie folgt:

Zunächst erfolgt in Kapitel 2 die Beschreibung des Problems der externen Effekte und ihrer Internalisierung auf Basis der Erkenntnisse aus der wirtschaftswissenschaftlichen Literatur. Dabei wird es zum einen darum gehen, das Problem externer Effekte abstrakt zu beschreiben und aufzuzeigen, warum eine Internalisierung dieser Effekte durch den Verursacher nicht per se funktioniert. Zum anderen wird eine Reihe an Verfahren vorgestellt, die es unter bestimmten Voraussetzungen ermöglichen würde, diese Effekte dennoch zu internalisieren. Allen Ansätzen gemeinsam ist, dass die Bewertung und Monetarisierung schwierig ist, da aufgrund der Charakteristika der externen Effekte keine Marktpreise für ihre positiven und negativen Auswirkungen vorliegen.

Der Fokus der vorliegenden Arbeit liegt auf der in Deutschland hauptsächlich vorkommenden Laufwasserkraftnutzung (s. Kapitel 3). Für diesen Kraftwerkstyp liegen noch keine entsprechenden Studien vor. Für eine Einbeziehung der externen Effekte in die Gesamtbetrachtung eines Kraftwerkes ist dies aber eine wichtige Grundlage.

Zu den externen Kosten der Laufwasserkraftnutzung zählt beispielsweise die Entnahme von Wasser aus Flüssen, bei der auf Teilstrecken des Flusses der Lebensraum von Fischen verändert wird, wofür der Wasserkraftbetreiber keine Entschädigung zahlen muss. Externe Nutzen der Wasserkraft entstehen z. B. durch die Schaffung zusätzlicher Arbeitsplätze, den Schutz gegen Hochwasser oder die Errichtung eines Erholungsgebietes durch einen Stausee.

Die Katalogisierung der externen Effekte erfolgt in Form einer allgemeinen Bewertungsmatrix, in der die Wirkungszeit und der Wirkungsbereich der Auswirkungen berücksichtigt wird, wobei insbesondere die Nutzen der Wasserkraftnutzung herausgearbeitet werden, da diese in vorangegangenen Studien und bei der Betrachtung mit anderen Energieerzeugungsformen oft vernachlässigt wurden.

Vorangegangene Studien (s. Abschnitt 3.2) konzentrieren sich hauptsächlich auf die externen Kosten meist im Vergleich mit anderen Energieerzeugungsformen, lassen jedoch externe Nutzen gänzlich oder größtenteils außer Acht. Aufgrund der Mehrzwecknutzung einer Wasserkraftanlage dürfen besonders hier die über die Stromgewinnung hinausgehenden Nutzen nicht vernachlässigt werden. Die bisher vorhandenen Studien kommen zum Ergebnis, dass es wünschenswert wäre, externe Effekte in eine gesamtwirtschaftliche Betrachtung mit einzubeziehen. Bisher existieren allerdings noch keine umfassenden Bewertungswerkzeuge zur Erfassung und Bewertung von externen Effekten.

Aufgrund der vielfältigen und weit reichenden Auswirkungen, die externe Effekte haben können, ist es notwendig, für eine Bewertung zunächst einmal eine Abgrenzung des Einflussbereichs vorzunehmen. In dieser Studie wird als Grenze das Kriterium „ab Werk“ festgelegt. Dies bedeutet, dass der Wasserkraftanlage externe Effekte aus dem Transport von Baumaterialien zuzurechnen sind, nicht aber die durch deren Herstellung resultierenden Effekte.

Es können hier nur „durchschnittliche“ Effekte angenommen werden, da in der Realität die Auswirkungen je nach Größe und geografischer Randbedingungen des Projekts abweichen. Je nachdem können bei einigen Anlagen bereits ex ante einige Punkte vernachlässigt werden. Bei einem Großprojekt wie in Rheinfelden (100 MW) sind im Vergleich zu einer kleinen Wasserkraftanlage mit ca. 1 MW die Investitionssumme und die Auswirkungen andere. Sehr große Projekte wie das 3-Schluchten-Projekt (18,2 GW) bewegen sich in ganz anderen Dimensionen. Daher müssen in solchen Fällen evtl. zusätzliche Aspekte berücksichtigt werden. So sind beispielsweise auf der Baustelle eigene Betonwerke vorhanden, was die oben festgelegte Abgrenzung des Einflussbereichs schwieriger macht.

In der Auseinandersetzung mit externen Effekten kommt ihrer praktischen Erfassung und Quantifizierung besondere Bedeutung zu. Nachdem zu Beginn von Kapitel 4 die Motivation für eine Quantifizierung dieser Daten und mögliche Einsatzbereiche eines Bewertungsverfahrens herausgearbeitet werden, geht es im Folgenden um Möglichkeiten einer Erfassung und Quantifizierung von Daten allgemein und von externen Effekten der Laufwasserkraftanlagen im speziellen.

Eine Quantifizierung externer Effekte gestaltet sich vor allem aufgrund der Tatsache als schwierig, dass als Leitbild die Idealvorstellung eines natürlichen, unbeeinflussten Ökosystems dient [Lacombe 1999], wobei Kriterien wie Naturnähe und Natürlichkeit als Bewertungskriterium herangezogen werden. Bislang beschränkt sich die Einbeziehung der ökologischen und sozialen Auswirkungen meist auf eine verbale Beschreibung im Vergleich zum „idealen“ Zustand. Wegen der subjektiven Wertvorstellungen im sozialen Bereich ist ein formalisiertes Verfahren zur Bewertung der Auswirkungen in diesem Bereich praktisch nicht existent [Tiedt 1992]. Die Bewertungen müssen daher gut nachvollziehbar und transparent dargestellt werden.

Vor diesem Hintergrund würde sich eine monetäre Quantifizierung aufgrund ihrer guten Allgemeinverständlichkeit anbieten. Jedoch ist sie in der Realität häufig schwer umsetzbar, da in den meisten Fällen wie bereits oben beschrieben Preise für die externen Effekte nicht existieren. Aus diesem Grund wurden auch nicht-monetäre Verfahren zur Quantifizierung entwickelt, die im Rahmen der vorliegenden Arbeit diskutiert werden.

Sowohl die Katalogisierung der externen Effekte als auch die Quantifizierungsansätze stellen eine grundlegende Voraussetzung für die Durchführung eines Bewertungsverfahrens dar. Erst auf Basis eines Bewertungsverfahrens lassen sich unterschiedliche Alternativen hinsichtlich ihrer Umweltverträglichkeit bewerten und ranken. Auch im Bezug auf die Bewertungsverfahren wurden in der wirtschaftswissenschaftlichen Literatur einige Ansätze entwickelt. Sie werden in Kapitel 5 vor allem auch in Bezug auf ihren statistisch-mathematischen Hintergrund und ihre prak-

tische Durchführbarkeit beleuchtet. Hierbei kristallisiert sich die Nutzwertanalyse als das am besten geeignete Verfahren für eine Bewertung externer Effekte heraus.

Daher bildet die Nutzwertanalyse auch die Basis für das erarbeitete und in Kapitel 6 dargestellte Simulations- und Bewertungsverfahren für externe Effekte der Laufwasserkraftnutzung. So gehen die bereits ex ante entwickelten Erkenntnisse bezüglich der Katalogisierung und Quantifizierung der externen Effekte in das Bewertungsverfahren mit ein. Besondere Wichtigkeit wird der Entwicklung der Gewichtungsmatrix, die die relative Bedeutung der einzelnen externen Effekte untereinander gewichtet, in diesem Zusammenhang zukommen.

Da der Schwerpunkt dieser Arbeit auf einer praxisgeleiteten Forschung liegt, werden die Matrix und die Bewertung der externen Effekte anhand von konkreten Fallbeispielen simuliert. Zugrunde gelegt werden Daten für fünf Laufwasserkraftwerke an der oberen Iller.

1.3 Anwendungsmöglichkeiten

Da eine starke Praxisorientierung der Arbeit im Vordergrund steht, werden im Folgenden potentielle Anwendungsmöglichkeiten der Resultate dieser Studie aufgezeigt.

So soll beispielsweise eine Möglichkeit geschaffen werden, die externen Effekte bereits bei der Planung neuer Wasserkraftprojekte oder bei der Modernisierung bestehender Wasserkraftanlagen einzubeziehen. Die Ergebnisse der vorliegenden Studie dürften somit für die Betreiber vor allem größerer Wasserkraftanlagen von großem Interesse sein, da es ihnen so möglich ist, den zusätzlichen Nutzen der Wasserkraftgewinnung für die Gesellschaft klarer ausweisen und übersichtlicher darstellen zu können. Da vor allem Mehrzweckmaßnahmen mit erheblichem Kostenaufwand verbunden sind, ist es wichtig, sie zu optimieren und mit anderen öffentlichen Verpflichtungen abzustimmen [Lange & Lecher 1993].

Im Rahmen dieser Studie wird ein Verfahren entwickelt, das einen Gewinn für Genehmigungsbehörden im Falle von Neubauplanungen oder zu modernisierenden Altanlagen, von Verlängerungen der wasserrechtlichen Gestattungen oder der Überprüfung von Altrechten darstellen kann. Sowohl Wasserkraftanlagenbetreiber als auch die Vertreter der öffentlichen Verwaltung stehen vor dem Problem der möglichst fairen und objektiven Bewertung der externen Effekte [Kohler & Heimerl 2005]. Das in der Studie entwickelte Bewertungsverfahren soll dazu dienen, komplexe Wechselwirkungen deutlicher darzustellen und eine sachliche Bewertung der Wasserkraft gegenüber anderen Energieerzeugungsformen zu ermöglichen.

Meist steigt mit der Größe eines Projekts auch der Umfang der externen Effekte. Je höher die Auswirkungen sind und je mehr Interessensbereiche und Individuen betroffen sind, umso größer ist das Interesse an dem Projekt und je mehr Auflagen werden den Projektverantwortlichen erteilt. Diese verpflichten meist Unternehmen, zusätzliche Leistungen im Interesse der Geschädigten zu erbringen. Können bereits bei der Planung auch die positiven Aspekte eines Projekts herausgearbeitet werden, die das Projekt unbeabsichtigt oder auch als freiwillige Leistung des Kraftwerksunternehmens mit sich bringt, kommt das Unternehmen den Betroffenen von Anfang an entgegen, was die Anzahl der Einwände entsprechend reduziert.

Mit einer Umweltverträglichkeitsprüfung sollen Umweltschutzziele und Umweltbelange systematisch bearbeitet werden. Alle potentiellen die Umwelt betreffenden Auswirkungen sollen vor Realisierung einer Maßnahme auf ihre mögliche schädigende Wirkung überprüft werden. In dieses Verfahren sind verschiedene Interessensgruppen mit einbezogen. Das entwickelte Verfahren kann eine Diskussionsgrundlage bieten, die es durch Darstellung der positiven und negativen Auswirkungen des Projekts von Beginn an ermöglicht, in angemessener Weise mit allen Inter-

sensgruppen über die Vor- und Nachteile einer Maßnahme zu verhandeln. Zudem kann es für Interessensgruppen eine Vorinformation sein, was die Diskussion für beide Parteien erleichtern kann.

Teil der Umweltverträglichkeitsprüfung ist zudem ein Variantenvergleich, für den das entwickelte Bewertungsverfahren ebenfalls eingesetzt werden kann. Stehen bei der Planung mehrere Varianten zur Auswahl, kann mit Hilfe des Bewertungsverfahrens diejenige mit dem besten Nutzen-Kosten-Verhältnis identifiziert werden. Dies ist bei der Entscheidungsfindung hilfreich. In diesem Kontext bietet sich das Benchmarking an, bei dem auch die beste Anlage bzw. Variante für bestimmte Teilbereiche herausgearbeitet werden kann. Im Rahmen des Benchmarking wird darüber hinaus überprüft, welche besonders positiven Teilbereiche auf anderen Anlagen bzw. Varianten übertragen werden sollen und können.

Durch das Ziel der EG-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL), einen guten ökologischen Zustand der Gewässer herzustellen, spielt die Erfassung und Bewertung der Wechselwirkungen der Wasserkraft mit der sie umgebenden Umwelt eine wichtige Rolle. Die aktuelle Diskussion beinhaltet die Auslegung der Begriffe des guten ökologischen Zustands bzw. des guten ökologischen Potentials. Nach der Erfassung dieser Zustände werden eventuell Maßnahmen zu ihrer Verbesserung festgelegt, wobei auch sozio-ökonomische Aspekte berücksichtigt werden.

2 Theoretische Betrachtung der externen Effekte

2.1 Definition externer Effekte

Das Konzept der externen Effekte ist ursprünglich im Rahmen der wirtschaftswissenschaftlichen Forschung entwickelt worden. Externe Effekte liegen dann vor, wenn das Handeln eines Wirtschaftssubjekts positive oder negative Auswirkungen auf die Wohlfahrt unbeteiligter Dritter hat, ohne dass dafür eine Kompensation erfolgt. Im negativen Fall hat das Wirtschaftssubjekt daher keinen Anreiz, das schädigende Verhalten zu unterlassen, da es keine Entschädigung leisten muss. Im positiven Fall besteht umgekehrt kein Anreiz, das für Dritte nutzenstiftende Verhalten weiter zu verfolgen, da keine Kompensation durch den Nutznießer erfolgt.

Der Begriff der externen Effekte sei anhand zweier Beispiele aus dem Bereich von Laufwasserkraftanlagen verdeutlicht:

Werden im Rahmen des Baus eines Laufwasserkraftwerks am Fluss entlang öffentlich zugänglich Wege angelegt und sind diese für Dritte nutzbar z. B. zum Joggen oder Spaziergehen, so profitieren diese vom Bau des Kraftwerks, ohne für die neu angelegten Freizeitflächen bezahlen zu müssen. Man spricht in diesem Zusammenhang von einem positiven externen Effekt oder einem externen Nutzen.

Wird hingegen für das Kraftwerk Wasser aus dem Fluss entnommen, so verändert sich auf Teilstrecken des Flusses der Lebensraum von Fischen, wofür der Wasserkraftbetreiber keine Entschädigung zahlen muss. Der Eigentümer des Kraftwerks übt in diesem Beispiel einen externen Effekt mit negativen Auswirkungen bzw. externe Kosten z. B. zu Lasten der Angler aus.

Aus den Beispielen lässt sich ableiten, dass zwei Sachverhalte erfüllt sein müssen, damit externe Effekte vorliegen:

1. Interdependenz zwischen den Nutzenfunktionen mehrerer Wirtschaftssubjekte

Grundsätzlich können externe Effekte nur dort entstehen, wo Wechselwirkungen zwischen den Handlungen bzw. Handlungsmöglichkeiten unterschiedlicher Akteure bestehen. So greift der Wasserkraftbetreiber bei der Stromerzeugung in die Produktions- oder Konsummöglichkeiten anderer Akteure ein und beeinflusst insofern ihre Wohlfahrt. Voraussetzung für das Vorliegen externer Effekte ist, dass die Auswirkungen von den Wirtschaftssubjekten selbst kontrolliert werden können. Externe Effekte sind insofern von Zufallseinflüssen abzugrenzen. So hat das Wetter ebenfalls Auswirkungen auf die Wohlfahrt der Akteure, erfüllt jedoch nicht den Sachverhalt externer Effekte, da es sich um eine stochastische Komponente handelt.

2. Fehlende Kompensation

Charakteristisch für externe Effekte ist, dass keine Kompensationszahlungen geleistet werden, d. h. weder Kosten noch Nutzen werden marktmäßig berücksichtigt und geldmäßig ausgeglichen.

Gemäß dieser Charakteristika lassen sich externe Effekte formal folgendermaßen definieren: Externe Effekte liegen dann vor, wenn in der Nutzenfunktion U_A eines Akteurs A außer dessen eigenen Aktionsparametern $X_A^1, X_A^2, X_A^3, \dots, X_A^n$ mindestens eine Variable Y enthalten ist, die nicht

(vollständig) von A_i , sondern von einem oder mehreren anderen Akteuren kontrolliert wird:
 $U_A = U_A(X_A^1, X_A^2, X_A^3, \dots, X_A^n; Y)$.

Das Problem externer Effekte besteht darin, dass aufgrund der fehlenden Kompensation für die interdependenten Auswirkungen ein unter gesamtwirtschaftlichen Aspekten suboptimales Produktionsniveau gewählt wird: Im Fall negativer externer Effekte wird der Unternehmer anders kalkulieren und eine höhere Menge, als gesamtwirtschaftlich optimal ist, produzieren, da er die Kosten für die Umweltverschmutzung nicht tragen muss. Umgekehrt wird er im Fall positiver externer Effekte eine geringere Menge als die volkswirtschaftlich optimale produzieren, da er die Erträge aus den positiven externen Effekten realisieren kann. Es liegt also ein öffentliches Gut vor.

Ineffizienzen bestehen, wenn der Nutzen, den ein Verursacher externer Effekte von seinem Tun hat, geringer ist als der Schaden, den ein Betroffener davon hat. Beispielhaft hierfür kann der Wert für saubere Luft aufgeführt werden [Masuhr et al. 1992]. Der Preis dieses Gutes beträgt Null, obwohl es im ökonomischen Sinne durchaus knapp ist. Solange dieser Preis beibehalten wird, „verbraucht“ ein Kraftwerk saubere Luft als Aufnahmereservoir für gasförmige Abfallstoffe und emittiert diese verunreinigte Luft ohne Filteranlage. Hierdurch entsteht Anwohnern, deren Grenznutzen für saubere Luft über Null liegt, ein Nachteil, dessen Kosten nicht in der Wirtschaftlichkeitsrechnung des Kraftwerkunternehmens auftauchen. Die ökonomische Ineffizienz liegt in der Tatsache begründet, dass eine Vermeidung der Luftverschmutzung zumindest in der Anfangsphase einen geringeren Betrag ausmachen würde, als der daraus entstehende Nutzen für die Anwohner Vorteile brächte.

Die Auswirkungen externer Effekte auf die Entwicklung von Angebot und Nachfrage werden in Abbildung 2.1 veranschaulicht. Das Beispiel bezieht sich wiederum auf den Markt für Strom. Es wird davon ausgegangen, dass auf dem Strommarkt vollkommener Wettbewerb existiert. Diese Annahme ist aus dem Grund wichtig, dass der Strombetreiber in diesem Fall seinen Strom zu dem Preis anbieten muss, der gerade die ihm entstehenden Kosten deckt. Anders formuliert entspricht die private Kostenfunktion des Unternehmers seiner Angebotsfunktion. Während das Angebot mit zunehmendem Preis steigt, wird die Nachfrage bei steigenden Preisen entsprechend geringer.

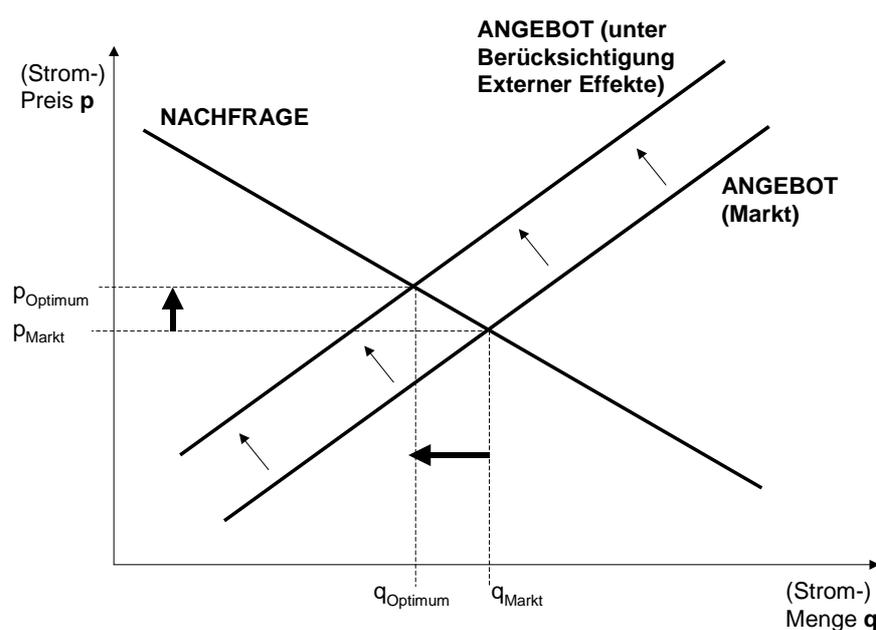


Abbildung 2.1: Abhängigkeit von Angebot und Nachfrage

Abbildung 2.1 lässt folgende Rückschlüsse in Bezug auf die Auswirkungen externer Effekte zu:

Offensichtlich entstehen neben den privatwirtschaftlichen, vom Unternehmer getragenen Kosten weitere Kosten: Es handelt sich dabei z. B. um Kosten durch Umweltverschmutzung im Zusammenhang mit der Stromerzeugung, die nicht vom Verursacher, sondern von der Allgemeinheit getragen werden müssen. Wäre das Unternehmen gezwungen, für die Umweltfolgekosten aufzukommen, würde sich seine Angebotsfunktion nach links oben verschieben. Das Unternehmen könnte den Strom entsprechend nur zu einem höheren Preis anbieten. Entsprechend würde die Nachfrage, die preisabhängig ist, angesichts der gestiegenen Strompreise zurückgehen. Es würde sich also unter Berücksichtigung der tatsächlichen gesamtwirtschaftlichen Produktionskosten ein neues Gleichgewicht auf dem Strommarkt bei $q_{Optimum}$ und $p_{Optimum}$ einpendeln.

2.2 Ansätze zur Internalisierung externer Effekte

Im vorhergehenden Abschnitt ist deutlich geworden, dass das Problem externer Effekte dadurch entsteht, dass externe Effekte nicht durch den Marktmechanismus berücksichtigt werden, sondern sowohl im positiven als auch im negativen Fall ein öffentliches Gut darstellen. Im Fall positiver externer Effekte entfällt die marktmäßige Entlohnung und insofern der Anreiz eine Tätigkeit weiterzuverfolgen, die einen größeren sozialen als privaten Nutzen hat. Bei negativen externen Effekten muss aufgrund der fehlenden Berücksichtigung dieser Effekte durch den Markt die Allgemeinheit die Folgekosten tragen und nicht der Verursacher.

Ziel der Internalisierung externer Effekte ist es daher, eine Kompensation für die externen Effekte herbeizuführen. Hierbei trägt der Verursacher die Kosten des externen Effekts oder erhält einen Ausgleich für externe Nutzen, die durch sein Handeln entstehen. Da der Markt von allein dies offensichtlich nicht bewirkt, müssen von staatlicher Seite her Maßnahmen ergriffen werden, um die Wirtschaftssubjekte zu zwingen, externe Effekte in ihren Entscheidungen zu berücksichtigen. In der wirtschaftswissenschaftlichen Forschung sind unterschiedliche Lösungsvorschläge entwickelt worden. Sie lassen sich grob in zwei Kategorien unterteilen: zum einen Lösungen des Staates, bei denen der Staat durch Aufforderungen, Verbote, Auflagen oder Steuern bzw. Abgaben in das Marktgeschehen eingreift, und zum anderen Lösungen über den Markt wie z. B. eine Verhandlungslösung oder den Zertifikatehandel. Selbstverpflichtungen stellen einen dritten Ansatz dar, der sich zwischen einer staatlichen und marktlichen Lösung bewegt.

Da es im weiteren Verlauf der Arbeit nicht darum geht, in welcher Form externe Effekte internalisiert werden können, sondern es nur um die Erfassung und Bewertung externer Effekte geht, soll im Folgenden nur kurz auf die oben beschriebenen Ansätze zur Internalisierung eingegangen werden. Dabei wird sich zeigen, dass es nicht den optimalen Internalisierungsansatz gibt, sondern vielmehr jeder Lösungsansatz mit anderen Problemen oder Nachteilen verbunden ist.

2.2.1 Marktlösungen

Bei diesen Ansätzen geht es um eine marktwirtschaftliche Lösung der Internalisierung externer Effekte:

Coase-Theorem/Verhandlungslösung

Ronald Coase stellte in seinem Artikel „The Problem of Social Cost“ [Coase 1960] eine Verhandlungslösung vor. Die Idee der Verhandlungslösung besteht darin, dass Coase davon ausgeht, dass eine staatliche Lösung an sich nicht notwendig ist, sondern sich der Verursacher und Geschädigte bzw. der Verursacher und Nutznießer durch Verhandlungen auf die Höhe der Aus-

gleichszahlungen einigen können. Allerdings hängt die von Coase vorgeschlagene Lösung von drei Faktoren ab:

1. Ausreichend geringe oder keine Transaktionskosten

Dies ist in der Realität nicht der Fall. Gerade die Transaktionskosten machen die praktische Umsetzung der Coase'schen Verhandlungslösung schwierig, da letztere erhebliche Informations-, Verhandlungs-, Einigungs- und Durchsetzungskosten für beide Seiten mit sich bringt. Je mehr Akteure beteiligt sind, um so kostspieliger wird eine Verhandlungslösung unter einer Transaktionskostenlösung. Eine Institutionalisierung der Verhandlungen durch Stellvertreter in Gremien bringt weitere Probleme mit sich wie z. B. Trittbrettfahrerverhalten oder eine mangelnde Repräsentativität der Lösung, da Einzelinteressen unberücksichtigt bleiben.

2. Definition der Eigentumsrechte

Voraussetzung für eine Übereinkunft durch Verhandlungen ist eine klare Definition der Eigentumsrechte. Dabei ist unerheblich, wie die Eigentumsrechte definiert worden sind, d. h. es spielt für das Endergebnis keine Rolle, ob der Verursacher das Recht auf Verschmutzung hat und vom Geschädigten für eine Unterlassung oder Einschränkung bezahlt werden muss; oder ob der Geschädigte ein Recht auf eine saubere Umwelt hat und der Verursacher insofern für die Umweltverschmutzung zahlen muss. An dem Beispiel ist deutlich geworden, dass die Definition der Eigentumsrechte nur entscheidend dafür ist, welche der beiden Parteien für die Kompensation des externen Effekts aufkommen muss.

3. Symmetrische Information

Coase geht davon aus, dass beiden Parteien die Schadenshöhe bzw. die Höhe des Gewinns, die durch den externen Effekt entstehen, bekannt sind. Ist dies nicht der Fall, tritt eine Informationsasymmetrie auf, durch die eine optimale Lösung verfehlt werden kann.

Die Tatsache, dass Coase für diese Verhandlungslösung 1991 mit einem Nobelpreis ausgezeichnet worden ist, macht deutlich, dass unter der Abstraktion von den drei oben genannten Faktoren seine Lösung zu einem optimalen und effizienten Ergebnis führen würde. Eine Umsetzung dieser Lösung in der Realität hängt jedoch davon ab, ob oder in welchem Maße es gelingt, die mit ihr verbundenen praktischen Probleme zu lösen.

Zertifikatehandel

Bekannter als die Coase-Lösung ist der Zertifikatehandel. So ist im Zusammenhang mit der Problematik von CO₂-Emissionen über die Einführung von Verschmutzungszertifikaten diskutiert worden. Die Idee des Zertifikatehandels besteht darin, die Emission von Schadstoffen als knappes Gut zu definieren. Zu diesem Zweck wird von staatlicher Seite ein erlaubtes Gesamtkontingent an Schadstoffemissionen festgelegt, für das Zertifikate herausgegeben werden. Diese Zertifikate können nun über einen Markt gehandelt werden, d. h. das Unternehmen muss für seine Schadstoffemission ein Zertifikat erwerben, so dass die Umweltverschmutzung nun in der Kostenfunktion des Unternehmens auftaucht.

Insofern steht das Unternehmen vor der Entscheidung, in umweltfreundlichere Technologien zu investieren oder auf andere Art und Weise seine Emissionen zu verringern oder eben über den Markt Zertifikate zu erwerben.

Ebenso wie die Verhandlungslösung von Coase ist auch der Emissionshandel mit Zertifikaten in der Praxis mit Nachteilen verbunden: Gelingt es z. B. einem Unternehmen, eine marktbeherrschende Stellung auf dem Zertifikatsmarkt einzunehmen und einen großen Teil der Zertifikate zu erwerben, so kann es lokal zu erheblichen Umweltbelastungen kommen. Das heißt, dass der Emissionshandel zwar global funktionieren, aber lokal zu erheblichen Schädigungen führen

kann. Auch die praktische Kontrolle der Emissionsmenge der einzelnen Unternehmen, d. h. die Kontrolle, ob tatsächlich nur in Höhe der gekauften Emissionsrechte eine Umweltverschmutzung erfolgt, ist problematisch. Die Zertifikatelösung ist also mit erheblichen Kontrollkosten verbunden.

2.2.2 Staatliche Lösungen

Aufforderungen zu Selbstverpflichtungen

Selbstverpflichtungen stehen zwischen staatlichen und marktlichen Lösungen. Anstelle einer staatlichen Lösung, die stets Zwangscharakter hat, einigen sich die Unternehmen im Rahmen einer Selbstverpflichtung auf eine umweltschonendere Vorgehensweise. So gab es z. B. 2001 im Bundesrat die Idee, nicht ein Dosen-Zwangspfand einzuführen, sondern vielmehr die Getränkeindustrie in Form einer Selbstverpflichtung dazu zu bringen, eine Mindestmenge ihrer Produkte in ökologisch vorteilhafte Verpackungen zu füllen.

Das Problem der Selbstverpflichtungen besteht darin, dass die Kosten der Internalisierung stets voll zu Lasten des Verursachers gehen, der Nutzen aber auf mehrere verteilt wird, da die Allgemeinheit von einer weniger verschmutzten Umwelt profitiert. Aus diesem Grund lassen sich Selbstverpflichtungen in der Praxis nur dann umsetzen, wenn die Unternehmen beispielsweise die Selbstverpflichtung als Imagegewinn vermarkten oder in Form eines Umwelt- und Gütesiegels gegenüber dem Verbraucher signalisieren können. Auch diese Lösung ist wiederum mit Kontrollkosten verbunden, da überprüft werden muss, inwiefern sich das Unternehmen bei seiner Produktion an die Selbstverpflichtung hält.

Verbote und Auflagen

Bei dieser Lösung wird Umweltverschmutzung entweder generell staatlich verboten oder gesetzlich beschränkt. Diese Lösung klingt zunächst sehr einfach und insofern attraktiv. Jedoch bestehen auch hier erhebliche Probleme in der praktischen Umsetzung.

Bei Verboten besteht für die Unternehmen ein Anreiz, diese zu umgehen. Daher müssen zum einen wirksame Kontrollen der Einhaltung der Verbote gegeben sein und zum anderen die Strafe für einen Verstoß ausreichend hoch sein.

Problematisch ist die Festlegung der erlaubten Schadensmenge, da von staatlicher Seite hier evtl. Informationen fehlen. Da die erlaubten Schädigungen ohne Ausgleich von der Allgemeinheit getragen werden, besteht kein Anreiz für Unternehmen, in umweltschonendere Technologien zu investieren oder diese zu erforschen.

Steuern, Abgaben und Subventionen

Weitere staatliche Lösungen sind Steuern, Abgaben und Subventionen:

Pigou hat bereits 1920 in seinem Werk „The Economics of Welfare“ [Pigou 1920] einen Vorschlag gemacht, externe Kosten durch eine Besteuerung, die so genannte Pigou-Steuer, zu internalisieren. Dabei soll der Verursacher dazu verpflichtet werden, die Kosten in Höhe der entstandenen Schäden zu begleichen. Insofern tauchen die durch die externen Effekte für die Allgemeinheit verursachten Kosten in Form einer Steuer in der privaten Kostenfunktion des Unternehmers auf. Im Idealfall entsprechen seine privaten Produktionskosten aufgrund der Pigou-Steuer nun den sozialen Kosten. Diese Lösung ist also nur unter hohen Anforderungen effizient: Grundsätzlich sind Steuererhebungen auch mit Kontroll- und Verwaltungskosten verbunden. Außerdem besteht das Problem, dass wiederum von staatlicher Seite die Höhe der Abgaben fest-

gelegt werden müssen. Diese müssen den tatsächlichen Umweltfolgekosten entsprechen. Hier besteht in der Praxis ein Informationsproblem, da es in der Regel ex ante nicht möglich ist, die exakten Folgekosten zu bestimmen.

Im Falle positiver externer Effekte erhält das Unternehmen Subventionen. Diese senken wiederum seine privaten Produktionskosten und liefern dem Unternehmen so den Anreiz, ein höheres und somit gesamtwirtschaftlich optimales Produktionsniveau zu wählen.

Beim Preis-Standard-Ansatz von Baumol und Oates muss das Wirtschaftssubjekt eine Abgabe pro Schadenseinheit zahlen, wobei diese den Grenzvermeidungskosten entsprechen sollte. Von staatlicher Seite her wird zudem eine bestimmte Schadensmenge als Ziel definiert. Abgaben haben im Vergleich zu staatlichen Auflagen oder Verboten den Vorteil, dass sie dem Unternehmen Anreize bieten, bei gleicher Produktionsmenge seine Emissionen zu verringern, um so weniger Kosten in Form von Abgaben zu haben. Ebenso wie bei der Pigou-Steuer steht der Staat auch bei der Abgabenslösung vor dem Problem, die richtige Höhe der Abgaben festzulegen. Dies würde eine genaue Kenntnis der Grenzvermeidungskosten von staatlicher Seite voraussetzen.

Durch Subventionen kann der Staat einen Anreiz schaffen, beispielsweise den Schadstoffausstoß zu verringern. Durch diese staatliche Bezuschussung können allerdings falsche Anreizwirkungen und Mitnahmeeffekte entstehen.

2.2.3 Schlussfolgerungen

Die Diskussion der unterschiedlichen Ansätze zur Internalisierung externer Effekte hat gezeigt, dass diese in der Regel entweder mit praktischen Durchführungsproblemen verbunden sind oder anderweitige Nachteile mit sich bringen, wie z. B. dass sie keine Anreize schaffen, umweltfreundlichere Technologien zu erforschen und einzusetzen. Außerdem besteht in den meisten Fällen ein Informationsproblem, da die Höhe des Schadens oder Nutzens ex ante monetär nicht festgelegt werden kann. Auch entstehen bei den Lösungen jeweils Kosten über die durch die externen Effekte verursachten Kosten hinaus: Marktwirtschaftliche Lösungen wie das Coase-Theorem sind mit erheblichen Transaktionskosten im Zusammenhang mit den Verhandlungen verbunden. Staatliche Lösungen bedingen immer Kontrollkosten, da die Unternehmen Anreize haben, eine höhere als die erlaubte Menge an Schadstoffen zu emittieren.

3 Externe Effekte bei Laufwasserkraftanlagen

3.1 Wasserkraft im Vergleich verschiedener Energieerzeugungsformen

Angesichts des Klimawandels und der ihm zugeschriebenen Häufung von Naturkatastrophen ist die breite Öffentlichkeit zunehmend für Umweltthemen sensibilisiert. Da zur Energieerzeugung auf natürliche Ressourcen zurückgegriffen wird, wird auch hier der Umweltverträglichkeit und Nachhaltigkeit der Energiegewinnungsverfahren in der öffentlichen Diskussion in verstärktem Maße Bedeutung zugemessen [Boyle et al. 2003]. Der Schutz der natürlichen Lebensgrundlagen hat insofern einen hohen Stellenwert in der Öffentlichkeit und bedeutet für die Energieerzeugungsunternehmen, dass sie sich mit der Problematik einer höchstmöglichen Schonung der Umwelt auseinandersetzen müssen. Dabei gelten die Maximen, dass von der Energieerzeugung keine Gefahr für die Bevölkerung ausgeht und sie die Umwelt so gering wie möglich belasten muss. Da über die letzten Jahrzehnte hinweg der Energiebedarf von Haushalten und Wirtschaftsunternehmen stark angestiegen ist, konzentriert man sich seit ungefähr 20 Jahren in besonderem Maße auf die Entwicklung und Nutzung von erneuerbaren Energiequellen.

Idealerweise sollte die Energiequelle unerschöpflich, umweltverträglich, flächendeckend und konstant verfügbar, kostengünstig und sicher gegenüber Ausfällen sein [Giesecke 1997]. Bei der vergleichenden Betrachtung verschiedener Energieerzeugungsformen kann man feststellen, dass die Wasserkraft im Gegensatz zu den anderen Arten der Stromproduktion viele dieser Kriterien erfüllt.

Der geschlossene Wasserkreislauf sorgt für konstanten Nachschub der für die Wasserkraft notwendigen Ressource Wasser. Sie zählt zu den umweltfreundlichsten Formen der Stromproduktion, da sie Luft, Wasser, Boden und Klima nicht durch Schadstoffe belastet. Verglichen mit anderen erneuerbaren Energiequellen in Deutschland wie Wind und Sonne ist die Laufwasserkraft relativ konstant vorhanden bzw. unterliegt nicht solch extremen Schwankungen im Jahres- und Wochenverlauf (s. Abbildung 3.1). Ihre Verfügbarkeit im Jahresverlauf ist relativ gut kalkulierbar, da die durchschnittlichen monatlichen Abflussmengen der letzten Jahrzehnte Informationen über die zu erwartenden Werte liefern.

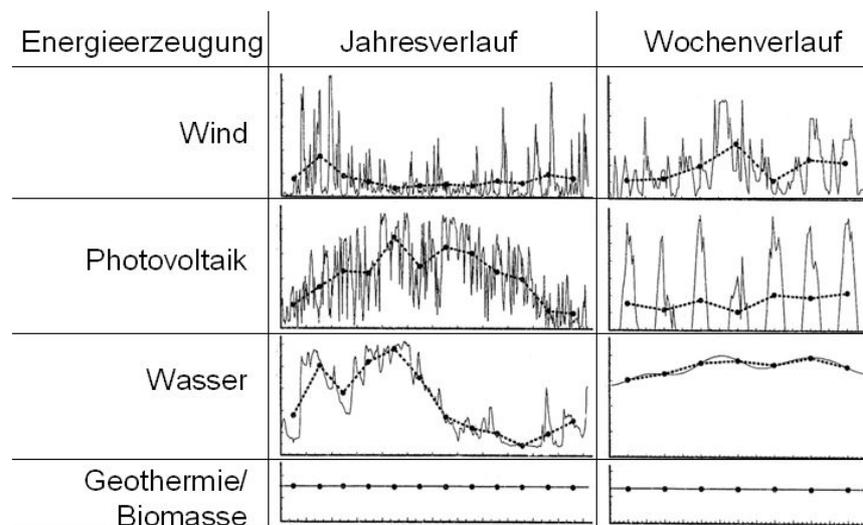


Abbildung 3.1: Verfügbarkeit erneuerbarer Energiequellen [Giesecke 2004]

Die Wasserkraftanlagen und ihre Betriebseinrichtungen können neben der Energieerzeugung für andere wasserwirtschaftliche, aber auch soziale Nutzungen eingesetzt werden. Diese Mehrzwecknutzung hebt sie deutlich von anderen Energieerzeugungsformen ab, die ausschließlich der Stromproduktion dienen. Der Betrieb einer Wasserkraftanlage ruft nicht nur negative Auswirkungen durch den Eingriff in die Natur hervor, sondern besitzt zusätzlich eine Anzahl an Vorteilen im ökonomischen, ökologischen und sozialen Bereich, welche die Nachteile oftmals ausgleichen bzw. überwiegen können. Beispiele für die Mehrzwecknutzung der Wasserkraft sind der Hochwasserschutz, die Freizeitnutzung und die Schifffahrt.

Eine Verbesserung des Umweltschutzes kann durch die Vermeidung von Schadstoffen bei der Stromerzeugung erreicht werden. So wird mit jeder durch Wasserkraft erzeugten kWh elektrischen Stroms gegenüber einem Kohlekraftwerk z. B. 1.000 g Kohlendioxyd, 1,4 g Schwefeldioxyd und 0,7 g Stickoxyd vermieden, wobei die Wasserkraft die Ressourcen an nicht regenerativen fossilen und nuklearen Brennstoffen schont [Giesecke 1997]. Nach derzeitigem Wissensstand werden die momentan bekannten Energieressourcen unter Annahme der heutigen Förderraten beim Erdöl nur noch ca. 45 Jahre, beim Erdgas ca. 65 Jahre, bei der Steinkohle ca. 180 Jahre und bei der Braunkohle noch ca. 225 Jahre ausreichen [Heimerl 2002].

Besondere Bedeutung kommt der Wasserkraft bei der jährlichen Verfügbarkeit und dem Erntefaktor zu (s. Tabelle 3.1). Durch eine oftmals nahezu konstante Verfügbarkeit der Anlagen kann bei Wasserkraftanlagen mit ca. 5.000-8.000 h/a (durchschnittlich mit ca. 6.000 h/a) geplant werden bei insgesamt 8.760 Stunden pro Jahr. Diese jährliche Betriebsdauer verdankt die Wasserkraft hauptsächlich den in dieser Arbeit betrachteten Laufwasserkraftanlagen. Die Ursache für diesen im Vergleich zu anderen Erneuerbaren wie z. B. Wind und Sonne hohen Wert liegt in der bereits erwähnten Konstanz des Jahres- und Wochenverlaufs.

Auffallend ist der extrem hohe Erntefaktor der Wasserkraft mit einem Wert größer 200. Der Erntefaktor errechnet sich aus dem Verhältnis der insgesamt durch dieses Kraftwerk erzeugten Energiemenge zu jener Energiemenge, die für den Bau, den Betrieb und den Abbruch des Kraftwerks aufzubringen ist [Giesecke & Mosonyi 2005]. Für den Vergleich der Erntefaktoren wird eine gleiche Betriebsdauer aller Anlagen zugrunde gelegt. Alle anderen Anlagen besitzen einen Erntefaktor, der mit Werten zwischen 5 und 40 deutlich unter dem der Wasserkraft liegt.

Besonders starker Einfluss auf den Erntefaktor hat der Rückbau der Anlage. Bislang wurden kaum Wasserkraftwerke zurückgebaut, da sie eine sehr lange Betriebsdauer von bis zu 80 in einigen Fällen sogar 100 oder mehr Jahren besitzen. Die Rückstände eines Wasserkraftwerks beschränken sich hauptsächlich auf Gebäude- und Maschinenteile, das Sperrenbauwerk und evtl. Rohrleitungen. Im Vergleich dazu kommen bei Kern- und Kohlekraftwerken beispielsweise zusätzlich Brennöfen und verstrahlte Gebäudeteile uvm. hinzu. Für das im Jahr 2005 vom Netz genommene Kernkraftwerk Obrigheim rechnet die EnBW als früherer Betreiber mit einer Rückbauzeit von ca. 20 Jahren.

Tabelle 3.1: Verfügbarkeit und Erntefaktoren verschiedener Energieerzeugungsformen (Stand: 2002) [Giesecke 2004]

Art	max. Verfüg- barkeit [h/a]	durchschn. Ver- fügbarkeit [h/a]	Erntefaktor	bundesweit	gesamt
Wasserkraft	5.000-8.000	6.000	267	5 %	8 %
Windkraft	2.800	1.300	39	3 %	
Photovoltaik	800	800	9	0,01 %	
Geothermie	8.000	8.000	-	-	
Biomasse	8.000	6.000	5-27	0,5 %	
Kernenergie	8.000	7.600	16	28 %	
Kohle, Gas, Öl	5.000-7.500	4.600	11-21	64 %	92 %

Durch den gut ausgereiften Stand der Technik besitzt die Wasserkraft einen hohen Nettowirkungsgrad von 70 % bis zu 90 %. Dieser Wert kann von keinem anderen Kraftwerkstyp erreicht werden (s. Abbildung 3.2), bei diesen ist demnach die zugeführte Energiemenge sehr viel höher als die nutzbar abgegebene Energiemenge. Der gute Wirkungsgradverlauf der Wasserkraft ist besonders auch im Vergleich zu den erneuerbaren Energiequellen (hier dargestellt die Windkraft- und die Photovoltaikanlagen) eindrucksvoll hervorzuheben.

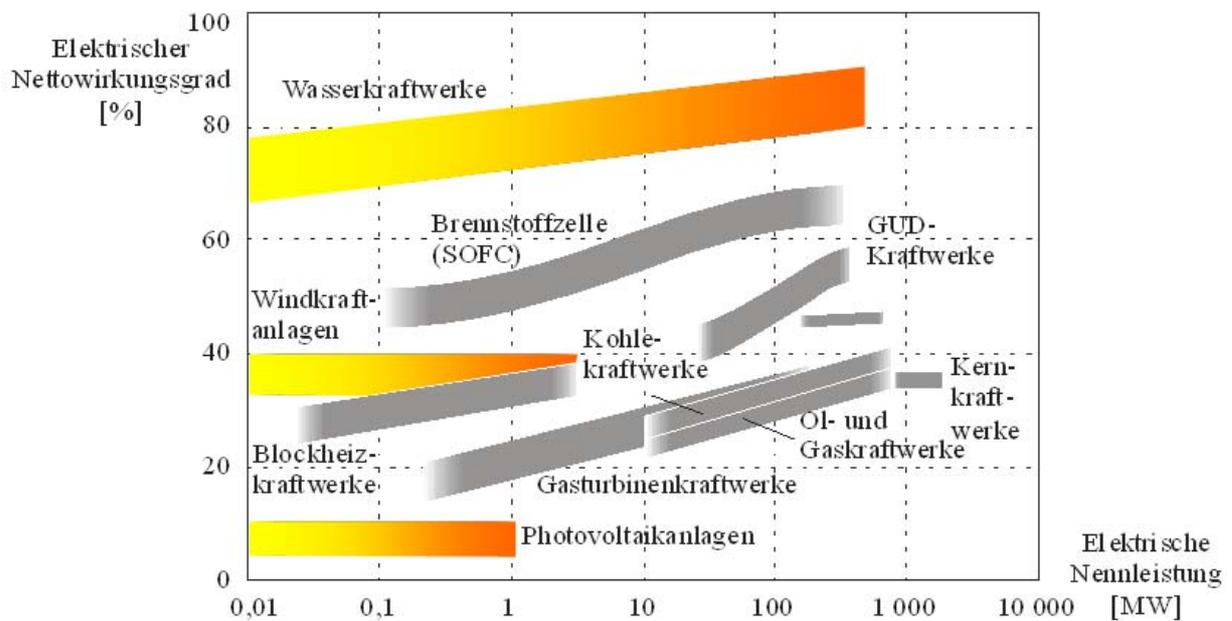


Abbildung 3.2: Nettowirkungsgrade verschiedener Kraftwerkstypen in Abhängigkeit der elektrischen Nennleistung [Geiger & Wagner 1997]

Da außergewöhnliche Störfälle mit Auswirkungen auf die Allgemeinheit bei Laufwasserkraftwerken sehr selten bis überhaupt nicht auftreten, wurden diese in der vorliegenden Studie nicht weiter berücksichtigt. Dieser Aspekt sollte allerdings dennoch hier im Vergleich mit anderen

Energieerzeugungsformen Erwähnung finden. So jährte sich 2006 der bereits erwähnte folgenschwere Störfall des Kernkraftwerks Tschernobyl zum 20. Mal. Die extensive Presseberichterstattung zu diesem Thema zeigt, wie sensibilisiert die breite Öffentlichkeit für Umweltfolgen der Energieerzeugung ist und begründet das allgemeine Interesse an regenerativer Stromproduktion.

3.2 Vorhandene Ansätze zur Bewertung externer Effekte

Da häufig die externen Effekte der Energieerzeugung ex ante nicht abgeschätzt werden können und auch ihre Quantifizierung und Bewertung erhebliche Probleme aufwerfen, wurde dem Thema der externen Effekte der Wasserkraftnutzung bisher sehr wenig Beachtung geschenkt. Grundsätzlich fokussieren sich die meisten Arbeiten auf die externen Kosten verschiedener Energieerzeugungsformen und vernachlässigen die externen Nutzen. Dies mag vor allem daran liegen, dass die externen Nutzen bei den meisten Energieerzeugungsformen eine vernachlässigbar kleine Bedeutung haben. Bisher existieren daher keine umfassenden Bewertungstools zur Erfassung und Bewertung von sowohl positiven als auch negativen externen Effekten auf dem Wasserkraftsektor.

Eine erste umfassendere Studie über die Wasserkraft betreffende externe Effekte erstellten Hauenstein et al. (1999) in der Schweiz. Sie führte zu dem Ergebnis, dass die Energieerzeugungskosten der fossilen Kraftwerke bei der Einbeziehung externer Effekte bedeutend teurer als die der Wasserkraft sind, wohingegen es sich ohne Berücksichtigung der externen Effekte gerade umgekehrt verhält. Für diesen Vergleich war eine Monetarisierung der externen Effekte notwendig, die in dieser Studie durchgeführt wurde. Sie bezieht als eine der wenigen Studien neben den externen Kosten ebenfalls die externen Nutzen mit ein.

Diese Studie bezieht sich jedoch auf die in der Schweiz hauptsächlich vorkommenden Hochdruckanlagen und kann somit nicht ohne weiteres auf hiervon abweichende Wasserkraftwerkstypen übertragen werden. In der Studie wird direkt auf den dringenden weiteren Forschungsbedarf auf diesem Gebiet verwiesen.

Bereits 1991 begann eine Zusammenarbeit [ExternE 1995a und b] (ExternE - Externalities of Energy) zwischen der EU und dem US Department of Energy. Sie hat eine erste systematische Annäherung an die Bewertung von externen Kosten in einem weiten Rahmen unterschiedlicher Energieerzeugungen zum Ziel. In der Zeit von 1991 bis 1993 wurden hauptsächlich die Umwelteinflüsse und sozialen Kosten der Energieerzeugung und dem Energieverbrauch verschiedener Kraftwerkstypen gegenüber gestellt. Einzelne Gruppen untersuchten Kohlekraftwerke, Öl- und Gaskraftwerke, Kernkraftwerke sowie Wind- und Wasserkraftwerke hinsichtlich dieser Kriterien.

Im Rahmen des ExternE-Projekts soll eine Methode entwickelt werden für die Bewertung der externen Kosten jedes Kraftwerkstyps in verschiedenen Ländern Europas, um so einen allgemeinen Vergleich zu ermöglichen. Die bisherigen Untersuchungen der externen Effekte der Wasserkraft des ExternE-Projekts beinhalten hauptsächlich die externen Kosten, wobei sie die externen Nutzen nicht komplett erfassen. Es wurde zum einen der Nutzen aus den so genannten „vermiedenen“ Kosten mit einbezogen, zum anderen Ansätze herausgearbeitet im Bereich der zusätzlichen Arbeitsplätze durch Wasserkraft sowie eines größeren Erholungsangebotes. Als negativ einzustufen ist jedoch, dass sie nicht in die Bewertung eingeflossen sind. Es wird allerdings explizit darauf hingewiesen, dass diese Aspekte weiter erörtert, verfeinert und bewertet werden müssen. Letztendlich wird hier ein beträchtlicher Forschungsbedarf auf dem Gebiet der externen Effekte herausgearbeitet, der eine systematische Bewertungsmethode beinhaltet. Außerdem soll

eine Generalisierung der Bewertung erreicht werden, da sich herausstellte, dass die Studien im Bereich der Wasserkraft sehr ortsspezifisch sind.

Während des Projekts war wachsendes Interesse an den Studien zu den externen Effekten bei allen EU-Mitgliedsstaaten zu erkennen, was die Bedeutung einer solchen Studie unterstreicht. Diese ersten Studien ergaben sehr geringe externe Kosten bei Wind- und Wasserkraft.

Eine erste vergleichende Untersuchung externer Effekte verschiedener Formen der Stromerzeugung in Deutschland im Auftrag des Umweltbundesamtes „Vergleich externer Kosten der Stromerzeugung in Bezug auf das Erneuerbare Energien Gesetz“ [UBA 2001] hat ergeben, dass zur wirtschaftlichen Rechnung von regenerativen Energiequellen die externen Effekte maßgeblich beitragen und eine Einbeziehung der externen Kosten für eine nachhaltige Entwicklung der Energieerzeugung auf Dauer unverzichtbar ist. Daher wird vom Gutachter, Prof. Dr. Olav Hohmeyer der Universität Flensburg, in dieser Untersuchung gefordert, die Wissenslücken über die externen Kosten zu schließen und vor allem eine Möglichkeit der Bewertung zu finden.

Die externen Kosten werden auch als die „vergessenen Milliarden“ bezeichnet [INFRAS/ECONCEPT/PROGNOS 1996]. Diese Studie subsumiert, dass die externen Kosten sich jedes Jahr sowohl auf dem Energie- als auch auf dem Verkehrssektor zwischen 3 % und 5 % des Bruttoinlandsproduktes der Schweiz bewegen. Dabei lag der Fokus auf der Monetarisierung der Schäden durch Luftverschmutzung und den Schäden aufgrund von Störfällen. Die energiebedingten Kosten der Luftverschmutzung in der Schweiz bewegen sich zwischen 1.800 und 4.300 Mio. Fr/a. Die Wasserkraft ist aber nur für einen geringen Teil der Kosten verantwortlich, da die Mehrheit dieser Kosten durch fossile Energieträger hervorgerufen wird. Die Studie schließt mit dem Ergebnis, dass sich die Kosten für den Verbrauch von Energie unter Berücksichtigung der externen Kosten im Rahmen einer erweiterten Wirtschaftlichkeitsrechnung deutlich erhöhen würden. Trotz aller bei dieser Studie herausgearbeiteten Unsicherheiten, Wissenslücken und Unzulänglichkeiten sind die Autoren sich einig, dass die Hauptaussagen sicher und eindeutig seien: Die externen Kosten von Energie und Verkehr führen zu großen volkswirtschaftlichen, ökologischen und sozialen Folgeproblemen und verfälschen die Konkurrenz zwischen der erneuerbaren und der herkömmlichen Energieerzeugung. Zudem verursachen sie gewaltige Kostenlasten für kommende Generationen.

Forschungsbedarf aufgrund der vorhandenen Studien

Die vorstehenden Ausführungen geben einen knappen Überblick über einige bislang existierende Ansätze zur Erfassung und Bewertung externer Effekte von Wasserkraftanlagen. Bei diesen bereits vorhandenen Bewertungen wurden aber - wie bereits erwähnt - hauptsächlich die externen Kosten berücksichtigt, die externen Nutzen wurden dagegen nicht ausreichend betrachtet. Diese sind allerdings für eine Gesamtbeurteilung unbedingt zu berücksichtigen.

Alle vorhandenen Studien kommen zu den Teilergebnissen, dass eine Einbeziehung der externen Effekte für einen fairen Vergleich der unterschiedlichen Energieerzeugungsformen unbedingt notwendig und weiterer Forschungsbedarf dringend erforderlich sind.

Hierbei ist es wichtig, länderspezifische Besonderheiten und Probleme zu berücksichtigen, wie z. B. die in der Schweiz typischen Hochdruck-Speicherkraftwerke oder der Nutzen bei norwegischen Fjorden durch die seitliche Wassereinleitung. Dort verhindert die Zugabe von warmem Wasser aus den Kraftwerken eine Eisbildung im Winter oder verringert diese zumindest und ermöglicht somit eine ganzjährige Schifffahrt. In Deutschland sind entsprechend andere Aspekte zu berücksichtigen.

Die vorhandenen Ansätze bilden die Grundlage zu dieser Studie. Zu Beginn dieser Studie wurden die vorhandenen Ansätze auf deren Allgemeingültigkeit oder Übertragbarkeit auf hier vorhandene Kraftwerke überprüft und darauf hingewiesen, dass bei den bereits existierenden Bewertungen hauptsächlich die externen Kosten berücksichtigt, die externen Nutzen bislang aber kaum beachtet bzw. bewertet wurden. Diese sind für eine Gesamtbeurteilung essentiell und nehmen daher einen wichtigen Platz in dieser Forschungsarbeit ein. Bei allen vorhandenen Studien wird ein möglichst allgemein gültiges Bewertungsinstrumentarium gefordert.

3.3 Allgemeine Bewertungsmatrix

Externe Effekte betreffen eine Vielzahl unterschiedlicher Bereiche. Daher wird die Diskussion externer Effekte von Laufwasserkraftanlagen bei der folgenden Analyse in 13 wesentliche Oberbegriffe (Wassermanagement, Gewässerstruktur, Lebensraum/Umfeld, Raumnutzung, Treib- und Betriebsstoffe, Reststoffe, Transport, Personal, Schifffahrt, Emissionen, Energie- und Rohstoffverbrauch, Öffentlichkeit, Investitionen) eingeteilt, die jeweils noch auf Kosten und Nutzen hin untersucht werden. Die Reihenfolge der Aufzählung beinhaltet keine Wertung oder Gewichtung. Obwohl Ansätze für Zusammenstellungen dieser Art bereits in früheren Studien vorgenommen wurden (z. B. [Hauenstein et al. 1999] und [Heimerl 2002]), lag bislang eine umfassende Übersicht, wie sie mit dieser Studie gegeben ist, noch nicht vor.

Wie Tabelle 3.2 zeigt, gliedern sich die Oberbegriffe in mehrere Unterpunkte, die in einem weiteren Schritt in Kosten und Nutzen unterteilt werden. Dabei muss sinnvollerweise eine Unterscheidung nach der Wirkungszeit der Effekte (Bau- oder Betriebsphase) erfolgen, da die Dauer beim Auftreten eines Effekts eine wichtige Rolle spielt. Die Bauphase umfasst den absehbaren Zeitraum einiger Jahre, während die Betriebsphase bei einer Wasserkraftanlage jahrzehntelang je nach Konzession und Kraftwerkszustand andauern kann.

Wie in Abschnitt 3.1 bereits ausgeführt, treten externe Effekte nicht nur während der Bau- und der Betriebszeit auf, sondern auch bei Störfällen und beim Rückbau. Störfälle bei Laufwasserkraftwerken verursachen verhältnismäßig geringe Schäden, verglichen mit den Auswirkungen z. B. eines Störfalls von Atomkraftwerken oder eines Talsperrenversagens eines Speicherkraftwerks. Zudem sind Störfälle, die Auswirkungen auf Externe haben, bei Laufwasserkraftanlagen sehr selten. Die vorliegende Studie beschränkt sich ausschließlich auf externe Effekte während der Bau- und Betriebszeit, da der Abbruch und Rückbau von Wasserkraftwerken bislang selten durchgeführt wurden, wodurch auch die dabei hervorgerufenen externen Effekte zum Planungszeitpunkt als vernachlässigbar eingestuft werden können.

Die Abgrenzung der externen Effekte stellt ein großes Problem dar. Die Schwierigkeit besteht darin, genau festzulegen, welcher Effekt tatsächlich der Wasserkraftanlage zugeordnet werden kann und/oder muss. Einige Effekte sind u. U. entweder dem Kraftwerksbetreiber oder einem anderen Wirtschaftsbereich (z. B. der Baufirma) zuzuordnen bzw. teilweise dort internalisiert, d. h. der Effekt erscheint in der wirtschaftlichen Bilanz der jeweiligen Aktivitätsbereiche und gilt somit nicht mehr als extern. Dabei spielt u. a. die Projektgröße eine wichtige Rolle (s. auch Kapitel 1).

In der vorliegenden Arbeit wurde die Grenze „ab Werk“ festgelegt. Dementsprechend wird hier die Herstellung von z. B. Baumaterialien nicht berücksichtigt, wohl aber der Transport. Problematisch bei der Abgrenzung wird es z. B. bei auf der Baustelle errichteten Betonmischanlagen. Derart gravierende Abgrenzungsschwierigkeiten sind bei den Detaildarstellungen im Abschnitt 3.4 erläutert (s. beispielsweise E5.2 „Betriebsstoffe“).

Da viele Aspekte interdependent sind, kann es zu ähnlichen Auswirkungen bei unterschiedlichen Effekten kommen. Um hierbei Doppelzählungen und eine damit verbundene Verzerrung des Ergebnisses zu vermeiden, wurden die in dieser Studie getroffenen Abgrenzungen in Abschnitt 3.4 bei den betreffenden Effekten herausgearbeitet. Bei der Bewertung muss also besonders darauf geachtet werden, dass die Auswirkungen den hier festgesetzten Effekten zugeordnet werden und nur einmal in die Bewertung einfließen.

Jeder Effekt hat eine Auswirkung auf einen oder mehrere Wirkungsbereiche. Bei den Auswirkungen wurde die Unterscheidung auf die beiden Hauptbereiche Mensch und Umwelt festgelegt, wobei beim Menschen nochmals zwischen Gesundheit und Wohlbefinden unterschieden wird und bei der Umwelt Flora, Fauna und Umwelt allgemein betrachtet werden.

Der Bereich *Mensch-Gesundheit* subsumiert dabei die direkten Auswirkungen auf die Gesundheit der Menschen, wie z. B. durch Keime hervorgerufene Krankheiten, die bei einem Hochwasser auftreten können, oder die Veränderung der Gewässergüte, die sowohl positiv oder negativ erfolgen kann, in Gewässerbereichen, die zum Baden genutzt werden oder der Trinkwasserversorgung dienen.

Etwas weiter gefasst ist der Bereich *Mensch-Wohlbefinden*, der alle Punkte beinhaltet, die den sozialen und psychologischen Bereich betreffen. Damit sind beispielsweise die Angst vor Gefahren (z. B. durch Hochwasser), wirtschaftliche Aspekte, wie zusätzliche Arbeitsplätze und höherer Lebensstandard, aber auch eine Freizeitnutzung und Erholung, gemeint. Auswirkungen auf die Wirtschaft beziehen sich meist auf den Lebensstandard der Menschen, der großen Anteil am persönlichen Wohlbefinden hat. Folglich sind unter diesem Aspekt alle Auswirkungen zusammengefasst, die einen finanziellen Hintergrund besitzen.

Der Bereich *Flora* und *Fauna* befasst sich mit den direkten Auswirkungen auf die Pflanzen- oder die Tierwelt.

Beim Bereich *Umwelt-allgemein* erfolgt keine spezielle Zuordnung zu den Auswirkungen auf Mensch, Flora oder Fauna, die sich meist eher lokal auswirken. Dieser Aspekt umfasst räumlich und zeitlich schwer abgrenzbare Bereiche, wie z. B. die globale Verschlechterung bzw. Verbesserung der Atmosphäre.

Die Aufteilung der Effekte in Kosten und Nutzen unter Berücksichtigung von Wirkungszeit und Wirkungsbereich ist in der allgemeinen Bewertungsmatrix in Tabelle 3.2 dargestellt. Diese Matrix ist Grundlage der weiteren Bewertung aller Effekte. Die Nummerierung stellt hierbei keine Klassifizierung der Bedeutung bzw. Gewichtung einzelner Effekte dar.

Da im Folgenden häufig auf die aufgeführten Effekte verwiesen wird, soll die Nummerierung der Effekte mit dem vorangestellten Buchstaben „E“ von der Kapitelnummerierung unterschieden werden.

Tabelle 3.2: Zusammenstellung der externen Effekte der Laufwasserkraftnutzung (allgemeine Bewertungsmatrix); Reihung ohne Gewichtung

		Wirkungszeit				Wirkungsbereich				
		Kosten		Nutzen		Mensch		Flora	Fauna	Umwelt allgemein
		Bau	Betrieb	Bau	Betrieb	Gesundheit	Wohlbefinden			
E1	Wassermanagement									
E1.1	Hochwasser	x	x		x	x	x	x	x	
E1.2	Grundwasser	x	x			x	x	x		
E1.3	Gewässergüte		x			x	x	x	x	
E1.4	Mindestwasser		x		x			x	x	
E2	Gewässerstruktur									
E2.1	Morphologie		x				x			x
E2.2	Wasserspiegelschwankung		x					x	x	
E2.3	Geschiebe- und Schwebstoffhaushalt		x					x	x	
E3	Lebensraum/Umfeld									
E3.1	Beeinflusste Gewässerstrecke	x	x					x	x	
E3.2	Fischbestand				x		x		x	
E3.3	Durchgängigkeit	x	x						x	
E3.4	Gewässerrandstreifen				x			x	x	
E4	Raumnutzung									
E4.1	Flächenbedarf	x	x				x	x	x	
E4.2	Überflutungsflächen		x				x	x	x	
E4.3	Landschaftsbild	x	x				x			
E4.4	Gewässerschutz/Bewuchspflege				x		x			x
E4.5	Ökologische Ausgleichsflächen				x		x	x	x	
E4.6	Verkehr/Infrastruktur			x	x		x			
E4.7	Freizeitnutzung				x	x	x			
E5	Treib- und Betriebsstoffe									
E5.1	Treib- und Hilfsstoffe	x	x			x				x
E5.2	Betriebsstoffe	x	x							x

Tabelle 3.2: Zusammenstellung der externen Effekte der Laufwasserkraftnutzung (allgemeine Bewertungsmatrix); Reihung ohne Gewichtung (Fortsetzung)

		Wirkungszeit				Wirkungsbereich				
		Kosten		Nutzen		Mensch		Flora	Fauna	Umwelt allgemein
		Bau	Betrieb	Bau	Betrieb	Gesundheit	Wohlbefinden			
E6	Reststoffe									
E6.1	Rechen- und Schwemmgut		x		x		x	x		
E6.2	Zivilisationsmüll				x		x	x		
E6.3	Ausgehobener Boden			x			x			
E7	Transport									
E7.1	Fuhrpark/ Materialversorgung	x	x							x
E7.2	Energieableitung		x			x	x			
E8	Personal									
E8.1	Personalstand			x	x		x			
E9	Schifffahrt									
E9.1	Schiffbarkeit	x					x			
E9.2	Schiffbarmachung				x		x			
E10	Emissionen									
E10.1	Abwärme	x	x				x	x	x	
E10.2	Lärm	x	x				x		x	
E10.3	Erschütterungen	x	x				x		x	
E10.4	Luftschadstoffe	x			x	x				x
E11	Energie- und Rohstoffverbrauch									
E11.1	Baumaterialien			x	x		x			
E11.2	Energieeinsatz	x	x							x
E12	Öffentlichkeit									
E12.1	Fachbesucher			x	x		x			
E12.2	Tourismus/ Naherholung			x	x		x			
E12.3	Allg. öffentliche Darstellung			x	x		x			
E13	Investitionen									
E13.1	Erhöhung der Kaufkraft			x	x		x			
E13.2	Zusätzlicher Verdienst			x	x		x			

Bei der Matrix fanden alle in dieser Studie identifizierten Möglichkeiten an Auswirkungen einer Laufwasserkraftanlage auf ihre Umgebung Berücksichtigung. An einigen Stellen kann von einem Wirkungsbereich auf einen anderen geschlossen werden. So sind die Lebewesen in einem Ökosystem, hier Flora und Fauna, durch verschiedene Wechselwirkungen miteinander verknüpft [Kummert & Stumm 1989]. Daher verursachen die meisten Effekte, die primär Flora oder Fauna zu betreffen scheinen, ebenfalls eine Auswirkung auf den jeweils anderen Bereich. Das menschliche Wohlbefinden ist von jeder Veränderung der Natur je nach subjektiver Meinung eines Individuums mehr oder weniger berührt. Das „Wissen“ um die Intaktheit der Natur, also Flora und Fauna oder großräumigere Umweltauswirkungen, wurde allerdings nicht berücksichtigt, da sonst eine doppelte Bewertung erfolgen würde.

In Abschnitt 3.4 werden die einzelnen Effekte, unterteilt nach Kosten und Nutzen, näher erläutert. Dabei wird detailliert auf die Unterschiede in der Wirkungszeit zwischen Bau- und Betriebsphase eingegangen. Zusätzlich sind die wichtigsten Auswirkungen auf den Menschen (Gesundheit und Wohlbefinden), Flora, Fauna und die Umwelt allgemein dargestellt. Hierbei wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass die hier vorliegende Studie aufgrund der Menge an potentiellen Auswirkungen keine vollständige Auflistung aller einzelnen Auswirkungen darstellen kann. Wasserkraftanlagen sind, wie bereits erläutert, individuell stark vom Standort abhängig. Alle spezifischen Auswirkungen sollten sich allerdings einem der erwähnten Effekte zuordnen lassen. Bei weiterem Interesse können zusätzliche anlagenspezifische Aspekte, die seltener und daher von geringerer Bedeutung sind, weiterführender Literatur, wie z. B. [Giesecke & Mosonyi 2005], [IRKA 2004], [Hütte 2000], [Hauenstein et al. 1999], [Zumbroich et al. 1999], [Patt et al. 1998], [Forstenlechner et al. 1997], [Lange & Lecher 1993], [Pelikan 1993], [Giesecke 1991] u. a., entnommen werden, in denen detailliert die verschiedenartige Problematik zusätzlich zu eventuellen Lösungsansätzen, die für diese Studie nicht relevant sind, geschildert werden.

Einige der Effekte können bei der Betrachtung einer bestimmten Anlage schnell ausgeschlossen werden, da sie nur unter bestimmten örtlichen Gegebenheiten auftreten bzw. von der Bauweise abhängig sind. So hat beispielsweise die Schifffahrt an kleineren Gewässern keine Bedeutung und muss in der Bewertung nicht weiter berücksichtigt werden. Die Problematik der Geschiebeweitergabe ist bei beweglichem Wehr geringer im Gegensatz zu einem Wehr mit festem Staukörper und kann je nach Sperrwerk von Beginn an als mehr oder weniger problematisch erfasst werden. Eine Mindestwasserregelung muss nur bei Ausleitungskraftwerken getroffen werden, wohingegen die Durchgängigkeit an jedem Sperrbauwerk, sei es an einem Flusskraftwerk oder einer Ausleitungsstrecke, immer bedacht werden muss.

3.4 Erläuterungen zur allgemeinen Bewertungsmatrix

Im Folgenden werden die externen Effekte von Laufwasserkraftanlagen in den 13 genannten Bereichen detailliert erläutert. Dabei sind zunächst diese Oberbegriffe mit ihren zugehörigen Unterpunkten kurz beschrieben, bevor jeder einzelne Effekt tabellarisch unterteilt sowohl nach Kosten und Nutzen als auch nach Wirkungszeit und Wirkungsbereich dargestellt wird. Die Nummerierung der Effekte (E) erfolgte nach Tabelle 3.2 und stellt keine Reihung dar.

Diese Zusammenstellung dient zum einen dem besseren Verständnis der allgemeinen Bewertungsmatrix, da einige der Erläuterungen nicht trivial und nicht sofort erkennbar sind.

Andererseits ist die systematische Darstellung insoweit unverzichtbar, da sie die Grundlage der Datenaufnahme (s. Abschnitt 6.3) bildet. Es erfolgt nicht nur eine Beschreibung aller Effekte, sondern auch die Festlegung der Abgrenzungen zwischen den Effekten, d. h. es wird detailliert darauf eingegangen, welche Auswirkung dem jeweiligen Effekt zugeordnet werden soll. Auto-

matisch sind einige Auswirkungen bei zwei oder mehreren Effekten ähnlich oder sogar gleich. Um Doppelzählungen zu vermeiden, sollte bei der Datenaufnahme und der folgenden Bewertung dieser Abschnitt unbedingt beachtet werden.

Einige Effekte sind möglicherweise ganz oder teilweise in einem anderen Wirtschaftsbereich internalisiert. Diese dürfen somit nicht oder nur anteilig in die hier durchgeführte Bewertung einfließen.

E1 Wassermanagement

Dieser Bereich betrifft Auswirkungen auf die *Hochwasser*charakteristik, die sowohl positiv als auch negativ sein können, da z. B. Hochwasserspitzen verringert, aber auch erhöht werden können, was primär speicherabhängig ist. Der *Grundwasserspiegel* kann durch einen Aufstau oder eine Absenkung des Flusswasserspiegels beeinflusst sein. Aufgrund eines Eingriffs in die physikalischen und chemischen Prozesse wird die *Gewässergüte* des natürlichen Flusses verändert. Ein bisweilen heftig diskutierter Punkt zwischen Behörden, Naturschutzverbänden und Betreibern ist die *Mindestwasser*regelung.

Tabelle 3.3: Erläuterung zu **E1.1 Hochwasser**

	KOSTEN	NUTZEN
WIRKUNGSZEIT		
Bau	<p>Während der Bauarbeiten der Wasserkraftanlage kann es wegen der Baugrube zu Verringerungen der Flussbreite kommen. Tritt während dieser Zeit ein Hochwasser auf, wird das Umland u. U. stärker überflutet.</p> <p>Die durch eine Flutung der Baugrube verursachten Kosten sind jedoch internalisiert, da der Kraftwerksbetreiber bzw. die Baufirma selbst für den Schaden aufkommen muss.</p>	
Betrieb	<p>Der Flusslauf und das Fließkontinuum werden verändert, wodurch sich möglicherweise die Überschwemmungsgefahr erhöht.</p> <p>Der Verlust an Überflutungsflächen durch die von dem Wasserkraftprojekt beanspruchte Fläche wird unter E4.2 „Überflutungsflächen“ berücksichtigt.</p>	<p>Mittels des Kraftwerksspeichers oder durch im Zuge des Kraftwerksbaus zusätzlich geschaffene Hochwasserrückhalteräume können Hochwasserspitzen verringert, der Hochwasserabfluss gedämpft und so eine Hochwasserentlastung für das betroffene Gebiet erreicht werden.</p>
WIRKUNGSBEREICH		
Gesundheit	<p>Durch ein Hochwasser sind Menschen einer erhöhten Lebens- und Verletzungsgefahr ausgesetzt. Zudem kann es hauptsächlich nach dem Rückgang des Hochwassers vermehrt zum Auftreten von Krankheitserregern kommen.</p>	<p>Die Verbesserung der Hochwassersituation bewirkt eine geringere Lebens-, Verletzungs- oder Erkrankungsgefahr im Hochwasserfall.</p>
Wohlbefinden	<p>Zum einen spielt die Angst vor der Hochwassergefahr eine große Rolle, d. h. wie sicher sich die Menschen als Anwohner fühlen.</p> <p>Andererseits kommt dem wirtschaftlichen Aspekt eine große Bedeutung zu. Durch ein Hochwasser kommt es zu Wasserschäden am Grundbesitz, vor allem an Gebäuden, wodurch sich z. B. die Wohnqualität erheblich vermindert, bzw. es müssen Kosten in Kauf genommen werden, um entweder Maßnahmen präventiv eines hinreichenden Hochwasserschutzes zu treffen oder die entstandenen Schäden zu beseitigen.</p>	<p>Die in Flussnähe bzw. in überschwemmungsgefährdeten Gebieten wohnenden Menschen haben ein größeres Sicherheitsgefühl.</p> <p>Zusätzlicher Hochwasserschutz bringt wirtschaftlich positive Auswirkungen mit sich, da Wasserschäden vermieden werden können.</p>
Flora und Fauna	<p>Bei Hochwasser kann durch Überflutung normalerweise trockener Flächen Lebensraum zerstört werden. Zudem ist die Fließgeschwindigkeit verglichen mit normalen Bedingungen stark erhöht. Dadurch werden einige Pflanzen- und Tierarten, die am bzw. im Fluss wachsen und leben, in Mitleidenenschaft gezogen.</p>	<p>Durch die Verringerung einer Hochwasserschwelle verringert sich die Gefahr der Schädigung bzw. Vernichtung der Lebensräume von Pflanzen und Tieren durch Überflutung. Die Standortbedingungen bzw. Lebensverhältnisse und damit die Artenvielfalt können sich durch einen Hochwasserschutz verbessern.</p>

Tabelle 3.4: Erläuterung zu **E1.2 Grundwasser**

	KOSTEN	NUTZEN
WIRKUNGSZEIT		
Bau	Durch temporären Aufstau während des Baus, evtl. in dieser Zeit mit einem höheren Wasserspiegel als später im Betrieb, ist bei entsprechenden Untergrundverhältnissen ein Anstieg des Grundwasserspiegels möglich.	
Betrieb	Der durch konstanten Aufstau erhöhte Oberwasserspiegel bewirkt einen Anstieg des Grundwasserspiegels. Besonders problematisch ist die Veränderung des Grundwasserspiegels in der Nähe einer Trinkwasserentnahme.	
WIRKUNGSBEREICH		
Gesundheit	Durch eine Grundwassererhöhung (in eine möglicherweise anders geartete Bodenschicht) kommt es zu einer Veränderung der Trinkwasserqualität, was schlechtestenfalls gesundheitliche Auswirkungen haben kann. Dieser Punkt wird allerdings in der Regel nur minimalen Einfluss haben, da die Voraussetzungen zur Genehmigung eines Baus in einem Trinkwasserentnahmegebiet eine Verschlechterung dessen meist bereits von Anfang an verhindern. Sollte nach Bau der Anlage Trinkwasser im Einflussbereich entnommen werden, kann dies der Anlage nicht zugerechnet werden.	
Wohlbefinden	Die Anwohner können durch Wasserschäden an Gebäuden aufgrund eines erhöhten Grundwasserspiegels wirtschaftliche Nachteile erleiden, da nun Gebäudeteile im Grundwasser stehen könnten, die nicht darauf ausgelegt sind, bzw. durch Eindringen von Wasser ins Gebäude.	
Flora	Durch einen erhöhten Grundwasserspiegel geht für einige Pflanzenarten, die nicht dauerhaft im Grundwasser wurzeln, Lebensraum verloren. Bei einer lang anhaltenden Absenkung des Grundwasserspiegels kann es zur Austrocknung von Auellandschaften kommen.	

Tabelle 3.5: Erläuterung zu **E1.3 Gewässergüte**

	KOSTEN	NUTZEN
WIRKUNGSZEIT		
Betrieb	<p>Durch den Aufstau und das Turbinieren des Wassers wird in den natürlichen Wasserhaushalt eingegriffen. Im Stauroaum werden die täglichen Abfluss- und Wassertemperaturschwankungen gedämpft. Sowohl die Wassertiefe als auch die Wasseroberfläche und die Wasseraufenthaltszeit vergrößern sich, wodurch auch der Sauerstoffgehalt durch z. B. reduzierte Geschwindigkeit und Temperaturänderung negativ beeinflusst wird.</p> <p>Außerdem ändert sich das fließgewässertypische Strömungsmuster. Der Selbstreinigungsprozess hauptsächlich im Stauroaum wird gestört.</p>	
WIRKUNGSBEREICH		
Gesundheit	Aufgrund einer Verschlechterung der Wasserqualität kann es zu gesundheitlichen Schäden kommen, z. B. beim Baden, da u. a. vermehrte Algenbildung Hautausschläge verursachen können.	
Wohlbefinden	Menschen bevorzugen es, in der Nähe eines Gewässers zu leben, das augenscheinlich und wissentlich eine hinreichende Wasserqualität besitzt.	
Flora	In einem durch Aufstau tieferen Gewässer reduziert sich die Belichtung; daher findet man ab einer gewissen Tiefe ein geringeres Pflanzenwachstum.	
Fauna	Jede Fischart benötigt in bestimmten Entwicklungsphasen spezielle Temperaturverhältnisse (z. B. zum Laichen). Populationen können durch Änderung der natürlichen Temperaturschwankungen in ihrer Wachstumsphase beeinträchtigt werden. Bei zu niedrigem Sauerstoffgehalt und dessen Folgen auf die Wasserchemie können Fische nicht überleben.	

Tabelle 3.6: Erläuterung zu **E1.4 Mindestwasser**

	KOSTEN	NUTZEN
WIRKUNGSZEIT		
Betrieb	<p>Bei Ausleitungskraftwerken müssen Betreiber und Behörden für das alte Flussbett eine Regelung über die saisonabhängig abzugebende Mindestwassermenge treffen. Die Mindestwassermenge ist aber zwangsläufig geringer als der vor Bau der Kraftanlage vorhandene Durchfluss. Durch die Wasserentnahme werden hydraulische Parameter der beeinflussten Gewässerstrecke (altes Flussbett), wie benetzter Querschnitt, Wasserspiegelbreite, mittlere und maximale Fließgeschwindigkeit, Wassertiefe, Schlepp- bzw. Schubspannung und Grenzschichtdicke, verändert.</p> <p>Die Beeinträchtigung des landschaftsästhetischen Werts durch trockene Mindestwasserstrecken wird unter E4.3 „Landschaftsbild“ berücksichtigt.</p>	<p>Durch den Betrieb der Wasserkraftanlage und einen im Zuge dessen errichteten Speicher kann in einem Flussabschnitt die natürliche Mindestwassermenge zeitweise erhöht werden (Niedrigwasseraufhöhung). Der Fluss führt dadurch auch in den trockensten Monaten eine Mindestmenge an Wasser.</p>
WIRKUNGSBEREICH		
Flora	<p>Es sind wegen der geringeren Strömungsgeschwindigkeit und des kleineren durchflossenen Querschnitts andere Bedingungen vorhanden, da z. B. Ufer im Trockenem liegen können oder in der Flussmitte durch zu niedrige Wassertiefe die notwendige Überströmung fehlt.</p>	<p>Arten, die eine konstante Wasserführung benötigen, haben nun die Möglichkeit zu überleben und sich dort anzusiedeln. Da sich die mögliche Aufenthaltsdauer (über das ganze Jahr, nicht nur einige Monate) verlängert, ergibt sich eine größere Vielfalt.</p>
Fauna	<p>Aufgrund der verringerten Wassermenge sind die Lebensbedingungen für gewisse Tierarten nicht mehr gegeben. Durch die Festlegung der Mindestwassermenge ist nunmehr wenig oder keine zeitliche Variation des Abflusses gegeben. Manche Organismen benötigen hingegen einen zeitlich und räumlich heterogenen Lebensraum.</p>	

E2 Gewässerstruktur

Beeinträchtigungen der *Morphologie* und eine Veränderung des *Geschiebe- und Schwebstoffhaushalts* lassen sich meist nicht vermeiden. Beispielsweise lagert sich Sedimentmasse durch eine geringere Strömungsgeschwindigkeit oberhalb der Anlage im Staubereich ab, muss ausgebaggert und evtl. zum Ausgleich des Geschiebehaushalts an anderer Stelle unterhalb wieder in den Fluss eingebracht werden. Bei einem Kraftwerk, das in Schwellbetrieb gefahren wird, haben plötzliche *Wasserspiegelschwankungen* erhebliche Nachteile für Flora und Fauna.

Tabelle 3.7: Erläuterung zu **E2.1 Morphologie**

	KOSTEN	NUTZEN
WIRKUNGSZEIT		
Betrieb	<p>Die Morphologie wird u. a. durch das Klima in Form eines dynamischen Abflusses beeinflusst. Durch den Wasserkraftbetrieb kann in einem Flussbereich das natürliche Abflussregime gestört sein, was mehrere Auswirkungen mit sich bringt. Diese werden für das nähere Umfeld der Wasserkraftanlage unter anderen Unterpunkten getrennt betrachtet.</p> <p>Im Gegensatz dazu geht es hier um die Morphologie und ihre Auswirkung auf die Natur des gesamten Flusslaufs. Durch Sperrbauwerke kommt es zu einem gestörten Geschiebehaushalt, was massiv den Flussverlauf unterhalb der Sperre verändern kann. Am Rheinkraftwerk Iffezheim beispielsweise müssen oberhalb der Anlage laufend Sedimente ausgebaggert und unterhalb entsprechende Kornfraktionen zur Unterbindung von Sohlenerosion wieder zugeführt werden.</p>	
WIRKUNGSBEREICH		
Wohlbefinden	<p>Dies verursacht insbesondere wirtschaftlichen Schaden, da Kosten in Kauf genommen werden, um die Sedimente künstlich weiterzutransportieren.</p> <p>Wird der Weitertransport vom Kraftwerksbetreiber, also dem Verursacher, übernommen, ist dieser Effekt dort internalisiert.</p>	
Umwelt	<p>Die beeinflusste Morphologie in einem Gewässerabschnitt hat Auswirkungen auf den kompletten Flusslauf unterhalb des direkt betroffenen Abschnitts. Daher stellt sich auch in anderen Teilen des Flusses eine andere ökologische Situation betreffend der vorherrschenden Pflanzen- und Tierwelt ein. Die Umwelt wird z. B. durch eine veränderte natürliche Sedimentablagerung bzw. den unterbrochenen Sedimenttransport des „natürlichen“ Flusses gestört.</p> <p>Auswirkungen auf Flora und Fauna direkt im betroffenen Bereich werden unter E3.1 „beeinflusste Gewässerstrecke“ berücksichtigt.</p>	

Tabelle 3.8: Erläuterung zu **E2.2 Wasserspiegelschwankung**

	KOSTEN	NUTZEN
WIRKUNGSZEIT		
Betrieb	Wasserspiegelschwankungen sind, verursacht durch natürliche jahreszeitliche Abflussschwankungen, in jedem natürlichen Gewässern vorhanden. Diese können von einer Wasserkraftanlage und anderen flussbaulichen Maßnahmen zusätzlich beeinflusst werden. Die Wasserkraftanlage kann infolge von Schwellbetrieb Abfluss- und Wasserspiegelschwankungen hervorrufen. Bei Spülungen von Stauräumen, um Sedimentablagerungen zu entfernen, kommt es meist zu einem plötzlichen Wasserspiegelanstieg und einer damit verbundenen Erhöhung der Fließgeschwindigkeit.	
WIRKUNGSBEREICH		
Flora	Die Ufer sind weder dauerhaft überflutet noch trocken, daher findet die vorhandene Ufervegetation keine konstanten Bedingungen vor. Es muss sich eine andere Population ausbilden, die den neuen Verhältnissen angepasst ist. Bei plötzlichem Wasserspiegel- und Fließgeschwindigkeitsanstieg können Pflanzen mitgerissen werden.	
Fauna	Schnelle Fließgeschwindigkeitsänderungen und eine schwankende Wassertiefe sind für manche Tierarten problematisch. Bei einer plötzlichen, starken Wasserspiegelabsenkung bleiben z. B. einige Lebewesen auf dem Trockenen in ihren Unterschlüpfen und können dort nicht überleben. An plötzliche Wasserspiegel- und Fließgeschwindigkeitsanstiege können sich die Flussbewohner meist nicht rasch genug anpassen. Das für das Laichen wichtige Ufer ist nicht mehr konstant mit Wasser bedeckt. Dies hat zur Folge, dass sich das Fischarten- und -alterspektrum verändert.	

Tabelle 3.9: Erläuterung zu **E2.3 Geschiebe- und Schwebstoffhaushalt**

	KOSTEN	NUTZEN
WIRKUNGSZEIT		
Betrieb	<p>Wegen der niedrigeren Fließgeschwindigkeit im Stauraum der Wasserkraftanlage wird die Geschiebetransportkapazität reduziert; Geschiebe und Schwebstoffe setzen sich in der Stauhaltung ab. Diese müssen ggf. ausgebagert und unterhalb der Kraftanlage wieder zugegeben werden, da sie dort ansonsten fehlen und die Sohle im Unterwasser meist erodiert. Durch Wehre wird der Wasserfluss und Feststofftransport unterbrochen oder gestört. Es kann aufgrund der niedrigeren Strömungsgeschwindigkeit im Oberwasser zu einer geringeren Umlagerung von Sedimenten an der Sohle des Gewässers und dadurch bedingt zu einem vermehrten Zusetzen des ursprünglichen Lückensystems kommen.</p> <p>Auch bei der Geschiebeweitergabe kommt es zeitweise zu Veränderungen des Sedimenthaushalts sowie eventuell zu ungünstigen Schlamm- und Feinsedimentablagerungen nach heftigen Spülungen. Der Geschiebe- und Schwebstoffanteil verändert sich; somit kann es vor dem Wehr durch Ablagerung der kleineren Schwebstoffe zu stärkeren Trübungen kommen, während sich flussaufwärts gröberes Material ansammelt, das den dortigen Untergrund verändert.</p> <p>Hierbei sind nur die lokalen Auswirkungen zu berücksichtigen. Die den gesamten Flusslauf betreffende Geschiebeproblematik wird unter E2.1 „Morphologie“ betrachtet.</p>	
WIRKUNGSBEREICH		
Flora	Durch eine geringere Wassertiefe gelangt mehr Licht zur Gewässersohle, was die Algendichte erhöhen kann. Durch die geringere Wasserspiegelbreite in der Mindestwasserstrecke geht ein Teil des Lebensraums verloren.	
Fauna	Die Lebensbedingungen und -räume werden durch die geringere Fließgeschwindigkeit und die vermehrten Sedimentablagerungen verändert. Oberhalb eines Kraftwerks abgelagertes Geschiebe führt zum Verlust von Fischunterständen. Zusätzlich ist der Nährstoffhaushalt durch fehlendes biogenes Material beeinflusst.	

E3 Lebensraum/Umfeld

Die durch Wasserkraftnutzung *beeinflusste Gewässerstrecke* stellt für alle am und im Fluss heimischen Lebewesen eine Veränderung ihres Lebensraums dar. Der *Fischbestand* kann durch geeignete Maßnahmen, wie regelmäßige Kontrollen und Fischbesatz, gegenüber dem Ausgangszustand erhöht werden. Tiere werden in ihrem Wanderverhalten durch eine fehlende oder erschwerte *Durchgängigkeit* behindert. Mit zusätzlichen Anpflanzungen oder pflegenden Maßnahmen des *Gewässerrandstreifens* durch den Kraftwerksbetreiber besteht die Möglichkeit einer Vergrößerung der Artenvielfalt.

Tabelle 3.10: Erläuterung zu **E3.1 Beeinflusste Gewässerstrecke**

Dieser Effekt betrachtet nur lokal die beeinflusste Gewässerstrecke. Großräumigere Auswirkungen, die den restlichen Flusslauf betreffen, werden unter E2.1 „Morphologie“ berücksichtigt.

	KOSTEN	NUTZEN
WIRKUNGSZEIT		
Bau	Für im Flussbett notwendige Bauarbeiten muss der Fluss u. U. umgeleitet oder zumindest an der Baugrube vorbeigeleitet werden. Dadurch entstehen Veränderungen z. B. der Fließgeschwindigkeit und der Wassertiefe.	
Betrieb	Durch den Aufstau vor einem Flusskraftwerk reduziert sich in diesem Bereich die Fließgeschwindigkeit, wohingegen sich die Wassertiefe vergrößert. Die Dynamik des Abflusses wird insbesondere bei Flusskraftwerken mit Stauhaltung gestört. Auswirkungen auf die Entnahmestrecke wird unter E1.4 „Mindestwasser“ berücksichtigt.	
WIRKUNGSBEREICH		
Flora	Der Fließquerschnitt ist in verschiedene Wachstumszonen unterteilt. In der Mitte (je nach Abfluss und Wassertiefe) wachsen die strömungsliebenden Arten. Zum Ufer hin, wo die Strömungsgeschwindigkeit geringer ist, ändert sich das Pflanzenspektrum. Für einige Arten ist u. U. nicht mehr ausreichend Strömung vorhanden.	
Fauna	Die Veränderung der Lebensverhältnisse wirkt sich sowohl auf die Fische, die einen kleineren Querschnitt und eine geringere Fließgeschwindigkeit im Mutterbett vorfinden, als auch auf das Zoobenthos aus, das auf das vorhandene sohlnahe Strömungsmuster angewiesen ist.	

Tabelle 3.11: Erläuterung zu **E3.2 Fischbestand**

	KOSTEN	NUTZEN
WIRKUNGSZEIT		
Betrieb		Als Ersatz für eventuell durch die veränderten Bedingungen abwandernde Fische muss der Betreiber u. U. Fischbesatzmaßnahmen durchführen, um die Erhaltung des Fischbestandes zu gewährleisten. Die Anzahl und Vielfalt der Fischarten kann, soweit erwünscht, erweitert werden.
WIRKUNGSBEREICH		
Wohlbefinden		Es entstehen neue Erwerbsmöglichkeiten, z. B. im Bereich der Fischzucht.
Fauna		Eventuell kann es zu einer Erweiterung der Artenvielfalt oder gar zu der Wiederansiedlung von in diesem Flussabschnitt ausgestorbenen Arten kommen.

Tabelle 3.12: Erläuterung zu **E3.3 Durchgängigkeit**

	KOSTEN	NUTZEN
WIRKUNGSZEIT		
Bau	Temporär errichtete für den Bau notwendige Querbauwerke beeinträchtigen oder verhindern u. U. die Durchgängigkeit. Teilweise wird beim Bau einer Wasserkraftanlage das Wasser vollständig dem Flussbett entnommen und z. B. durch einen Kanal geleitet.	
Betrieb	Um einen Aufstau zu gewährleisten, müssen Querbauwerke errichtet werden, welche die Durchgängigkeit auf jeden Fall erschweren oder evtl. sogar verhindern.	
WIRKUNGSBEREICH		
Fauna	Fischaufstiegsanlagen ermöglichen eine flussaufwärts gerichtete Wanderung sowohl von Fischen als auch der wirbellosen Kleintiere und sind bereits gut erprobt (z. B. größter Fischpass an der Wasserkraftanlage in Ifezheim/Rhein), trotzdem ergeben sich veränderte Bedingungen. Problematisch ist derzeit aufgrund unzureichendem Stand des Wissens der Fischabstieg. Wenn die Durchgängigkeit nicht gegeben ist, besteht keine, bei einer Fischaufstiegsanlage eine zumindest veränderte aufwärtsgerichtete Wandermöglichkeit. Durch das Fehlen einer Fischaufstiegsanlage erreichen Fische die notwendigen Laichplätze nicht.	

Tabelle 3.13: Erläuterung zu **E3.4 Gewässerrandstreifen**

	KOSTEN	NUTZEN
WIRKUNGSZEIT		
Betrieb		Der Kraftwerksbetreiber kann die Auflage erhalten, gewisse Bereiche z. B. am Ufer bzw. in Nähe des Krafthauses zu bepflanzen. Außerdem besteht meist die Verpflichtung, an einem festgelegten Gewässerabschnitt die Pflege der Uferböschung zu übernehmen.
WIRKUNGSBEREICH		
Flora		Durch Bepflanzungen kann sich die Artenvielfalt erweitern, z. B. durch Anpflanzen zusätzlicher Pflanzenarten oder Aufforstung. Durch die Uferpflege und das Zurückschneiden der Gewächse können die Pflanzen besser gedeihen.
Fauna		Für im bzw. am Fluss lebende Tiere können neue Pflanzen die Lebensraumvielfalt durch zusätzliche Nahrung und Unterstände erweitern. Zusätzliche Bepflanzungen können z. B. als Schattenspender dienen, die das Gewässer auch an heißen Tagen vor zu großer Aufwärmung schützen, wovon die Gewässerfauna profitiert. Uferzonen sind für einige Tierarten wichtige Lebens- und Nisträume, die von der Pflege profitieren.

E4 Raumnutzung

Die von der Wasserkraftanlage in Anspruch genommene *Fläche* erlaubt keine anderweitige Nutzung von Grund und Boden. Das *Landschaftsbild* wird verändert, und *Überflutungsflächen* können verkleinert werden. Der Betreiber ist verantwortlich für die *Bewuchspflege* und den *Gewässerschutz* und kann u. U. die Auflage bekommen, *ökologische Ausgleichsflächen* zu schaffen. Die Erreichbarkeit der Wasserkraftanlage kann den Neubau einer Straße erfordern, was die *Verkehrssituation* und die *Infrastruktur* der Umgebung möglicherweise verbessert. Im Zusammenhang mit dem Bau der Wasserkraftanlage können neue *Freizeitmöglichkeiten* geschaffen werden.

Tabelle 3.14: Erläuterung zu **E4.1 Flächenbedarf**

	KOSTEN	NUTZEN
WIRKUNGSZEIT		
Bau	Während des Baus werden neben dem Platz für die Baugrube Stellflächen für die Baustelleneinrichtung, wie Baufahrzeuge, Krane und Lagerflächen für Aushub und Baumaterialien, benötigt.	
Betrieb	Bis auf wenige Ausnahmen nehmen Kraftwerke Flächen in Anspruch (außer bei der überströmbaren Variante, wie z. B. in Heidelberg/Neckar), die ansonsten als Grünflächen oder anderweitig genutzt werden könnten. Durch den Flächenbedarf reduzierte Überflutungsflächen und die dadurch entstehende Hochwassergefahr wird unter E4.2 „Überflutungsflächen“ behandelt.	
WIRKUNGSBEREICH		
Wohlbefinden	Für Erholungssuchende oder Spaziergänger wäre aus ästhetischen Gründen eine Grünfläche dem Kraftwerk vorzuziehen.	
Flora und Fauna	Ein kleiner Bereich des Lebensraums wird zerstört.	

Tabelle 3.15: Erläuterung zu **E4.2 Überflutungsflächen**

	KOSTEN	NUTZEN
WIRKUNGSZEIT		
Betrieb	<p>Es kann aus verschiedenen Gründen zum Verlust von Überschwemmungsflächen kommen. So kann z. B. eine Kanalisierung des Flusses im Bereich der Wasserkraftanlage eventuell Überflutungen und damit Zerstörungen angrenzender Auegebiete verhindern. Eine Anlage hat einen besonders hohen Flächenbedarf, wenn der Staubeich als Speicherbecken ausgebaut ist.</p> <p>Uferbereiche werden durch einen häufig nahezu konstanten Oberwasserspiegel und evtl. einer Erhöhung der Uferzonen durch Deiche seltener überflutet.</p> <p>Der Verlust an Überflutungsflächen kann aber auch eine erhöhte Überschwemmungsgefahr an anderer Stelle des Gewässers bedeuten.</p>	
WIRKUNGSBEREICH		
Wohlbefinden	<p>Durch eine geringere Fläche, die für die Überflutung vorgesehen ist, entsteht eine größere Besorgnis vor Hochwassergefahr.</p> <p>Wenn es zum Verlust von Auelandschaften kommt, verliert die Umgebung an Wert („Naturwert“).</p>	
Flora und Fauna	Der „Lebensraum Aue“ geht verloren; einige Arten finden keinen Lebensraum mehr.	

Tabelle 3.16: Erläuterung zu **E4.3 Landschaftsbild**

	KOSTEN	NUTZEN
WIRKUNGSZEIT		
Bau	Die Bauarbeiten bedeuten einen Eingriff in die Natur, z. B. durch die Baugrube, die Anhäufung von Aushub und abgestellte Baumaschinen.	
Betrieb	Das Landschaftsbild ist dauerhaft verändert durch das Gebäude, die flussbaulichen Maßnahmen und die Energieableitung. Bei Ausleitungskraftwerken ist dies besonders in der Entnahmestrecke ein gravierendes Problem.	
WIRKUNGSBEREICH		
Wohlbefinden	Das technische Bauwerk beeinträchtigt das Landschaftsbild, wodurch sich Menschen zusätzlich in ihrer Wohnqualität beeinträchtigt fühlen können. Hier ist allerdings davon auszugehen, dass mit zunehmender Betriebsdauer immer weniger Anlieger die Umgebung vor dem Bau des Kraftwerkes kennen und dieser Aspekt an Bedeutung verliert. Die Wasserentnahme vermindert den landschaftsästhetischen Wert des Fließgewässers.	

Tabelle 3.17: Erläuterung zu **E4.4 Gewässerschutz/Bewuchspflege**

	KOSTEN	NUTZEN
WIRKUNGSZEIT		
Betrieb		<p>Die Pflege der Uferböschung sowie eventuelle zusätzliche Anpflanzungen und die damit verbundenen Kosten müssen vom Betreiber übernommen werden, ebenso der Schutz vor Einleitungen, z. B. von Betriebsstoffen. Infolge der Pflege der Uferböschungen kann eine sichere volle Hochwasserabfuhr gewährleistet werden.</p> <p>Die Auswirkungen der Bewuchspflege auf Flora und Fauna sind in E3.4 „Gewässerrandstreifen“ beinhaltet, da dort explizit der Lebensraum von Flora und Fauna betrachtet wird.</p>
WIRKUNGSBEREICH		
Wohlbefinden		<p>Es entsteht ein abwechslungsreicheres Landschaftsbild.</p> <p>Durch eine bessere Hochwasserabfuhr ist die Umgebung geschützter.</p> <p>Durch Einsparung der Kosten zur Pflege des Gewässerabschnitts fallen diese nicht der Allgemeinheit zur Last.</p>
Umwelt		Das Gewässer wird kontrolliert auf eventuelle Einleitungen und somit sauberer, was positive Auswirkungen auf den kompletten Flusslauf unterhalb der Anlage hat.

Tabelle 3.18: Erläuterung zu **E4.5 Ökologische Ausgleichsflächen**

	KOSTEN	NUTZEN
WIRKUNGSZEIT		
Betrieb		Unter ökologischen Ausgleichsflächen versteht man durch den Kraftwerksbetreiber evtl. zusätzlich geschaffene naturnahe Flächen, z. B. Hochwasserschutzräume und Feuchtbiotope. Dies ist eine Entschädigung durch den Betreiber für die Inanspruchnahme der für die Wasserkraftnutzung benötigten Fläche.
WIRKUNGSBEREICH		
Wohlbefinden		Es werden zusätzliche „naturnahe“ Landschaftsflächen geschaffen.
Flora und Fauna		Lebensräume werden aufgewertet, was evtl. eine Vergrößerung des Artenspektrums bewirken kann.

Tabelle 3.19: Erläuterung zu **E4.6 Verkehr/Infrastruktur**

	KOSTEN	NUTZEN
WIRKUNGSZEIT		
Bau		Während des Baus werden evtl. temporär Straßen oder Brücken errichtet.
Betrieb		Die Infrastruktur kann von einem Kraftwerk profitieren, hauptsächlich durch den Bau zusätzlicher Straßen, aber durch Verbesserung des Stromnetzes, von Abwasserreinigungsanlagen und der Trinkwasserversorgung.
WIRKUNGSBEREICH		
Wohlbefinden		Die bessere Vernetzung der Straßen, eventuell durch Brücken über das entsprechende Gewässer, bedeutet für die Anwohner einen höheren Komfort. Es kann ein wirtschaftlicher Vorteil dadurch entstehen, dass aufgrund einer neuen Verbindung ein kürzerer Weg entstanden ist, der dann z. B. Zeit und Benzinkosten spart.

Tabelle 3.20: Erläuterung zu **E4.7 Freizeitnutzung**

	KOSTEN	NUTZEN
WIRKUNGSZEIT		
Betrieb		Es entstehen neue Möglichkeiten der Freizeitgestaltung, z. B. durch eine Erholungsfläche an einem Stausee oder interessante Ausflugsziele durch Anlagen, die der Öffentlichkeit zugänglich sind.
WIRKUNGSBEREICH		
Gesundheit		Die neuen Freizeitmöglichkeiten können die Motivation zur sportlichen Betätigung erhöhen (z. B. Joggen um einen Stausee oder Kanu fahren, ermöglicht durch den Bau einer Kanurutsche oder Schleuse).
Wohlbefinden		Es bestehen zusätzliche Möglichkeiten, die Freizeit in der Natur zu verbringen, z. B. Spazieren gehen oder Angeln.

E5 Treib- und Betriebsstoffe

Durch den zusätzlichen Verbrauch von umweltschädlichen *Treib- und Hilfsstoffen* sowie *Betriebsstoffen* kommt es zu negativen Auswirkungen auf die Umwelt und Gesundheit.

Tabelle 3.21: Erläuterung zu **E5.1 Treib- und Hilfsstoffe**

	KOSTEN	NUTZEN
WIRKUNGSZEIT		
Bau	Für den Bau notwendige Baumaschinen verbrauchen Treibstoffe. Für den Transport von Gütern und der Arbeiter werden etliche Fahrzeuge benötigt, was eine zusätzliche Abgasemission mit sich bringt. Wird der Transport von Baumaterialien von der Baufirma übernommen, können die Auswirkungen möglicherweise der Baufirma und nicht dem Kraftwerksprojekt zugeschrieben werden. Daher ist bei der Bewertung zu unterscheiden, von wem die Transporte durchgeführt werden.	
Betrieb	Für die Unterhaltung und Wartung der Anlagen steht ein Fuhrpark zur Verfügung, zusätzlich werden Maschinen benötigt, was jeweils einen erhöhten Treibstoffverbrauch verursacht. Hilfsstoffe werden bei Wasserkraftanlagen selten benötigt.	
WIRKUNGSBEREICH		
Gesundheit	Schadstoffe können die Gesundheit schädigen.	
Umwelt	Abgase schädigen die Umwelt.	

Tabelle 3.22: Erläuterung zu **E5.2 Betriebsstoffe**

	KOSTEN	NUTZEN
WIRKUNGSZEIT		
Bau	In der Bauzeit werden zusätzliche Betriebsstoffe verbraucht, z. B. von Baumaschinen. Dieser Punkt kann bei der Baufirma internalisiert sein, wenn diese verpflichtet wird, den entstandenen Schaden zu beheben.	
Betrieb	Während des Betriebs einer Wasserkraftanlage werden unterschiedliche Betriebsstoffe benötigt, wie z. B. Schmieröl für Turbinen und Generator oder Hydrauliköl.	
WIRKUNGSBEREICH		
Umwelt	Der Verbrauch von Betriebsstoffen kann die Umwelt schädigen oder zumindest belasten, wenn diese ungeplant (durch ein Leck o. ä.) in die Natur gelangen.	

E6 Reststoffe

Der Betreiber ist verpflichtet, das gesamte *Rechen- und Schwemmgut* sowie den darin enthaltenen *Zivilisationsmüll*, der sich am Rechen vor der Anlage sammelt und den er dem Wasser entnimmt, kostenpflichtig zu entsorgen. *Ausgehobener Boden* im Zuge der Baumaßnahme kann kostengünstig zur Verfügung gestellt werden.

Tabelle 3.23: Erläuterung zu **E6.1 Rechen- und Schwemmgut**

Das Rechen- und Schwemmgut muss ggf. vom Betreiber dem Gewässer entnommen und kostenpflichtig entsorgt oder ins Unterwasser weitergeleitet werden. Laut geltender Rechtslage darf entnommenes Rechen- und Schwemmgut dem Fluss nicht wieder zugeführt werden.

	KOSTEN	NUTZEN
WIRKUNGSZEIT		
Betrieb	Im natürlichen Gewässer befinden sich organische Bestandteile, die für das ökologische Gesamtsystem notwendig sind und nun entnommen wurden. Totholz ist ein wichtiges Gewässerstrukturelement. Eine biogene Durchgängigkeit sollte gegeben sein.	Nach der Entnahme von Rechen- und Schwemmgut befindet sich weniger störendes Material im Gewässer.
WIRKUNGSBEREICH		
Wohlbefinden		Der Betreiber muss die Kosten der Entsorgung tragen, wodurch er die Allgemeinheit entlastet, die sonst die anfallenden Kosten tragen müsste (z. B. Beseitigung von Baumstämmen...).
Flora	Durch die Entnahme von Treibgut kann der Artenaustausch beeinflusst werden, da z. B. Saatgut nicht weitertransportiert wird und dadurch nicht an anderer Stelle wachsen kann.	Im Gewässer befindet sich weniger Material, welches das Gewässer schädigen kann (z. B. Freisetzung von Stoffen durch Verrottung).
Fauna	Es fehlen notwendige Nährstoffe sowie Elemente für die Lebenszyklen einiger Wassertiere. Laichmöglichkeiten gehen verloren.	

Tabelle 3.24: Erläuterung zu **E6.2 Zivilisationsmüll**

	KOSTEN	NUTZEN
WIRKUNGSZEIT		
Betrieb		Am Rechen einer Wasserkraftanlage sammelt sich zusätzlich zum oben erwähnten Rechen- und Schwemmgut auch Zivilisationsmüll (Dosen, Autoreifen etc.) an. Den dem Wasser entnommenen Zivilisationsmüll muss der Betreiber auf eigene Kosten entsorgen.
WIRKUNGSBEREICH		
Wohlbefinden		Durch die Entnahme von Zivilisationsmüll aus dem Fluss entsteht ein „schöneres“ Landschaftsbild, zudem werden der Allgemeinheit dadurch Kosten erspart.
Flora und Fauna		Durch die Entfernung des Mülls verbessern sich die Lebensbedingungen im und am Gewässer. Es werden z. B. Schadstoffe reduziert oder scharfe Gegenstände entnommen.

Tabelle 3.25: Erläuterung zu **E6.3 Ausgehobener Boden**

	KOSTEN	NUTZEN
WIRKUNGSZEIT		
Bau		Bei den Tiefbauarbeiten fällt z. T. Sand und Kies an. Der ausgehobene Boden steht kostengünstig für andere Projekte zur Verfügung.
WIRKUNGSBEREICH		
Wohlbefinden		Die hochwertigen Baustoffe Sand und Kies können weiter verwendet werden und teilweise sogar als Ersatz für Kiesgruben dienen. Der ausgehobene Boden kann an anderer Stelle, wenn benötigt, eingebaut und andere Projekte dadurch kostengünstiger erstellt werden.

E7 Transport

Aufgrund der *Materialversorgung* während der Bauzeit und des *Fuhrparks* des Kraftwerksbetreibers kommt es zu einer verstärkten Umweltverschmutzung. Durch Hochspannungsleitungen, die für die *Energieableitung* benötigt werden, sind neben der Veränderung des Landschaftsbildes Befürchtungen bzgl. gesundheitlicher Beeinträchtigungen der Anwohner nicht auszuschließen.

Tabelle 3.26: Erläuterung zu **E7.1 Fuhrpark/Materialversorgung**

	KOSTEN	NUTZEN
WIRKUNGSZEIT		
Bau	Die Anlieferung der verwendeten Baumaterialien erfolgt hauptsächlich über die Straße, wodurch zusätzliche Emissionen (Abgase, erhöhte Lärm- und Staubwerte etc.) entstehen. Hier ist abzuwägen, ob der Effekt tatsächlich dem Kraftwerksprojekt und nicht der Bau-firma angelastet werden sollte.	
Betrieb	Für die Aufrechterhaltung des Betriebs einschließlich Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten muss ein Fuhrpark bereitgehalten werden. Während des Betriebs werden Baumaterialien hauptsächlich bei größeren Instandsetzungsmaßnahmen angeliefert.	
WIRKUNGSBEREICH		
Umwelt	Die erhöhte Luftverunreinigung durch Staub und Abgase (beachte E5.1 „Treib- und Hilfsstoffe“) hat eine schädigende Wirkung auf die Umwelt.	

Tabelle 3.27: Erläuterung zu **E7.2 Energieableitung**

	KOSTEN	NUTZEN
WIRKUNGSZEIT		
Betrieb	Die Energieableitung erfolgt von der Umspannanlage des Kraftwerks über zusätzliche Hochspannungsleitungen in das vorhandene Stromnetz.	
WIRKUNGSBEREICH		
Gesundheit	Es ist umstritten, ob der in Hochspannungsleitungen fließende Strom mittelbar gesundheitliche Schäden verursacht; es bestehen jedoch Vermutungen, dass elektromagnetische Felder Auswirkungen auf die Gesundheit haben.	
Wohlbefinden	Auch wenn durch Hochspannungsleitungen verursachte gesundheitliche Schäden nicht nachgewiesen werden können, schreckt es einige Menschen ab, in deren näheren Umgebung zu wohnen. Zusätzlich können u. U. freie Flächen nicht mehr zur Freizeitgestaltung (z. B. zum Drachensteigen) genutzt werden. Die Hochspannungsmasten stellen darüber hinaus eine Beeinträchtigung des Landschaftsbildes dar.	

E8 Personal

Durch den *Personal*bedarf während des Baus und des Betriebs der Wasserkraftanlage werden neue Arbeitsplätze geschaffen.

Tabelle 3.28: Erläuterung zu **E8.1 Personalstand**

	KOSTEN	NUTZEN
WIRKUNGSZEIT		
Bau		Es entstehen temporär, v. a. im Bau- und Montagebereich, zusätzliche Arbeitsplätze bzw. Arbeitsplätze werden gesichert.
Betrieb		Im Betrieb incl. Wartung und Instandhaltung werden Mitarbeiter benötigt und so u. U. neue Arbeitsplätze geschaffen.
WIRKUNGSBEREICH		
Wohlbefinden		Arbeitsplätze werden in näheren Umkreis geschaffen, was vor allem während des Betriebs wegen der längeren Dauer von Interesse ist. Wirtschaftlich bedeutet eine höhere Beschäftigungsrate eine Entlastung der Gemeindekassen, da die Ausgaben für Transferleistungen wie Sozialhilfe und Arbeitslosengeld sinken.

E9 Schifffahrt

Mit dem Ausbau des Flusses zur Wasserkraftnutzung kann der Fluss *schiffbar* gemacht und als Wasserstraße genutzt werden. Während des Baus kommt es allerdings möglicherweise zeitweise zu einer Einschränkung der *Schifffahrt*.

Tabelle 3.29: Erläuterung zu **E9.1 Schiffbarkeit**

	KOSTEN	NUTZEN
WIRKUNGSZEIT		
Bau	Während des Baus wird die Baugrube oft durch einen Fangedamm abgegrenzt, damit das Krafthaus, das Wehr und bei durchgehender Wasserstraße eine Schleuse errichtet werden können. Dies verringert die vorhandene Flussbreite, was zeitweise zu Erhöhung der Fließgeschwindigkeit und Vergrößerung der Wassertiefe führt.	
WIRKUNGSBEREICH		
Wohlbefinden	Durch eine zeitweise Einschränkung der Schifffahrt kann es lokal zu wirtschaftlichen Einbußen kommen.	

Tabelle 3.30: Erläuterung zu **E9.2 Schiffbarmachung**

	KOSTEN	NUTZEN
WIRKUNGSZEIT		
Betrieb		Der Ausbau eines Flusses zur Wasserstraße kann durch die Nutzung der Wasserkraft gefördert werden (z. B. Neckar). Durch den konstant gehaltenen Oberwasserspiegel wird im Normalbetrieb eine konstante Wassertiefe gewährleistet. Die Schiffbarkeit kann den Tourismus fördern, wenn dadurch Ausflugsschiffe den Fluss befahren können (s. E12.2 „Tourismus/Naherholung“).
WIRKUNGSBEREICH		
Wohlbefinden		Eine Anbindung an den Fluss, der zur Schifffahrtsstraße ausgebaut ist, bedeutet Standortvorteile. Dadurch können sich weitere Betriebe ansiedeln, was für die Region von wirtschaftlichem Vorteil ist.

E10 Emissionen

Zusätzliche *Abwärme*, ein erhöhter *Lärmpegel*, *Erschütterungen* und *Luftschadstoffe* lassen sich während des Baus bzw. des Betriebs einer Wasserkraftanlage nicht vermeiden. Durch die Stromerzeugung mit Wasserkraft, einer erneuerbaren und umweltfreundlichen Energiequelle, anstelle von herkömmlichen Energieerzeugungsarten können andere *Luftschadstoffe* aus fossilen Brennstoffen allerdings in erheblichem Umfang vermieden werden.

Tabelle 3.31: Erläuterung zu **E10.1 Abwärme**

	KOSTEN	NUTZEN
WIRKUNGSZEIT		
Bau	In der Bauzeit wird durch Baumaschinen eine erhöhte Abwärme produziert.	
Betrieb	Im Betrieb sind hauptsächlich die Turbinen und insbesondere der Generator für erhöhte Abwärmewerte verantwortlich. Durch Kühlwassernutzung kann sich die Wassertemperatur und damit verbunden die Wasserqualität verschlechtern.	
WIRKUNGSBEREICH		
Wohlbefinden, Flora und Fauna	Die Luft- und Wasserqualität verändert sich lokal durch erhöhte Abwärmewerte.	

Tabelle 3.32: Erläuterung zu **E10.2 Lärm**

	KOSTEN	NUTZEN
WIRKUNGSZEIT		
Bau	Im Zuge der Bauarbeiten ist ein Anstieg des Lärmpegels nicht zu vermeiden.	
Betrieb	Im Betrieb ist, z. B. hervorgerufen durch Maschinen, den Ein- und Auslaufbereich oder den Wehrüberfall, ein erhöhter Lärmpegel unvermeidbar. Das Maschinenhaus stellt hierbei die Primärquelle dar. Dabei ist zu unterscheiden zwischen permanenten Lärmquellen, wie z. B. Kühl- und Klimatisierungseinrichtungen, und kurzzeitigen, aber immer wiederkehrenden Quellen, z. B. Hydraulikaggregate, Überdruckhydraulik und Schaltvorgänge. Von Schalt- oder Trafoanlagen kann ein Grundbrummen ausgehen.	
WIRKUNGSBEREICH		
Wohlbefinden	Die Lärmkulisse ist für Anlieger und Besucher störend.	
Fauna	Auch die Flussbewohner sind von der erhöhten Lärmbelastung betroffen, wodurch es zur Abwanderung einzelner Arten kommen kann. Dabei darf Gewohnheitseffekt allerdings nicht unterschätzt werden. Tiere gewöhnen sich an gewisse Geräusche und können unterscheiden, ob sie eine potentielle Gefahrenquelle darstellen.	

Tabelle 3.33: Erläuterung zu **E10.3 Erschütterungen**

	KOSTEN	NUTZEN
WIRKUNGSZEIT		
Bau	Baumaschinen verursachen Erschütterungen im näheren Umkreis der Baustelle.	
Betrieb	Besonders niedrige Frequenzen, ausgelöst durch z. B. Strömungsablösungen oder bestimmte Turbinenfrequenzen, sind hinsichtlich der Körperschallübertragung kritisch.	
WIRKUNGSBEREICH		
Wohlbefinden	Das Wohlbefinden ist durch Erschütterungen, die Unbehagen auslösen, gestört. Die störenden Frequenzen durch Körperschallübertragung sind zwar oft nicht messbar, dennoch für einige Menschen fühlbar und sehr unangenehm.	
Fauna	Durch die Erschütterungen kann es zur Abwanderung einzelner Arten kommen.	

Tabelle 3.34: Erläuterung zu **E10.4 Luftschadstoffe**

	KOSTEN	NUTZEN
WIRKUNGSZEIT		
Bau	<p>Während des Baus erhöht sich temporär durch die eingesetzten Maschinen und das Herstellen von Baumaterialien der Ausstoß schädlicher Emissionen.</p> <p>Findet die Herstellung der Baumaterialien allerdings auf der Baustelle statt, z. B. mit einer dafür vor Ort errichteten Betonmischanlage, muss deren Einfluss gesondert betrachtet werden.</p> <p>Es muss bei der Bewertung darauf geachtet werden, ob die der Wasserkraftanlage entstehenden externen Kosten für die Herstellung der Baumaterialien nicht bereits bei der herstellenden Firma internalisiert sind, z. B. durch Steuern. In der vorliegenden Studie sollen die durch Materialherstellung von Dritten verursachten externen Kosten nicht in die Bewertung einfließen. Der Materialtransport wird unter E5.1 „Treib- und Hilfsstoffe“ und E7.1 „Fuhrpark/Materialversorgung“ berücksichtigt.</p>	
Betrieb		<p>Als erneuerbare Energie trägt die Wasserkraft zur Vermeidung bzw. Reduzierung von schädlichen Emissionen bei. Durch den Ausbau der Wasserkraft verringert sich der Ausstoß der Emissionen anderer nicht-regenerativen Energieerzeugungsformen (s. life cycle analysis (Lebenszyklus-Analysen), z. B. [Heimerl 2002], [Giesecke & Mosonyi 2005], [Kaltschmitt et al. 2006]).</p>
WIRKUNGSBEREICH		
Gesundheit	Das Einatmen von Schadstoffen kann gesundheitliche Schäden verursachen.	Gesundheitlich negative Folgen können durch eine regional bzw. global bessere Luftqualität vermieden werden.
Umwelt	Die Verschlechterung der Luft hat Auswirkungen auf das komplette Ökosystem.	Global kann die Luftqualität verbessert werden.

E11 Energie- und Rohstoffverbrauch

Der Energie- und Rohstoffverbrauch steigt durch den *Energieeinsatz* während des Baus und des Betriebs. Die Baumärkte und der Baustoffhandel profitieren von einer erhöhten Nachfrage nach *Baumaterialien*.

Tabelle 3.35: Erläuterung zu **E11.1 Baumaterialien**

	KOSTEN	NUTZEN
WIRKUNGSZEIT		
Bau und Betrieb		Der Baumarkt und der Baustoffhandel profitieren von dem für den Bau und für Instandsetzungsarbeiten benötigten Materialverbrauch.
WIRKUNGSBEREICH		
Wohlbefinden		Durch den zusätzlichen Verdienst sind die Menschen in der Umgebung wirtschaftlich besser gestellt, die höhere Kaufkraft wirkt sich auch auf andere Bereiche positiv aus.

Tabelle 3.36: Erläuterung zu **E11.2 Energieeinsatz**

	KOSTEN	NUTZEN
WIRKUNGSZEIT		
Bau	Die Baumaschinen benötigen im Betrieb Diesel oder Strom, der in anderen Kraftwerken erzeugt und zum Einsatzort transportiert werden muss. Für den Energieeinsatz in der Bauzeit ist teilweise die Baufirma verantwortlich, weshalb überprüft werden muss, ob die dadurch entstandenen negativen Auswirkungen nicht bereits dort internalisiert wurden. Den durch den Transport von Baumaterialien benötigten Treibstoff und die damit verbundenen Auswirkungen werden bereits bei E5.1 „Treib- und Hilfsstoffe“ berücksichtigt.	
Betrieb	Während des Betriebs wird ein zusätzlicher Energiebedarf hauptsächlich für größere Instandsetzungsmaßnahmen benötigt. Die Strommenge, die für den ordentlichen Betrieb benötigt wird, wird häufig als Eigenbedarf aus dem im Kraftwerk produzierten Strom vor dessen Einspeisung in das Netz abgezweigt, d. h. es entsteht kein externer Effekt, sondern es muss lediglich ein Gewinnverlust hingenommen werden.	
WIRKUNGSBEREICH		
Umwelt	Der benötigte Strom muss in einem anderen Kraftwerk erzeugt und zur Baustelle bzw. zum Einsatzort „transportiert“ werden.	

E12 Öffentlichkeit

Generell zeigt die Öffentlichkeit (z. B. Schulen, Universitäten, Politiker...) Interesse am Projekt und der Region, wodurch diese größere Bekanntheit erlangt und von den Besichtigungen und damit verbundenen Fahrten profitiert. Für *Fachbesucher* und *Touristen* bzw. *Naherholungssuchende* können einerseits das Projekt selbst oder andererseits durch das Projekt neu geschaffene Freizeitmöglichkeiten ein Anreiz sein, die Gegend zu besuchen. Somit verbessert sich sowohl die *allgemeine öffentliche Darstellung* der Umgebung, was die regionale Wirtschaftskraft stärken kann, als auch die der Wasserkraftnutzung und deren Bedeutung im Energiemix.

Tabelle 3.37: Erläuterung zu **E12.1 Fachbesucher**

	KOSTEN	NUTZEN
WIRKUNGSZEIT		
Bau und Betrieb		Besucher zeigen Interesse an der Baustelle und am Betrieb der Anlage. Hier sind alle Besucher eingeschlossen, die sich für das Kraftwerk in fachlicher Sicht interessieren, also z. B. Politiker oder Vereine.
WIRKUNGSBEREICH		
Wohlbefinden		Durch die dort verfügbaren Informationen können sich Interessenten weiterbilden und in ihrem Interessensgebiet erste bzw. zusätzliche Erfahrungen erlangen.

Tabelle 3.38: Erläuterung zu **E12.2 Tourismus/Naherholung**

	KOSTEN	NUTZEN
WIRKUNGSZEIT		
Bau		Die Baustelle zieht interessierte Besucher an, die während ihres Aufenthalts Ausgaben tätigen (z. B. Hotels, Restaurants).
Betrieb		Wasserkraftanlagen und ihre Betriebseinrichtungen können für interessierte Besucher ein Grund sein, die Region zu besuchen, wobei sie oft länger in der Umgebung verweilen und daher höhere Ausgaben für Konsum und Aufenthalt leisten. Schiffsausflüge mit Schleusung können eine zusätzliche Attraktion der Gegend sein.
WIRKUNGSBEREICH		
Wohlbefinden		Aufgrund einer größeren Besucherzahl und damit verbunden mehr potentiellen Kunden können sich zusätzliche Beschäftigungsmöglichkeiten ergeben, z. B. in Gastronomiebetrieben oder Freizeiteinrichtungen.

Tabelle 3.39: Erläuterung zu **E12.3 Allgemeine öffentliche Darstellung**

	KOSTEN	NUTZEN
WIRKUNGSZEIT		
Bau und Betrieb		Medien informieren häufig über das Projekt und damit auch über die Gegend. Medienberichte stellen die Vorteile der Energiegewinnung durch erneuerbare Energien, hauptsächlich der Wasserkraftnutzung, einer breiten Öffentlichkeit vor.
WIRKUNGSBEREICH		
Wohlbefinden		Durch die öffentliche Darstellung, die Vorstellung kultureller Ausflugsziele und weiterer interessanter Freizeitmöglichkeiten gewinnt die entsprechende Region an Bedeutung. Die Öffentlichkeit interessiert sich stärker für die Bedeutung der umweltfreundlichen Energiegewinnung aus Wasserkraft.

E13 Investitionen

Durch Arbeitsplatzschaffung bzw. -sicherung erhöht sich die *Kaufkraft* der Bevölkerung. Bauarbeiten, Installationen und Tourismus schaffen *zusätzliche Verdienstmöglichkeiten* für die heimische Bevölkerung.

Tabelle 3.40: Erläuterung zu **E13.1 Erhöhung der Kaufkraft**

	KOSTEN	NUTZEN
WIRKUNGSZEIT		
Bau		Während des Baus der Wasserkraftanlage werden zusätzliche Mitarbeiter benötigt. Ebenso erfordert der Bau einer Anlage Dienstleistungen von lokalen Gewerken. Der daraus entstandene Verdienst kann die regionale Wirtschaft beleben.
Betrieb		Auch während des Betriebs werden Mitarbeiter als Kraftwerkspersonal benötigt. Durch Naherholung oder Tourismus können zusätzliche Stellen geschaffen werden.
WIRKUNGSBEREICH		
Wohlbefinden		Die erhöhte Kaufkraft der Anwohner bringt regional eine wirtschaftliche und soziale Verbesserung mit sich, da Dienstleister und Geschäfte der Umgebung höheren Umsatz machen.

Tabelle 3.41: Erläuterung zu **E13.2 Zusätzlicher Verdienst**

	KOSTEN	NUTZEN
WIRKUNGSZEIT		
Bau und Betrieb		Durch auswärtige Bauarbeiter, Touristen und Besucher bekommen vor allem dienstleistende Betriebe eine zusätzliche Einnahmequelle. Der zusätzliche Verdienst durch den Verkauf von Baustoffen wird unter E11.1 „Baumaterialien“ einbezogen.
WIRKUNGSBEREICH		
Wohlbefinden		Dies verbessert und sichert in diesen Wirtschaftsbereichen die erzielbaren Gewinne.

4 Praktische Erfassung und Quantifizierung externer Effekte

4.1 Motivation für die Entwicklung des Bewertungsverfahrens

Bei der Planung und Implementierung wasserwirtschaftlicher Maßnahmen spielt die Berücksichtigung der politischen und rechtlichen Rahmenbedingungen eine entscheidende Rolle. Meist sind hiervon die externen Effekte betroffen. Im Folgenden geht es darum, aufzuzeigen, inwiefern die Entwicklung von Bewertungsverfahren es ermöglicht, externe Effekte in den Entscheidungsprozess zu integrieren. Bei der Entwicklung des vorliegenden Bewertungsverfahrens wurde sowohl bei der Dokumentation der Daten als auch bei der Ergebnisdarstellung auf mögliche Einsatzbereiche eingegangen. Darüber hinaus wurde die Darstellung einiger Teilergebnisse für unterschiedliche Einsatzmöglichkeiten berücksichtigt.

4.1.1 Einsatz als Marketing- und Planungs-Tool

Neben der Energieerzeugung besitzt die Wasserkraft viele Vorteile. Besonders hervorzuheben ist, dass die Wasserkraft häufig eine Mehrzwecknutzung im Vergleich mit herkömmlichen und anderen erneuerbaren Energieerzeugungsformen ermöglicht (s. Abschnitt 3.1).

Um die Wasserkraft als einen der zwei größten erneuerbaren Energieträger weiterhin auch in der Öffentlichkeit und Politik als attraktiv für neue Projekte im Bereich Neubau, Reaktivierung oder Umbau zu gestalten, bietet eine Übersicht aller denkbaren Auswirkungen einer Anlage auf ihr Umfeld die Möglichkeit, für einen weiteren Ausbau der Wasserkraft in Deutschland zu werben. Ziel sollte sein, dass ihr im Energiemix eine größere Rolle zukommt. Hierfür ist vor allem die Einbeziehung der bei der Wasserkraft besonders erwähnenswerten positiven externen Effekte von Bedeutung.

Angesichts vieler Einwände und Beschränkungen seitens Behörden, Interessensverbänden oder auch aus der Bevölkerung müssen viele Projekte bereits in der Planungsphase fallen gelassen werden. Zudem wurden bislang bei Bewertungen von Wasserkraftanlagen in Deutschland hauptsächlich die betriebswirtschaftlichen Kosten im Rahmen von Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen berücksichtigt (s. a. [Kohler & Heimerl 2003]). Werden neben den betriebswirtschaftlichen Kosten auch die externen Effekte erfasst, kann ein adäquater Vergleich zwischen verschiedenen Kraftwerken und ihren Auswirkungen auf das Umfeld vorgenommen werden. Langfristig nutzbare Wasserkraftanlagen sind unabhängig ihrer Größe infolge der Kosten durch die vielen behördlichen Auflagen, die zusätzlich zu den Gestehungskosten anfallen, fast nicht mehr finanzierbar, wenn die Kosten nicht reduziert werden [Haury 2003]. Diese Kostenreduzierung kann durch die Einbeziehung der externen Effekte beispielsweise in Form von Kompensationsmaßnahmen, durch staatlichen Subventionen für umweltfreundlichen Strom oder die Erhebung von Eintrittsgeldern für die neu angelegten Gebiete erfolgen.

Ziel ist es, eine Möglichkeit zu schaffen, die externen Effekte bereits bei der Planung neuer Wasserkraftprojekte oder der Modernisierung bestehender Wasserkraftanlagen zu berücksichtigen. Werden beispielsweise bei der Planung einer Maßnahme von Beginn an alle positiven und negativen Aspekte herausgearbeitet und möglichst umfassend quantifiziert, können viele Einwände gegen das Projekt von Seiten der Allgemeinheit, Verbänden oder Behörden vorweggenommen und dadurch die Maßnahme erleichtert und beschleunigt werden. In diesem Zusammenhang soll-

te zunächst eine komplette Aufstellung aller bei der Laufwasserkraft möglichen Effekte gefertigt werden. Durch die Erfassung und Quantifizierung der jeweiligen Auswirkungen auf das soziale, wirtschaftliche und ökologische Umfeld kann man sodann den zusätzlichen Nutzen einer Anlage klarer ausweisen und eine größere Akzeptanz erreichen.

Im Falle von Neubauplanungen oder zu modernisierenden Altanlagen, von Verlängerungen der wasserrechtlichen Gestattungen oder Überprüfung von Altrechten kann die Katalogisierung und die Quantifizierung von externen Effekten bei Genehmigungsbehörden von Vorteil sein, da hierdurch komplexe Wechselwirkungen greifbarer gemacht werden und so eine neutrale sachliche Bewertung der Wasserkraft gegenüber Kraftwerkstypen anderer Energieerzeugungsformen ermöglicht wird. Im Vergleich zu diesen ergibt sich bei der Wasserkraft unter Einbeziehung der externen Effekte ein äußerst günstiger Kosten-Nutzen-Faktor [Heimerl 2005].

Bei vielen Maßnahmen und vor allem vor einem Neubau muss eine Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) [UVPG 1990] durchgeführt werden, die eine Gesamtbetrachtung und -bewertung der Auswirkungen von wasserwirtschaftlichen Maßnahmen auf die Umwelt umfasst. In dieses Verfahren, bei dem u. a. Einflüsse auf Mensch, Fauna, Flora, Boden, Wasser, Klima und Landschaftsbild in Betracht gezogen werden, müssen sowohl Behörden als auch die Allgemeinheit einbezogen werden. Durch eine UVP sollen die ökologischen Auswirkungen vor Durchführung der Maßnahme angemessen berücksichtigt und dadurch zukünftige Umweltschäden möglichst vermieden werden.

Eine UVP ist somit als Versuch anzusehen, auch externe Effekte in die Betrachtung einzubeziehen. Insofern kann die in der vorliegenden Arbeit geleistete vollständige und systematische Darstellung externer Effekte sowie die Beschreibung möglicher Bewertungsmethoden bei einer UVP eine wertvolle Bereicherung sein. Zudem ist die Prüfung von Alternativen beispielsweise bezüglich des Standorts oder zum Ausgleich von negativen Auswirkungen ein Kernstück der UVP. Eben dieser Vergleich soll durch das entwickelte Bewertungsverfahren ebenfalls möglich sein (s. a. Abschnitt 4.1.3).

4.1.2 Ökonomische Analyse in der EG-Wasserrahmenrichtlinie

Die EG-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) [Richtlinie 2000/60/EG] trat im Dezember 2000 als Ordnungsrahmen für Maßnahmen der europäischen Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik in Kraft. Sie hat das grundlegende Ziel, eine einheitliche Verbesserung der Oberflächengewässer und des Grundwassers zu erreichen. Dazu gehören neben der Bestandsaufnahme des Gewässerzustands auch die erforderlichen Maßnahmen, um einen „guten ökologischen Zustand“ bzw. ein „gutes ökologisches Potential“ der Gewässer zu erreichen. Dafür wurde ein knapp bemessener Zeitrahmen mit einem Erfüllungsziel bis zum Jahr 2015 vorgesehen, wobei unter gewissen Umständen auch spätere Termine möglich sind.

Die Inhalte und Regelungen der WRRL wurden zwischenzeitlich in nationalstaatliches Recht umgesetzt, indem z. B. in Deutschland das Rahmengesetz des Bundes, das Wasserhaushaltsgesetz (WHG), sowie die ausführenden Wassergesetze der Länder (WG) geändert wurden. Damit steht heute der Vollzug der modifizierten Gesetze mit den darin enthaltenen Zielen der WRRL im Vordergrund.

Für die Wasserkraftnutzung ist in diesem Zusammenhang vor allem von Bedeutung, dass Veränderungen der Hydromorphologie, wie z. B. die Unterbrechung der Durchgängigkeit, die Strömungsregulierung und die Beeinflussung der Gewässerstruktur, bei der Einstufung von Gewässern eine Rolle spielen und bei einem zu verbessernden Ergebnis Verbesserungsmaßnahmen innerhalb eines vorgegebenen Zeithorizontes ergriffen werden müssen [Heimerl & Kohler 2003].

Darüber hinaus wird in Artikel 5 und Anhang III eine ökonomische Analyse gefordert. Diese ökonomische Analyse beinhaltet einerseits notwendige Berechnungen, um dem Grundsatz der Kostendeckung der Wasserdienstleistungen gemäß Artikel 9 Rechnung zu tragen, und andererseits die Ermittlung der kosteneffizientesten Kombinationen der nach Artikel 11 notwendigen Maßnahmen für Wassernutzungen. Es wird hierbei grundlegend zwischen Wasserdienstleistung und Wassernutzung unterschieden.

Wasserdienstleistungen nach Artikel 2 umfassen danach alle Dienstleistungen, die für Haushalte, öffentliche Einrichtungen oder wirtschaftliche Tätigkeiten jeder Art Folgendes zur Verfügung stellen. Insbesondere sind dies:

- die Entnahme, Aufstauung, Speicherung, Behandlung und Verteilung von Oberflächen- oder Grundwasser sowie
- Anlagen für die Sammlung und Behandlung von Abwasser, die anschließend in Oberflächengewässer einleiten.

Unter der übergeordneten Gruppe der Wassernutzungen werden einerseits Wasserdienstleistungen sowie andererseits alle Maßnahmen subsumiert, die gemäß Artikel 5 und Anhang II signifikante Auswirkungen auf den Wasserzustand haben. Aufstauungen im Zuge der Elektrizitätserzeugung und Schifffahrt sowie alle Maßnahmen des Hochwasserschutzes fallen damit nicht unter die Definition der Wasserdienstleistungen, können aber je nach Zuordnung in den einzelnen Staaten Wassernutzungen darstellen.

Das Prinzip der Kostendeckung nach Artikel 9 ist ein wesentlicher Bestandteil der WRRL. Unter Einbeziehung der ökonomischen Analyse und unter Zugrundelegung des Verursacherprinzips muss der Grundsatz der Kostendeckung der Wasserdienstleistungen einschließlich umwelt- und ressourcenbezogener Kosten berücksichtigt werden. Das Kostendeckungsprinzip gilt nach der WRRL für die Kosten von Wasserdienstleistungen [Interviews & Kraemer 2002].

Die ökonomische Analyse der Wasserdienstleistungen umfasst neben den betriebswirtschaftlichen Kosten hauptsächlich auch die so genannten Umwelt- und Ressourcenkosten. Es ist allerdings bislang nicht gelungen, sich auf eine allgemein anerkannte Methodik für die Einbeziehung der Umwelt- und Ressourcenkosten zu einigen.

Die Umweltkosten umfassen Kosten für Schäden, die bedingt durch die Wassernutzung an der Umwelt, Ökosystemen oder Individuen entstehen. Ressourcenkosten sind „Knappheitskosten“, also Kosten für entgangene Nutzungsmöglichkeiten [Fries & Nafu 2006]. Unter den Umwelt- und Ressourcenkosten werden also eindeutig die externen Effekte verstanden.

Da in der WRRL keine detaillierten Angaben zur Durchführung der ökonomischen Analyse gemacht werden, erstellte die Arbeitsgruppe WATECO (*Water Framework Directive and Economics*) einen unverbindlichen Leitfaden mit dem Titel „Economics and the Environment - The Implementation Challenge of the Water Framework Directive - A Guidance Document“ mit Empfehlungen zur Umsetzung der ökonomischen Analyse. Die Umsetzung soll danach dreistufig erfolgen ([Essler & Moshage 2005] und [Rathje 2003]):

Stufe 1: Beschreibung der Flussgebietseinheit

Dazu gehören die Beschreibung der wirtschaftlichen Bedeutung der Wassernutzungen, das „Baseline Szenario“ sowie Angaben zu den Wasserdienstleistungen und deren Kostendeckung. Des Weiteren sollen Informationen, die eine Abschätzung der kosteneffizientesten Maßnahmekombinationen erlauben, und Informationen zu weiteren erforderlichen Arbeiten geliefert werden.

Stufe 2: Identifizierung der wichtigsten Wasserbewirtschaftungsfragen

Hierbei besteht die Vorgabe, die wirtschaftlichen Fragestellungen bis zum Jahr 2008 zu verfeinern und zu konkretisieren. Dabei muss überprüft werden, ob das bis 2015 angestrebte Ziel eines „guten Zustands“ der Gewässer erreichbar ist und was ggf. die primären Einflussfaktoren und Belastungen für ein Nicht-Erreichen sein könnten.

Stufe 3: Aufstellung der kosteneffizientesten Maßnahmen

Die Kosten der notwendigen Maßnahmen müssen abgeschätzt und anhand von Kosten-Nutzen-Analysen die kosteneffizientesten Maßnahmen herausgefiltert werden.

Die Wasserkraft wird nach bisherigem Verständnis nicht als Wasserdienstleistung, sondern lediglich als Wassernutzung verstanden und ist somit bislang nicht explizit zu einer ökonomischen Analyse verpflichtet. Es ist jedoch möglich, dass die Wasserkraft zukünftig als eine Wassernutzung, die eine ökonomische Analyse erfordert, angesehen werden könnte.

Das in der vorliegenden Studie entwickelte Verfahren könnte in diesem Fall eine Grundlage für die ökonomische Analyse bieten, da hier bereits die Möglichkeit der Bewertung relevanter Umwelt- und Ressourcenkosten, also externer Effekte, dargestellt wird. Im Zuge einer ökonomischen Analyse wird eine Monetarisierung gefordert, wofür in dieser Arbeit ebenfalls Möglichkeiten aufgezeigt wurden, gleichzeitig wird aber auch detailliert auf die Problematik der Monetarisierung externer Effekte eingegangen, die Grenzen der Machbarkeit werden verdeutlicht. Das entwickelte Simulationsverfahren kann durch geringe Modifikation auch auf andere Bereiche der Wassernutzungen bzw. Wasserdienstleistungen übertragen werden und so Hilfestellung für eine ökonomische Analyse nach WRRL leisten. Zudem können Ergebnisse einzelner betrachteter Effekten im Zuge der Erreichung des „guten ökologischen Zustands“ Bereiche aufzeigen, an denen effektiv zur Verbesserung angesetzt werden kann.

4.1.3 Nutzen des Verfahrens als Benchmarking-Tool

„Benchmarking ist die Suche nach Lösungen, die auf den besten Methoden und Verfahren der Industrie, den „Best Practices“, basieren und ein Unternehmen zu Spitzenleistungen führen“ [Camp 1994]. Benchmarking beinhaltet dabei den kontinuierlichen Vergleich von Produkten, Dienstleistungen sowie Prozessen und Methoden mit anderen Unternehmen oder Organisationseinheiten [Kiesl et al. 2005]. Im Gegensatz zu Marktanalysen, die hauptsächlich auf dem Preisvergleich einer Leistung basieren und dadurch eine Reihenfolge angeben, werden beim Benchmarking zusätzlich Vergleiche angestellt, um die Ursachen für die Differenzen der Kosten oder Leistungen zu ermitteln [ATV-DVWK 2003]. Das Ergebnis für die Beteiligten des Benchmarking-Prozesses enthält also nicht nur die Preisunterschiede, sondern auch den Grund für diese Unterschiede.

Im Zentrum eines jeden Optimierungsprozesses steht dabei die so genannte „Best Practice“. Darunter ist zu verstehen, wenn bei einem Vergleich erfolgreich eingesetzte Instrumente, Methoden und Prozesse identifiziert und gegebenenfalls zur Optimierung übernommen werden [DVGW 2004].

Die Vergleiche können unter verschiedenen zu betrachtenden Aspekten durchgeführt werden [VDI 2000] (s. Abbildung 4.1). So können verschiedene Benchmarking-Objekte, wie Produkte, Prozesse, Strategien, Organisation, Systeme u. a., betrachtet werden. Eine Benchmarking-Untersuchung kann in mehreren Bereichen durchgeführt werden, intern im eigenen Unternehmen, beim direkten Wettbewerber, in der eigenen Branche oder auch branchenfremd bzw. branchen-

übergreifend. Die dritte Ebene stellt die Frage der Funktion. Hier wird zwischen einer Betrachtung in vergleichbarer Funktion oder in fremder Funktion (funktionsübergreifend) unterschieden.

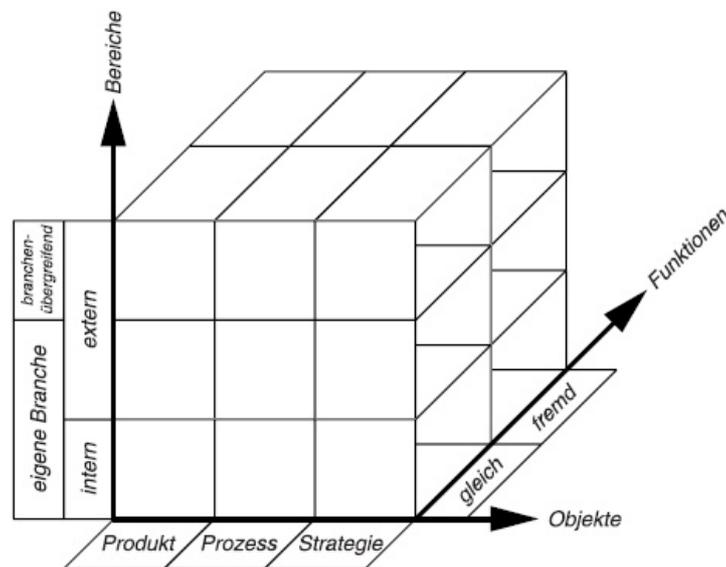


Abbildung 4.1: Bestimmung des Benchmarking-Ansatzes [VDI 2000]

Jedes Benchmarking-System basiert auf Kennzahlen. Der Vergleich der Kennzahlen ist ein wichtiger Teil des Benchmarking-Prozesses, da die Qualität der Ergebnisse hauptsächlich von der Qualität des Kennzahlensystems abhängt. Der gesamte Benchmarking-Prozess beinhaltet folglich das Erstellen von Kennzahlensystemen und deren Vergleich, die Ursachenanalyse, die Festlegung eines Zielwertes für umsetzbare Maßnahmen und einen Rückkopplungszyklus der Vergleiche der Soll-Ist-Werte [Löhner 2003].

In der Wasserversorgung wurde in den letzten Jahren sowohl die Methodik des Benchmarkings als auch die Kennzahlensysteme wesentlich weiter entwickelt [Mehlhorn 2005]. Die IWA-Kennzahlen, erarbeitet von der International Water Association, basieren auf folgenden Rubriken: Versorgungssicherheit, Qualität, Nachhaltigkeit, Kundenservice und Wirtschaftlichkeit. Dies soll die Modernisierung der Wasserwirtschaft, ausgerichtet an langfristigen Zielen und aufbauend auf den heutigen Anforderungen an die Wasserwirtschaft, auch im Bezug auf Kundenorientierung und Nachhaltigkeit gewährleisten. Hauptziel der Einführung des Benchmarkings ist die Optimierung der technischen und wirtschaftlichen Leistungsfähigkeit eines Wasserwirtschaftsunternehmens nach einem festgelegten Standard.

Im betriebswirtschaftlichen Bereich wird das Kostenbenchmarking bereits auf dem Wasserkraftsektor durchgeführt. Hierbei ließ sich zum Teil ein erhebliches Einsparpotential beim Betrieb der Wasserkraftanlagen feststellen [Husemann & Meyer 2003].

Externe Effekte können aufgrund der momentanen Rahmenbedingungen und in Folge der Schwierigkeiten bei ihrer Bewertung bislang auch im wasserwirtschaftlichen Bereich nicht vollständig erfasst werden [Löhner 2003]. Benchmarking kann einen wichtigen Beitrag zu der verstärkten Einbeziehung externer Effekte und zu einer transparenteren Darstellung ihrer Auswirkungen leisten.

Das im Rahmen dieser Studie erarbeitete Bewertungsverfahren trägt diesem Anwendungsbereich Rechnung und zeigt darüber hinaus Möglichkeiten auf, wie im Rahmen von Benchmarking die

Auswirkungen externer Effekte „optimiert“, d. h. die Kosten minimiert und die Nutzen maximiert werden können. Beim Vergleich mehrerer Anlagen kann untersucht werden, wo die positiven Eigenschaften einer Anlage liegen, ob diese auf andere Anlagen übertragen werden können und wie groß der Aufwand einer solchen Übertragung wäre. Dabei ist zu beachten, dass aufgrund der bereits erwähnten standortspezifischen Auswirkungen bei Wasserkraftanlagen nicht jeder Nutzen einer Anlage per se auf ein anderes Kraftwerk übertragen werden kann. Dennoch kann die Methodik des Benchmarkings als Hilfsmittel zum Erreichen einer möglichst optimalen Lösung beitragen und angewendet werden. Einen guten Einsatzbereich bietet die Betrachtung kompletter Wasserkraftanlagenketten. Die Rahmenbedingungen solcher Kraftwerke in einer Kraftwerkskette sind oft vergleichbar, da sie an einem Flussabschnitt liegen, an dem oft ähnliche Bedingungen vorherrschen.

4.2 Erfassungs- und Quantifizierungsansätze

Generell können die Erfassungs- und Quantifizierungsansätze in nicht-monetär und monetär unterteilt werden. Wie schon mehrfach erwähnt, werden externe Effekte unter Kosten- und Nutzenkriterien betrachtet.

In den voran stehenden Abschnitten wurde darüber hinaus deutlich, dass auch in der Praxis verstärkt die Einbeziehung externer Effekte in die wirtschaftliche Gesamtbetrachtung gefordert wird. In diesem Zusammenhang wird jedoch evident, dass von rechtlicher Seite zwar eine ökonomische Analyse basierend auf einer Kosten-Nutzen-Analyse gefordert wird, gleichzeitig jedoch offen bleibt, wie die dafür erforderliche Monetarisierung externer Effekte erfolgen soll. Um diese Lücke auszufüllen, sollen an dieser Stelle mögliche Erfassungs- und Quantifizierungsansätze dargestellt werden.

4.2.1 Monetäre Erfassungs- und Quantifizierungsansätze

Die monetären Quantifizierungsansätze können in drei Analyseverfahren je nach vorhandener Datenlage unterteilt werden:

- **Marktpreisanalyse**

Wenn ein Marktpreis existiert, kann dieser direkt übernommen werden. Dies ist somit die einfachste und am leichtesten nachvollziehbare Methode.

- **Marktdatenanalyse**

Es existiert kein direkter Marktpreis, dieser kann aber durch geeignete Analysemethoden (Reisekostenansatz, hedonische Preisanalyse) hergeleitet werden.

- **Reisekostenansatz**

Reisekosten bestehen aus verschiedenen Teilausgaben, die sich z. B. aus Fahrt- und Verpflegungskosten sowie möglichen Eintrittspreisen zusammensetzen. Aus der Summe dieser Teilausgaben berechnet sich der „Besuchswert“ einer Landschaft, was einerseits den Daseins-Wert der Landschaft an sich, aber andererseits auch die Bedeutung für eine bestimmte Tätigkeit, z. B. die Ausübung eines Sports, ausdrücken kann.

- **Hedonische Preisanalyse**

Die Idee der hedonischen Preise beruht darauf, ein Gut in seine Komponenten zu zerlegen und den Preis für die einzelnen Komponenten zu bestimmen. Der Preis des Gutes ergibt sich folglich als Summe der Preise der Komponenten. Um zum Beispiel den Lagefaktor einer 3-Zimmer-Wohnung zu ermitteln, wird der Preis einer durchschnittlich

ausgestatteten Wohnung dieser Größe in ruhiger Lage mit einer an einer Hauptstraße gelegenen Wohnung verglichen. Das gleiche Verfahren kann für andere Merkmale, wie z. B. Balkon, Garten usw., angewendet werden. Schließlich existiert für jedes Ausstattungsmerkmal ein Preis, so dass für jede individuelle Wohnung mit einer beliebigen Anzahl an Ausstattungsmerkmalen der Marktpreis ermittelt werden könnte.

- **Indirekte monetäre Bewertung**

Kann mittels einer Marktpreis- bzw. Marktdatenanalyse kein eindeutiger und zuverlässiger Preis ermittelt werden, müssen andere Methoden zu Hilfe genommen werden. Die Aussagekraft dieser Bewertungsmethode wird allerdings vielfach in Frage gestellt.

- **Schaden-Kosten- bzw. Schaden-Nutzen-Methode**

Die Bewertung der Auswirkung kann nicht direkt monetär erfolgen, die Schäden bzw. die Verbesserungen einer Auswirkung besitzen aber einen Marktwert, der für die Ermittlung des monetären Wertes dieser Auswirkung herangezogen werden kann. Soll z. B. die Verringerung der Hochwassermenge monetär ausgedrückt werden, kann dies über die Kostenermittlung von Gebäudeschäden durch vorangegangene Hochwasserereignisse erfolgen. Durch die Abschätzung der Änderung des Nettoeinkommens eines Nutznießers kann ein Nutzen bewertet werden, so z. B. ein höherer Ertrag eines Feldes in einem Überschwemmungsgebiet, das nun nicht mehr oder seltener überflutet wird, und somit dauerhaft bewirtschaftet werden kann.

- **Alternativkostenansatz**

Bei einigen Schäden ist es möglich, Ersatzmaßnahmen zu treffen. Die Kosten für diese Ersatzmaßnahmen, die den Schaden allerdings meist nur mindern, nicht ersetzen können, spiegeln einen Teil des monetären Wertes eines Schaden wider. Beispielhaft können hier die Schaffung von ökologischen Ausgleichsflächen oder Fischzuchtanlagen, die eine Erhöhung des Fischbestands bewirken sollen, genannt werden. In einigen Fällen kann dieser Ansatz auch für positive Effekte herangezogen werden, wenn beispielsweise Unbeteiligte einen Nutzen in der Form erhalten, dass sie selbst Geld einsparen können, da ein anderer nun für die Vergütung zuständig ist. Dies ist der Fall bei der Entnahme von Zivilisationsmüll aus dem Fluss oder kann bei einem erhöhten Hochwasserrückhalt vorkommen.

- **Befragung nach monetären Wertvorstellungen**

Hierbei handelt es sich um die schwierigste und am meisten diskutierte Preisbestimmungsmethode, da sie meist bei ethischen und ästhetischen Fragestellungen, wie Landschaftsveränderung, Verlust von Kulturgütern oder Tier- und Pflanzenarten, angewendet wird, wo kein Marktpreis vorhanden ist und es sich meist um subjektive Eindrücke handelt, die von der subjektiven Wertschätzung und der Zahlkraft jedes einzelnen abhängig ist. Da nicht alle Details (Kenntnisstand, Zahlkraft usw.) erfasst werden können, sind die hierdurch ermittelten Werte in ihrer Aussagekraft beschränkt.

Durch eine direkte Befragung wird erhoben, wie viel Personen für ein bestimmtes Gut zu zahlen bereit sind bzw. wie hoch die Kompensation mindestens sein muss, dass der Schaden nicht beseitigt werden muss. Aus Erfahrung wird meist zunächst ein höherer Preis genannt, als es dann tatsächlich der Fall ist. Um die Befragungsergebnisse richtig einordnen zu können, müssen der Informationsstand und die Bevölkerungsverteilung der Befragten bekannt sein. Ein unzureichender Informationsstand der Befragten führt zur Verzerrung der Ergebnisse. Darüber hinaus werden die Befragten von ihrem heutigen Standpunkt ausgehen und die Belange zukünftiger Generationen weitestgehend vernach-

lässigen. Die Zahlungsbereitschaft hängt generell stark von der Einkommensstruktur der Betroffenen ab, daher kann eine nach Einkommensgruppen getrennte Befragung hilfreich sein.

4.2.2 Nicht-monetäre Erfassungs- und Quantifizierungsansätze

Für die Bewertung nicht-monetärer Auswirkungen steht noch kein allgemein anerkanntes Verfahren zur Verfügung. Da soziale und ökologische Fragestellungen bei der wasserwirtschaftlichen Planung immer wichtiger werden, nimmt der Bedarf an nicht-monetären Techniken der Quantifizierung und Bewertung zu [Maniak 2001].

Im Gegensatz zu den monetären Quantifizierungsansätzen können hierbei die Auswirkungen nicht in Geldeinheiten dargestellt werden. Bei nicht-monetären Quantifizierungsansätzen steht daher die Wichtigkeit eines Effekts im Zentrum. Grundlage ist, dass die ausgewählten Bewertungseinheiten diese Wichtigkeit vergleichbar darstellen können, was bei monetären Werten von vornherein gegeben ist. Es muss meist für jede Einzelwirkung ein Maximalwert festgelegt werden, der in die Bewertungsskala eingeht. Der Minimalwert (= „0“) ergibt sich meist automatisch dadurch, dass ein Kriterium gar nicht auftritt.

Viele Daten liegen bereits in Größen- bzw. Mengenangaben (wie z. B. Meter oder Anzahl betroffener Lebewesen) vor, die direkt zur Bewertung verwendet werden können. Leider ist dies nicht bei allen Effekten möglich. Daher greift man oft auf Vergleichswerte als fassbare Größe zurück. Als Vergleichswerte können Daten vor der Projektierung bzw. von vergleichbaren bereits vorhandenen Anlagen dienen. Im Vergleich mit anderen Projekten ist eine Abschätzung des Einflusses und evtl. auch ein Maximalwert einfacher einzuschätzen.

Generell können nicht-monetäre Auswirkung folgendermaßen erfasst werden:

- **Statistiken/Erfahrungswerte**

Statistische Daten über vorangegangene Ereignisse bzw. über den aktuellen Bestand oder Erfahrungswerte ähnlicher Situationen bieten gute Vergleichswerte. Beispielsweise kann bei gesundheitlichen Auswirkungen oder Hochwasserereignissen häufig auf Statistiken zurückgegriffen werden. Hierbei wird z. B. die Bedeutung einer Verringerung eines Hochwassers betrachtet, indem die Häufigkeit und Stärke früherer Hochwasserereignisse herangezogen wird. In einigen Fällen kann auch ein „worst case“-Szenario von Nutzen sein, bei dem der maximale Schaden bzw. Nutzen festgelegt wird. Im Bereich Flora und Fauna muss zumeist auf Erfahrungswerte und vorhandene fachspezifische Studien zurückgegriffen werden.

- **Befragungen (nicht-monetär)**

Ebenso wie auch bei den monetären Ansätzen können Befragungen durchgeführt werden. Die Daten werden allerdings nicht als direkte Kosten in Geldeinheiten erhoben, sondern man fokussiert auf die Bedeutung und Wichtigkeit einer Auswirkung für den Befragten (z. B. anhand einer Punkteskala). Dabei ist im sozialen Bereich das Maß der persönlichen Wertschätzung besonders bedeutend. Um eine befriedigende Datenmenge für einen stabilen Vergleich und für die Bewertung zu bekommen, müssen allerdings ausreichend Befragungen mit einem möglichst detailliert ausgearbeiteten Fragebogen durchgeführt werden, was sich oft aus Zeitgründen als nicht praktikabel erweist.

- **Vor-Ort-Analysen**

Als Vergleichswerte von Datenerhebungen vor Ort können Berechnungen (z. B. Grundwasserabsenkung) oder Erfahrungen von anderen Kraftwerken herangezogen werden. Dieses Verfahren kommt meist im ökologischen Bereich zum Einsatz, wobei oft auf Indikatoren zu-

rückgegriffen wird. Für die Auswertung können in der Regel Simulationen oder Modellierungen am Computer zur Hilfe genommen werden.

4.3 Erfassungs- und Quantifizierungsansätze von externen Effekten der Laufwasserkraft

Das Spektrum der erörterten Erfassungs- und Quantifizierungsansätze zeichnet sich durch große Unterschiede in der Genauigkeit und Praktikabilität in der Praxis aus. Im Folgenden wird eine Übersicht über die im Kontext dieser Arbeit am wichtigsten erscheinenden vorhandenen Ansätze aus der ingenieurwissenschaftlichen Literatur gegeben. Ziel ist es, für alle in Tabelle 3.2 genannten Effekte mögliche Quantifizierungs- und Erfassungsansätze monetärer und nicht-monetärer Art vorzustellen. Eine weiter untergliederte Betrachtung nach Aspekten, wie z. B. Wirkungszeit und Wirkungsbereich, ist in diesem Fall zunächst einmal nicht erforderlich, weil die Erfassung der Effekte an sich auf dem gleichen Verfahren beruht.

Generell fällt bei der Zusammenstellung der vorhandenen Literatur auf, dass zu einigen externen Effekten zahlreiche Untersuchungen und Vorschläge existieren, während andere Effekte in der Literatur bislang kaum oder gar nicht diskutiert worden sind. So sind einige Auswirkungen wie die Luftverschmutzung, der Hochwasserschutz und der Freizeitwert bereits sehr detailliert betrachtet worden, bei anderen Auswirkungen besteht jedoch noch ein Defizit insbesondere im Hinblick auf eine nicht-monetäre Bewertung.

Da bisher ein Literaturüberblick zu dieser Thematik fehlt, sollen die in diesem Abschnitt herausgearbeiteten Ansätze einen ersten Ausgangspunkt zur Konzeption einer tatsächlich durchzuführenden Bewertung sein. In Tabelle 4.1 werden zu diesem Zweck mögliche Quantifizierungsansätze im Überblick dargestellt, wobei teilweise auf entsprechende Literaturstellen mit zusätzlichem Datenmaterial verwiesen wird.

Aufbauend auf den hier dargestellten Ansätzen zur Erfassung und Quantifizierung der einzelnen externen Effekte werden in Kapitel 5 dann Ansätze zu einer integrierten Betrachtung aller von einem Projekt oder einer bestehenden Anlage ausgehenden externen Effekte vorgestellt.

Tabelle 4.1: Erfassungs- und Quantifizierungsansätze aller externen Effekte

	nicht-monetär			monetär
	Statistik/Erfahrungswerte	Befragungen	vor-Ort-Aufnahme	
E1	Wassermanagement			
E1.1	Hochwasser	<p>vorangegangene Hochwasserereignisse [m³/s] im Vergleich zur verringerten oder erhöhten Abflussmenge;</p> <p>Anzahl von Verletzten, Todesfällen, Verbreitung von Erregern, geschädigten Menschen usw.;</p> <p>Häufigkeit bzw. Jährlichkeit [1/a] des Hochwasservorkommens;</p> <p>Auswertung von Schadensunterlagen von Behörden (Preisbeispiele: Keller überflutet: ca. € 260,- je Gebäude; Wohngeschoss überflutet: ca. € 1.300,- je Gebäude...)</p> <p>[DVWK 1985].</p>	<p>Entfernung [m] und Anzahl der Gebäude oder genutzten Flächen (Ackerland, Fußballplatz...);</p> <p>beeinflusste Hochwassermenge [m³/s], evtl. Computermodellierung zur Ausweisung der Überschwemmungsflächen, Größe der Fläche maßgeblich [m²]; Berechnung der zurückgehaltenen Jährlichkeit [1/a];</p> <p>Anzahl der betroffenen Lebewesen (Menschen, Tiere, Pflanzen);</p> <p>Änderung der Fließgeschwindigkeit [m/s];</p> <p>Art der betroffenen Fläche wie besondere Habitatgebiete oder geschützte Gebiete (beispielsweise Auen);</p> <p>Hochwasserschutzwirkung unter Einbeziehung von verhinderten Schäden.</p>	<p>bei Verletzten oder Kranken: Ansatz über Produktionsausfall und Kosten für die Wiederherstellung der Gesundheit (Krankenhaus-, Arzt-, Arztnemittel- und Rehabilitationskosten) [DVWK 1985];</p> <p>vermeidene Kosten für die Allgemeinheit, die für eine Verbesserung der Hochwassersituation (bauliche Maßnahmen und Vorsorgemaßnahmen wie Vorhalten von Sandsäcken oder Feuerwehreinsätze) auftreten könnten;</p> <p>Kosten für Aufforstung und Schaffung von Ersatzlebensräumen;</p> <p>Kosten für Schäden an Gebäuden oder sonstigen Gegenständen;</p> <p>Schadensermittlung über Flächenbeziehungen mit entsprechender Nutzung, Angabe des spezifischen Schadens pro Flächeneinheit, z. B. bei landwirtschaftlichen Nutzflächen [Lange & Lecher 1993];</p> <p>Bodenwertänderungen: Wertminderung durch zusätzliche Überschwemmungsgebiete; Wertsteigerung durch neue Einsatzbereiche ursprünglich überfluteter Flächen z. B. als Ackerland oder zur Freizeitnutzung; Untersuchungen an der Emmepe-Talsperre [Tegmeier 1986] zeigen, dass ein um ein Drittel verringerter Hochwasserspitzenabfluss das Überschwemmungsgebiet näherungsweise um ein Drittel verringert;</p>

Tabelle 4.1: Erfassungs- und Quantifizierungsansätze aller externen Effekte (Fortsetzung)

	nicht-monetär			monetär
	Statistik/Erfahrungswerte	Befragungen	vor-Ort-Aufnahme	
Hochwasser (Fortsetzung)				Minderung der Wohnqualität über hedonische Preisanalyse; etliche, recht umstrittene Ansätze für den „Wert“ eines menschlichen Lebens bei Todesfall: Methoden wie Value of Statistical Life und Years of Life Lost [Hohmeyer 2004]; Kostenwerte für Years of Life Lost und Krankheiten [Friedrich & Bickel 2001]; „Kostenwert“ eines Verkehrstoten mit Einbeziehung des Produktionsausfalls für die Wirtschaft [Bülle 1975]; ebenfalls auf dem Verkehrssektor: Todesopfer durch Barwert der Summe der getätigten Ausgaben wie Ausbildung und Lebenshaltung [Günther et al. 1981].
E1.2 Grundwasser	Abschätzung der Auswirkungen auf betroffene Gebäude im Vergleich zu ähnlichen Situationen.		Menge und Anzahl der betroffenen Pflanzen und evtl. Auengebiete; Entfernung, Anzahl und Nutzungsart der Gebäude; Lage auf Trinkwasserentnahmegebiet überprüfen.	Kosten für Gebäudeinstandsetzungen; evtl. Reinigung des Trinkwassers [Schönböck et al. 1997].
E1.3 Gewässergüte	Gewässergüteveränderungen an vergleichbaren Standorten und Situationen.	Bedeutung der besseren Wasserqualität.	Nutzung des Gewässers als Badensee überprüfen, z. B. Sichttiefe mind. 1 m [Steinberg et al. 2002]; Menge und Anzahl der betroffenen Pflanzen; Änderung der Gewässertiefe [m]; Verringerung der Sättigungskonzentration [mg O ₂ /l], z. B. von 9,7 auf 8,8 mg O ₂ /l bei einer Erhöhung der Wassertemperatur von 6°C auf 10°C (bei 2.000 m NN) [Forstentechner et al. 1997];	Ist die Gesundheit betroffen, können die Krankheitskosten als Bewertung herangezogen werden.

Tabelle 4.1: Erfassungs- und Quantifizierungsansätze aller externen Effekte (Fortsetzung)

	nicht-monetär			monetär
	Statistik/Erfahrungswerte	Befragungen	vor-Ort-Aufnahme	
Gewässergüte (Fortsetzung)			Gewässergütemodelle, in Deutschland meist bei größeren Einzugsgebieten eingesetzt, zur Simulierung von Wassertemperatur, Sauerstoffgehalt bzw. biochemischem Sauerstoffbedarf [Pflüger 1988]; Saprobienindex nach Liebmann beurteilt nicht nur die Wasserqualität, sondern auch den allgemeinen Zustand des Gewässers, ist allerdings nicht leicht messbar, sondern muss im Labor aufwendig bestimmt werden [Tegtmeier 1986].	
E1.4 Mindestwasser	vorhandene Daten über Lebensraumansprüche von Fischen und anderen Lebewesen, in der Schweiz bereits für ca. 60 Fischarten ermittelt [Forstenlechner et al. 1997].		Anzahl der betroffenen Pflanzen oder Lebewesen; Länge [m] der betroffenen Gewässerstrecke; Habitat- und Abflussmodellierungen z. B. mit CASIMIR ([Schneider 2001] und [Jorde 1996]).	
E2 Gewässerstruktur				
E2.1 Morphologie	Abriebproblematik durch fehlenden Geschiebe anhand Erfahrungen an anderen Flüssen (z. B. Rhein).		Menge der zurück gehaltenen und damit unterhalb des Kraftwerks fehlenden Sedimente bzw. Menge der Sedimentzugabe; Veränderung der Strömungsdiversität, der Tiefenvarianz, des Strömungsbildes, der Profiltiefe und der Breitenvarianz [Träbing 1996]; Defizite beim Makrozoobenthos lassen massive morphologische Eingriffe erkennen [Forstenlechner et al. 1997];	Kosten für Sedimentzugabe.

Tabelle 4.1: Erfassungs- und Quantifizierungsansätze aller externen Effekte (Fortsetzung)

	nicht-monetär			monetär
	Statistik/Erfahrungswerte	Befragungen	vor-Ort-Aufnahme	
Morphologie (Fortsetzung)			ökomorphologischer Zustand ganzer Gewässersysteme anhand eines vorgegebenen Schemas, das Breiten und Tiefen von Gewässerquerschnitten und deren Variabilität, Abstürze, Verrohrungen, Verklausungen, Linienführung, Feststoffe, Ufer und Umland betrachtet [EAWAG & BUWAL 1995].	
E2.2	Wasserspiegelschwankung		Anzahl der betroffenen Pflanzen bzw. Lebewesen; Absenkgeschwindigkeit [m/s], Häufigkeit [1/d] und Wasserspiegeldifferenz [m] der Schwankungen, z. B. Rückgang der gestrandeten Fische bei Verringerung der Geschwindigkeit auf kleiner 10 cm/h [Halleraker et al. 2003].	
E2.3	Geschiebe- und Schwebstoffhaushalt		Anzahl der betroffenen Pflanzen bzw. Lebewesen; Verhältnis alte/neue Fließgeschwindigkeit bzw. Schubspannungsgeschwindigkeit in Bezug auf zu transportierendes Material [Forstenlechner et al. 1997].	
E3	Lebensraum/Umfeld			
E3.1	Beeinflusste Gewässerstrecke	vorhandene Daten über Lebensraumansprüche von Fischen und anderen Lebewesen, in der Schweiz bereits für ca. 60 Fischarten ermittelt [Forstenlechner et al. 1997].	Habitat- und Abflussmodellierung s. E1.4; Länge der beeinflussten Gewässerstrecke [m], Art und Größe der Veränderung gegenüber dem natürlichen Abfluss [Forstenlechner et al. 1997].	

Tabelle 4.1: Erfassungs- und Quantifizierungsansätze aller externen Effekte (Fortsetzung)

	nicht-monetär			monetär
	Statistik/Erfahrungswerte	Befragungen	vor-Ort-Aufnahme	
E3.2	Fischbestand		Anzahl und Art der eingesetzten Fische.	Einnahmen durch Fischzucht.
E3.3	Durchgängigkeit	Vergleichsdaten funktionierender Anlagen, z. B. Fischpass Iffezheim, an dem innerhalb 1,5 Jahren 33 Fischarten nachgewiesen werden konnten [Heimerl et al. 2002].	Anzahl der betroffenen Fische; Überprüfung der Funktionstüchtigkeit der Fischaufstiegsanlage, bei voller Funktionstüchtigkeit ist eine sehr geringe Beeinträchtigung zu erwarten.	
E3.4	Gewässerrandstreifen	Erfahrungswerte von Tierverhalten in Bezug auf Pflanzen als Nahrung oder Unterschlupf.	Menge der notwendigen Pflege des Gewässerrandstreifens, unterschiedlich bei Sträuchern, Bäumen oder Gras; Anzahl und Arten der Neuanpflanzungen.	
E4	Raumnutzung			
E4.1	Flächenbedarf		Größe der ansonsten beplantzten bzw. bewohnbaren Fläche [m ²]; Unterscheidung nach Nutzungsanspruch.	
E4.2	Überflutungsflächen		fehlender Schutz über die Größe der Fläche [m ²]; Größe der Fläche der Au Landschaft [m ²].	
E4.3	Landschaftsbild		Störung des Landschaftsbilds für Anwohner und Naherholungssuchenden [Blaas & Hlava 1990].	
E4.4	Gewässerschutz/ Bewuchspflege		Landschaftsästhetischer Wert.	Kosten [€ bzw. €/m Gewässerslänge] des Betreibers für Pflege des Gewässerrandstreifens und des Gewässers selbst.

Tabelle 4.1: Erfassungs- und Quantifizierungsansätze aller externen Effekte (Fortsetzung)

	nicht-monetär			monetär
	Statistik/Erfahrungswerte	Befragungen	vor-Ort-Aufnahme	
E4.5	Ökologische Ausgleichsflächen	Bedeutung einer ökologischen Ausgleichsfläche für die Bevölkerung.	Größe der Ausgleichsfläche [m ²].	
E4.6	Verkehr/Infrastruktur	Nutzung der zusätzlichen Strecken und mögliche Zeitersparnis.	Zeitersparnis in [h] und Anzahl der Personen und Güter [Bülte 1975]; Lage der neu geschaffenen und erhaltenen Straßen; Überprüfung auf neue Infrastrukturmaßnahmen.	Kosteneinsparung durch Zeitersparnis, z. B. ca. 6-13 € pro Stunde und Person [INFRAS/ECONCEPT/PROGNOS 1996].
E4.7	Freizeitnutzung	Interesse an Möglichkeiten der Freizeitnutzung.	Unterscheidung nach Tages-, Wochenend- und Fernerholung [Tiedt 1992]; Zählungen der Besucher.	Reisekostenmethode (s. [Hostmann 2000] und [Endres & Holm-Müller 1998]); Ausgabenverhalten über ausflugsbezogene Gesamtausgaben wie z. B. Eintritts- oder Benutzungsgebühren, was dem Wert eines Ausflugs gleichgesetzt wird [Maniak 2001]; Attraktivität durch Freizeit-gravitationsmodell [Tiedt 1992].
E5	Treib- und Betriebsstoffe			
E5.1	Treib- und Hilfsstoffe		Menge der verbrauchten Treib- bzw. Hilfsstoffe [kg/a oder l/a].	CO ₂ -Schadenskosten zwischen 1,1 und 27 €/t CO ₂ .
E5.2	Betriebsstoffe		Menge [kg/a oder l/a] und Art der verwendeten Betriebsstoffe.	
E6	Reststoffe			
E6.1	Rechen- und Schwemmgut	positiver Eindruck durch Entnahme.	Menge des entnommenen Gutes [m ³ oder t].	Entsorgungskosten des Treibguts, die evtl. andere tragen müssten.

Tabelle 4.1: Erfassungs- und Quantifizierungsansätze aller externen Effekte (Fortsetzung)

	nicht-monetär			monetär
	Statistik/Erfahrungswerte	Befragungen	vor-Ort-Aufnahme	
E6.2	Zivilisationsmüll	Störungen durch Müll und positiver Eindruck durch Entnahme.	Menge des entnommenen Mülls [m ³ oder t].	Entsorgungskosten des Mülls, die evtl. andere tragen müssten.
E6.3	Ausgehobener Boden		Menge [m ³] der hochwertigen Baustoffe Sand und Kies; Menge [m ³] des zur Verfügung stehenden Bodens und Wiedereinbaumöglichkeiten.	
E7	Transport			
E7.1	Fuhrpark/Materialversorgung		jährliche Nutzungsdauer [h] bzw. gefahrene Streckenkilometer [km] und die dabei ausgestoßene Menge an Abgasen [kg CO ₂].	CO ₂ -Schadenskosten zwischen 1,1 und 27 €/t CO ₂ .
E7.2	Energieableitung	Störung durch Nähe der Hochspannungsleitungen.	Verhältnis der Anzahl der in direkter Umgebung der Leitung lebenden Personen zu abgegebener Spannung bzw. Anzahl der Hochspannungsleitungen.	
E8	Personal			
E8.1	Personalstand	Bedarf an Arbeitsplätzen und vorhandenes Arbeitnehmerpotential.	abgeschätzte oder tatsächliche Anzahl der benötigten/vorhandenen Mitarbeiter unter Einbeziehung der Überlegung, wie viel Fachpersonal notwendig ist (kann jemand aus der Region eingestellt werden); Überprüfung der Arbeitslosensituation.	Einsparungen des Arbeitslosengelds.
E9	Schifffahrt			
E9.1	Schiffbarkeit		Menge [t/a] der auf dem Fluss transportierten Güter.	Einnahmenverlust [Schönböck et al. 1997].

Tabelle 4.1: Erfassungs- und Quantifizierungsansätze aller externen Effekte (Fortsetzung)

	nicht-monetär			monetär	
	Statistik/Erfahrungswerte	Befragungen	vor-Ort-Aufnahme		
E9.2	Schiffbarmachung		Menge [t/a] der auf dem Fluss transportierten Güter.	Einnahmезugewinn [Schönbäck et al. 1997].	
E10	Emissionen				
E10.1	Abwärme	Erfahrungswerte über das Verhalten von Tieren, die einem gewissen Ausmaß an Abwärme ausgesetzt sind.	Störung durch Abwärme.	Anzahl und Art der betroffenen Tierarten.	
E10.2	Lärm	zumutbare Lärmerhöhung.	Störung durch Lärmbelästigung.	Stärke [dB(A)] und Dauer [h] der Lärmbelästigung, Anzahl der betroffenen Personen und Lebewesen [Hauenstein et al. 1999]; Abstand [km] und Intensität; Quantifizierung über Immissions-szenario unter Einbeziehung des Abstands zwischen Lärmquelle und der nächsten Wohnbebauung basierend auf dem Entfernungs-gesetz für Strahlung [Schrenk 2005].	hedonische Preisanalyse über Minderung durch Lärmbelästigung [Endres & Holm-Müller 1998].
E10.3	Erschütterungen		Überprüfung auf Körperschall.	Stärke und Dauer [h] der Vibrationen; Anzahl der betroffenen Personen und Lebewesen.	
E10.4	Luftschadstoffe			Materialverbrauch bzw. Art der Schadstoffe; Anzahl der betroffenen Lebewesen; Menge der eingesparten Schadstoffe. Dieselöl für Baumaschinen: ca. 9g/(kWh/a) während der Bauzeit [Hauenstein et al. 1999].	CO ₂ -Schadenskosten zwischen 1,1 und 27 €/t CO ₂ ; Klimafolgekosten durch Wasserkraft auf 0,72 bis 12,34 ct/kWh geschätzt [Hohmeyer 2004]; Kosten für Erkrankungen der Atmungsorgane durch Luftverschmutzung ca. 0,7 Milliarden €/a [Wicke 1993].

Tabelle 4.1: Erfassungs- und Quantifizierungsansätze aller externen Effekte (Fortsetzung)

	nicht-monetär			monetär
	Statistik/Erfahrungswerte	Befragungen	vor-Ort-Aufnahme	
E11 Energie- und Rohstoffverbrauch				
E11.1			Menge der benötigten Baustoffe.	Kosten für benötigte Baustoffe.
E11.2			Menge der benötigten Energie.	
E12 Öffentlichkeit				
E12.1		Interessenslage an einem Besuch des Kraftwerks.	Anzahl möglicher Alternativen, also ähnliche Kraftwerke, bei speziellen Anlagen größeres Interesse zu erwarten.	
E12.2	Tourismus/ Naherholung	Naherholungs- und Urlaubswert; Zahlungsbereitschaft (willingness to pay).	Anzahl der Kunden und der Menge des Geldes; Dauer der Nutzung [h] und Entfernung vom Wohnort [km], z. B. bei einem Rundweg am Ufer eines Speichers wurde festgestellt, dass Einwohner im Umkreis von 15 km ca. 10 Besuche pro Person und Jahr erfolgen, die ca. 5 h dauern, wohingegen Einwohner im Umkreis von 30 km ca. 6 Mal pro Jahr eine Dauer von 10 h verbringen [Tegtmeyer 1986].	Aufwendungen wie z. B. Fahrtkosten, Konsum am Ausflugsziel, Unterkunftunft zeigt den monetären, individuellen Vorteil für die Möglichkeit der Ausübung wasserbezogener Erholung [Schumann et al. 2000].
E12.3	Allg. öffentliche Darstellung	Bedeutung der Anwohner für die öffentliche Darstellung ihrer Region; Ermittlung des Wissensstands und des Interesses an der Wasserkraft.		

Tabelle 4.1: Erfassungs- und Quantifizierungsansätze aller externen Effekte (Fortsetzung)

	nicht-monetär			monetär
	Statistik/Erfahrungswerte	Befragungen	vor-Ort-Aufnahme	
E13 Investitionen				
E13.1	Erhöhung der Kaufkraft		Vergleich der Wirtschaftslage vor Baubeginn; bei projektierten Anlagen muss eine Abschätzung einer möglichen Erhöhung im Bezug auf die momentane Situation, die beispielsweise in Stadtnähe geringer sein kann als im ländlichen Bereich, und die Projektgröße erfolgen.	Erfassung der Geldmenge; Beitrag zum Individualnutzen, BSP und regionalen Einkommen, z. B. gemittelt über 20 Jahre an der Glör-talsperre für auswärtige Besucher ca. 40.000 €/a, was hochgerechnet auf 80 a Betriebsdauer mit einem Zinssatz von 3 % eine Summe von ca. 1,1 Mio. € ergibt [Schumann et al. 2000].
E13.2	Zusätzlicher Verdienst	Entwicklung des Fremdenverkehrs an bestehenden Projekten.	Vergleich der Wirtschaftslage vor dem Bau der bestehenden Anlage; bei projektierten Anlagen muss eine Abschätzung einer möglichen Erhöhung im Bezug auf die momentane Situation, die beispielsweise in Stadtnähe geringer sein kann als im ländlichen Bereich, und die Projektgröße erfolgen.	Höhe des zusätzlichen Verdienstes.

5 Allgemeine Verfahren zur Integration externer Effekte in den Entscheidungsprozess

Wie in Kapitel 2 beschrieben, berücksichtigen die Unternehmen in ihrem Optimierungskalkül nur ihre eigenen Produktionskosten, nicht aber die gesamten volkswirtschaftlichen Kosten, wodurch suboptimale Produktionsentscheidungen getroffen werden. Externe Effekte gehen also nur dann in die Entscheidungen der Unternehmen ein, wenn diese durch einen der in Abschnitt 2.2 beschriebenen Ansätze angehalten sind, negative externe Effekte zu internalisieren oder die Chance haben, den Ertrag positiver externer Effekte für sich zu realisieren. Sowohl bei Entscheidungen zwischen unterschiedlichen Formen der Energieerzeugung als auch zwischen unterschiedlichen Alternativen, z. B. bezüglich des Wasserkraftwerktyps, kann und wird häufig nur ein geringer Teil der in Kapitel 3 spezifisch für Laufwasserkraftwerke aufgeführten möglichen externen Effekte formal im Entscheidungsprozess berücksichtigt.

In diesem Kapitel werden einige Bewertungsverfahren vorgestellt, die eine Integration externer Effekte in das Optimierungskalkül und insofern eine umfassende, gesamtwirtschaftliche Bewertung erlauben. Wichtig ist dabei, dass die Bewertungsverfahren einen relativen Vergleich der unterschiedlichen Alternativen ermöglichen, d. h. entweder in monetären Einheiten oder prozentual. Aus der Volkswirtschaft bekannte Verfahren der Nutzen-Kosten-Untersuchungen wie die Kosten-Nutzen-Analyse, die Nutzwertanalyse oder die Kosten-Wirksamkeits-Analyse sind in solchen Fällen gute Instrumente zur Bewertung und zur Entscheidungsfindung. Die Bewertung erfolgt hierbei entweder monetär (in Geldeinheiten) oder über eine Verhältnisanalyse (z. B. Punktesystem).

Die drei oben genannten wichtigsten Verfahren zur Entscheidungsfindung werden in den folgenden Abschnitten näher erläutert und auf ihre Anwendbarkeit bei der Bewertung der externen Effekte hin überprüft. Die Probleme bei der praktischen Anwendung jedes einzelnen Verfahrens werden zusätzlich anhand von Fallbeispielen aufgezeigt.

5.1 Verfahrensübergreifende Anforderungen und Aspekte

5.1.1 Anforderungen

Um vielseitig einsetzbar zu sein, sollte ein Bewertungsverfahren folgende Anforderungen erfüllen:

- **Systematische Datenerfassung**

Alle relevanten Daten und die durchgeführte Bewertung müssen transparent und übersichtlich dargestellt sein, was zum einen die Datenerhebung vereinfacht sowie zum anderen durch die leichte Nachvollziehbarkeit der Bewertung die Entscheidungsfindung erleichtert. Dies ist besonders bei einer nicht-monetären Bewertung von großer Bedeutung.

- **Allgemeingültigkeit des Verfahrens**

Das Verfahren sollte möglichst allgemein gültig sein, um zu vermeiden, dass bei der Betrachtung unterschiedlicher Varianten bzw. mehrerer Projekte Anpassungen vorgenommen werden müssen, die das Verfahren modifizieren und dadurch spätere Vergleiche erschweren.

- **Doppelerfassungen der Auswirkungen vermeiden**

Doppelzählungen einzelner Auswirkungen müssen vermieden werden. Dies ist bei der Erfassung und Bewertung von externen Effekten mit Schwierigkeiten verbunden, da viele Auswirkungen miteinander verknüpft sind. Werden doppelt bewertete Kriterien gefunden, müssen sie eliminiert, eingengt oder schärfer abgegrenzt werden [Rinza & Schmitz 1992].

- **Umgang mit Datenunsicherheiten**

Besonders bei geplanten Maßnahmen, aber auch im Zuge der Datenaufnahme bei vorhandenen Anlagen sind die erhobenen Daten meist mit Unsicherheiten behaftet. Die Ursachen dafür können z. B. Fehler bei der Erfassung oder unvorhersehbare Änderungen der Randbedingungen sein. Das Wissen um diese Unsicherheiten muss bei der Entscheidungsfindung immer berücksichtigt werden. Im Anschluss an jede Bewertung bietet sich daher die Durchführung einer Sensitivitätsanalyse an, welche die Veränderung der Ergebnisse durch Variation der unsicheren Parameter aufzeigt.

- **Präzise räumliche und zeitliche Erfassung der Aspekte**

Der Wirkungsrahmen jedes einzelnen Effekts bzw. eines gesamten Projekts sollte möglichst präzise räumlich und zeitlich festgelegt werden. Für ein valides Ergebnis ist eine möglichst genaue Bewertung unverzichtbar, da den Zeit- und Ortsfaktoren eine wichtige Rolle zukommen.

5.1.2 Vorgehensweise

Die drei alternativen Bewertungsverfahren, die in Abschnitt 5.2 vorgestellt werden, unterscheiden sich zwar in Bezug auf die Bewertung, folgen ansonsten aber einer grundsätzlich ähnlichen Vorgehensweise, die im Folgenden dargestellt wird:

1. Datenaufnahme und Darstellung der Daten

Üblicherweise erfolgt die systematische Datenerfassung und -darstellung als Matrix oder in Tabellenform. Bereits bei der Datenaufnahme aller relevanten Informationen sollte die Skalierung der Daten beachtet werden. Beispielsweise kann bei der Erhebung anhand von Fragebögen die Skalierung der erlangten Daten bereits durch die Vorgaben der Wahlmöglichkeiten einfließen.

2. Skalierung der Daten bei nicht-monetär erfassten Eingangsgrößen

Die Eingangsgrößen können entweder in Zahlen (quantitativ), wie z. B. in Geldwerten oder auch Flächeneinheiten oder in Worten (qualitativ), wie z. B. als „starke Verbesserung“ oder „leichte Verschlechterung“, beschrieben werden. Diese Unterscheidung ist bei der Bewertung von großer Wichtigkeit, da ein Vorhaben immer anhand multipler Kriterien bewertet werden muss, wobei vor allem die Zusammenfassung von quantitativen und qualitativen Kriterien Schwierigkeiten bereitet.

Für die Darstellung statistischer Größen können verschiedene Skalen (s. a. Tabelle 5.1) verwendet werden [Froböse & Kaapke 2003]. Man unterscheidet hierbei zwischen den Folgenden:

- **Nominalskala**

Ein nominalskaliertes Merkmal hat eine endliche Anzahl an festgelegten und unterscheidbaren Ausprägungen, wobei lediglich unterschieden werden kann, ob Merkmale gleich sind oder nicht. Der Informationsgehalt ist daher am geringsten.

- **Ordinalskala**

Wenn ein Merkmal festgesetzten Werten zugeordnet werden kann, die nicht nur die Verschiedenheit, sondern auch eine Reihenfolge zum Ausdruck bringen, liegen ordinalskalierte Variablen vor. Allerdings sind keine Aussagen über den Abstand der einzelnen Ergebnisse möglich. Daher dürfen mit ordinalskalierten Werten keine Rechenoperationen durchgeführt werden. Ein Beispiel hierfür ist das Merkmal „Rangfolge“.

- **Kardinalskala**

Kann man ein Merkmal sowohl nach Verschiedenartigkeit, Reihenfolge sowie anhand mess- und quantifizierbarer Unterschiede unterscheiden, spricht man von einer Kardinalskala. Eine Kardinalskala ist eine metrische Skala, die das Addieren und Subtrahieren der Werte erlaubt und sie damit objektiv vergleichbar macht.

Die Kardinalskala kann weiter unterteilt werden in eine Intervall-, Verhältnis- und Absolutskala. Die **Intervallskala** besitzt keinen natürlichen Nullpunkt und keine natürliche Maßeinheit. Hierbei werden Abstände bzw. Differenzen zwischen den Merkmalswerten gemessen. Bei der **Verhältnisskala** können zudem Quotienten betrachtet werden. Diese Skala besitzt einen natürlichen Nullpunkt, aber keine natürliche Maßeinheit. Sinnvoll ist hier die Angabe von Verhältnissen, z. B. Größenverhältnissen. Weist eine Skala zusätzlich zum natürlichen Nullpunkt eine natürliche Maßeinheit auf, nennt man diese eine **Absolutskala**. Sie stellt damit die höchstwertige Skala dar.

In Tabelle 5.1 ist ein Überblick über die oben aufgeführten Möglichkeiten der Skaleneinteilung in Verbindung mit deren theoretischen Grundlagen (in Form der mathematischen Eigenschaften der einzelnen Messwerte) gegeben. Hierbei können die Variablen A, B und C beispielsweise unterschiedliche Varianten oder verschiedene betrachtete Objekte darstellen. Zur weiteren Erklärung der unterschiedlichen Skalendarstellungen sind hier zusätzlich Beispiele aus dem Bereich der Wasserkraft aufgeführt.

Generell kann ein höherwertig skaliertes Merkmal in eine darunter liegende Skala transformiert werden, aber nicht umgekehrt. Je höherwertig eine Skala ist, umso breiter ist das Spektrum der zulässigen statistischen Analyseverfahren.

Tabelle 5.1: Skalen und ihre Messwerteeigenschaften (nach [Berekoven et al. 2004])

Zunahme des Informationsgehalts	Nicht-metrische Daten	Skala	Mathematische Eigenschaften der Messwerte	Beschreibung der Messwerteeigenschaften	Beispiele
		Nominalskala	$A = A \neq B$	Klassifikation: Die Messwerte zweier Untersuchungseinheiten sind identisch oder nicht identisch.	Zweiklassig: Laufwasserkraftwerkstyp (Fluss-/Ausleitungskraftwerk) Mehrklassig: Klassifizierung der Wasserkraft nach Fallhöhe (Hoch-/Mittel-/Niederdruckkraftwerk)
		Ordinalskala	$A > B > C$	Rangordnung: Messwerte lassen sich auf einer Merkmalsdimension als kleiner/größer/gleich einordnen.	Reihenfolge: Fischaufstiegsanlage ist: - voll funktionstüchtig - nur bei einem Abfluss Q größer dem mittleren Abfluss des Gewässers MQ funktionstüchtig - nicht funktionstüchtig Präferenz- und Urteilsdaten: Kraftwerksgestaltung 1 gefällt besser/gleich/weniger als Kraftwerksgestaltung 2
Metrische Daten	Kardinalskala	$A > B > C$ und $A - B = B - C$ (Intervallskala) bzw. $A = x \cdot B$ (Verhältnis- bzw. Absolutskala)	Rangordnung und Abstandsbestimmung bei Intervallskala: Die Abstände zwischen Messwerten sind gleich groß. Absoluter Nullpunkt bei Verhältnis- bzw. Absolutskala: Neben Abstandsbestimmung können auch Messwertverhältnisse berechnet werden.	Intervallskaliert: Wassertemperatur Verhältnisskaliert: Fließgeschwindigkeit Absolutskaliert: Geldeinheiten	

3. Bewertung

Die analytische Bewertung besteht aus zwei Teilen, wobei zunächst jedes Kriterium einzeln bewertet (s. Kapitel 4) und danach die Gesamtbewertung aus den Einzelbewertungen ermittelt wird [Hoffmeister 2000]:

1. Ermittlung der Einzelwerte pro Kriterium (Zielerreichungsgrad)
2. Zusammenfassung der Zielwerte zum Gesamtwert (Nutzwert)

4. Gewichtungsmatrix bei nicht-monetär erfassten Eingangsgrößen

Grundlegend für das Bewertungsverfahren ist die prinzipielle Gewichtung der einzelnen Effekte. Durch diese Gewichtung, die generell bei einer Nutzwertanalyse und einer Kosten-Wirksamkeits-Analyse notwendig ist, wird die Bedeutung jedes Einzeleffekts im Gesamtzusammenhang aufgezeigt.

Generell empfiehlt sich bei allen Verfahren die Durchführung einer Sensitivitätsanalyse zur Plausibilitätskontrolle, um den Einfluss der Gewichtungen und Bewertungen auf das Ergebnis zu verdeutlichen. Diese Methodik hilft, zum einen den Unsicherheiten des vorhandenen Datenmaterials und zum anderen der individuellen Bewertung und Gewichtung Rechnung zu tragen und abzuschätzen, welchen Einfluss sie auf das Bewertungsergebnis haben. Durch die Variation einzelner Faktoren kann ein Wertebereich angegeben werden, in dem sich der wahre Wert mit hoher Wahrscheinlichkeit befindet. Dies ist vor allem dann notwendig, wenn über die Bewertung einzelner Größen Unklarheit herrscht. Je größer der Wertebereich, den eine Sensitivitätsanalyse ermittelt, desto unsicherer ist die Aussagekraft des Bewertungsergebnisses und umso weniger ist dieses als Entscheidungshilfe nutzbar. Wenn diese Unsicherheiten mittels einer Sensitivitätsanalyse nicht nur für den Bearbeiter, sondern auch für die Entscheidungsträger und die Öffentlichkeit transparent dargelegt werden können, werden so von vornherein einige mögliche Kritikpunkte am Ergebnis des Bewertungsverfahrens ausgeschlossen.

5.2 Überblick über die wichtigsten Bewertungsverfahren

Nachdem in Abschnitt 5.1 die verfahrensübergreifenden Vorgehensweisen relativ theoretisch dargestellt wurden, folgt nun die Darstellung der einzelnen Verfahren unter Berücksichtigung ihrer jeweiligen Besonderheiten, die an praktischen, wasserkraftspezifischen Beispielen näher erläutert werden.

Es soll auch verdeutlicht werden, dass jedes Bewertungsverfahren und jede Skalierung der Daten spezifische Schwächen aufweist. Dies bedeutet jedoch keinesfalls, dass das jeweilige Verfahren unbrauchbar sein muss. Bei der Beurteilung der Aussagekraft der Ergebnisse ist es jedoch unumgänglich, sich mit den Schwächen des verwendeten Verfahrens vertraut zu machen, um so falsche Ergebnisdarstellungen und -interpretationen möglichst zu vermeiden.

Während dieses Abschnitts soll bereits verdeutlicht werden, inwieweit das jeweilige Verfahren für die Bewertung von externen Effekten im allgemeinen und speziell für die externen Effekte der Laufwasserkraftnutzung einsetzbar ist. Für die Betrachtung der externen Effekte im allgemeinen ist jedem Verfahren ein Abschnitt zu bereits vorhandenen Einsatzmöglichkeiten gewidmet. Die Problematik der einzelnen Verfahren wird in diesem Abschnitt soweit möglich anhand eines konkreten Beispiels, des Kraftwerks Tannheim, veranschaulicht.

Das Ausleitungskraftwerk Tannheim liegt an der oberen Iller und wurde 1923 gebaut. Es weist somit bislang bereits eine Betriebszeit von über 80 Jahren auf. Im Zuge des Kanalbaus wurden nahezu gleichzeitig drei Kraftwerke an dem Ausleitungskanal errichtet. Zusätzlich gehören zur Kraftwerkskette der oberen Iller ein Flusskraftwerk und ein Kleinwasserkraftwerk, das das Mindestwasser zur Energieerzeugung nutzt.

Das Kraftwerk Tannheim erbringt mit einer Ausbaufallhöhe von 15,8 m und einem Ausbaubfluss von 100 m³/s eine Leistung von 12,4 MW. Jährlich können somit durchschnittlich 65 Mio. kWh erzeugt werden. Auf weitere Details zu der Anlage in Tannheim bzw. zur kompletten Kraftwerkskette der oberen Iller wird in Abschnitt 6.5 eingegangen.

5.2.1 Kosten-Nutzen-Analyse

Die Kosten-Nutzen-Analyse (KNA) ist wohl das bekannteste wirtschaftsanalytische Verfahren in der Praxis. Die traditionelle KNA ist ein rein monetäres Bewertungsverfahren, das auf der Gegenüberstellung der Kosten und Nutzen in Währungseinheiten beruht. Dadurch kann eine Aussage über die Wirtschaftlichkeit der untersuchten Maßnahme gemacht werden [DVWK 1993].

Aufbau einer Kosten-Nutzen-Analyse

Jede KNA basiert auf folgenden Verfahrensschritten (nach [Hanusch 1994]):

1. Erfassung und Bewertung der positiven und negativen Wirkungen von Alternativen in Form ihrer monetären Nutzen und Kosten.
2. Diskontierung/Akkumulierung der Nutzen und Kosten zum Zwecke der zeitlichen Homogenisierung.
3. Gegenüberstellung von Nutzen und Kosten der verschiedenen Alternativen.
4. Aufstellung einer Rangfolge der Alternativen und Empfehlung einer oder mehrerer Alternativen.

Fallen die Kosten bzw. Nutzen zu unterschiedlichen Zeitpunkten an, müssen sie auf einen bestimmten Zeitpunkt bezogen werden, den so genannten Bezugszeitpunkt (Arbeitsschritt 2). Dieser wird meist entweder auf den Beginn der Bauarbeiten oder die Inbetriebnahme der Anlage festgelegt. Alle Investitionen, die n Jahre vor dem Bezugszeitpunkt X liegen, müssen aufgezinst (akkumuliert) werden; dagegen muss alles, was n Jahre nach dem Bezugszeitpunkt X liegt, abgezinst (diskontiert) werden (s. Abbildung 5.1). Die saldierten Werte für Kosten und Nutzen können in der weiteren Bearbeitung miteinander verrechnet und verglichen werden.

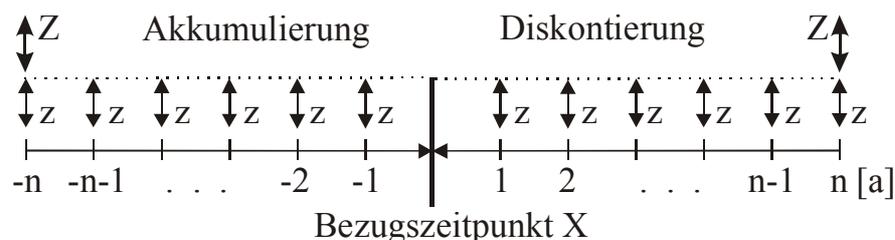


Abbildung 5.1: Akkumulierung und Diskontierung von einmaligen Zahlungen Z bzw. gleichmäßigen Zahlungsreihen z [Giesecke & Mosonyi 2005]

Probleme einer Kosten-Nutzen-Analyse

Zunächst verdienen zwei Hauptfehlerquellen, die bei der Durchführung einer KNA auftreten, Erwähnung:

- **Nur monetär bewertbare Kosten und Nutzen werden erfasst**

Viele (häufig positive) Auswirkungen werden dadurch nicht berücksichtigt, wodurch es zu Verzerrungen beim Ergebnis kommen kann.

So ist es beispielsweise schwierig, die Auswirkungen einer Wasserkraftanlage auf das Freizeitverhalten und die damit verbundene Erholung monetär zu erfassen. Beim Kraftwerk Tannheim schafft der Illerradwanderweg, für dessen Instandhaltung auf Teilstrecken die EnBW verantwortlich ist, einen Anreiz, die Region als Naherholungsziel zu besuchen. Die zusätzlichen Einnahmen durch auswärtige Besucher können monetär erfasst werden, der Erholungswert hingegen nicht oder nur mangelhaft. Daher werden oft bei einer KNA diese zusätzlichen Nutzen ignoriert und nur die tatsächlich monetär vorliegenden Kosten und Nutzen betrachtet.

- **Versuch der Monetarisierung nicht-monetär bewertbarer Daten**

Häufig sind Kosten und Nutzen nicht in materiellen Werten ausdrückbar bzw. es besteht kein Zusammenhang zwischen der monetären Größe und dem tatsächlichen Schaden bzw. Nutzen.

Dieses Problem tritt bei Wasserkraftanlagen beispielsweise bei der Bewertung der Durchgängigkeit auf. Es kann kein einheitlich anerkannter monetärer Wert für die verhinderte bzw. erschwerte Wandermöglichkeit der Fische zu ihren Laichhabitaten angegeben werden. Die Kosten für eine Fischaufstiegsanlage sind nur ein etwaiger Anhaltswert dafür, was Menschen bereit sind, für die Ermöglichung bzw. Erhaltung der Fischwanderung auszugeben.

Darüber hinaus birgt die Durchführung einer KNA noch weitere Schwachstellen in sich, die das mögliche Anwendungsfeld weiter eingrenzen:

- Die vollständige Erfassung aller Folgen ist aufgrund der oben beschriebenen Restriktionen nicht möglich. Daraus ergibt sich zum einen ein sachliches Problem, im Zuge der Technikfolgenabschätzung, da im Vorfeld nicht explizit alle Folgen bekannt sind und diese somit nicht in angemessenem Rahmen berücksichtigt werden können. Zudem stellt sich ein zeitliches Problem. Die Dauer von Auswirkungen ist oft schwer vorhersehbar, und sie lassen sich meist zeitlich nicht terminieren.

Die Eintrittswahrscheinlichkeit eines Ereignisses ist nicht bekannt oder nur theoretisch ermittelbar: nimmt man beispielsweise ein 100-jährliches Hochwasserereignis; dieses tritt nicht alle 100 Jahre auf wie die Bezeichnung vermuten ließe, sondern besitzt die theoretische Wahrscheinlichkeit, alle 100 Jahre aufzutreten. Die entsprechende Abflussmenge kann daher mehrmals in einem Jahrhundert, aber auch erst nach mehreren 100 Jahren zum ersten Mal erreicht werden. Daraus ergibt sich, dass Zahlungsströme wie hier z. B. Kosten für die Beseitigung von Hochwasserschäden häufig weder der Höhe noch des Zeitpunkts nach bekannt sind.

- Schwierig gestaltet sich zudem die Wahl einer adäquaten Diskontierungsrate. Je höher der gewählte Diskontierungssatz ist, desto schwächer fallen zukünftige Nutzen bzw. zukünftige Kosten ins Gewicht. Je niedriger der Diskontierungssatz ist, desto geringer ist die Zeitpräferenz der betroffenen Subjekte. Für die Wahl eines „realistischen“ Diskontsatzes ist eine Sensibilitätsanalyse auf jeden Fall zu empfehlen [Mühlenkamp 1994].

Dieses Problem tritt insbesondere bei den langlebigen Wasserkraftanlagen wie dem Kraftwerk Tannheim auf, das bereits seit über 80 Jahren in Betrieb ist.

- Bei der Durchführung einer KNA entstehen durch die Informationsbeschaffung, -aufbereitung und -verarbeitung relativ hohe Kosten.

Wie sich deutlich bei der Datenaufnahme des Kraftwerks Tannheim herauskristallisierte, war es nahezu nicht möglich, monetäre Daten zu erfassen. Die Aufbereitung der erhobenen Daten von nicht-monetären in monetäre Werte wäre daher sehr zeitintensiv und dadurch kostspielig geworden.

Anwendung einer Kosten-Nutzen-Analyse auf externe Effekte

Bereits seit längerem beschäftigt sich die wissenschaftliche Literatur mit der Frage, ob Kosten-Nutzen-Analysen im wasserwirtschaftlichen Bereich anwendbar sind und inwiefern sie in diesem Bereich Sinn machen.

In einer DVWK-Schrift [DVWK 1984] wird die ökologische Krise als eine reale Krise thematisiert. Der reale Wert der Schäden oder der Nutzen könne in der Regel nicht durch monetäre Werte ausgedrückt werden. Der Preis eines Gutes als Menge eines „Zählguts“, die ein Käufer im Austausch für dieses Gut zu geben bereit ist, sagt jedoch nichts über den tatsächlichen Wert eines Gutes aus, sondern vergleicht ein Gut lediglich mit anderen Gütern, die man für die gleiche Summe bekommen könnte. Gewöhnlich unterschätzen Marktpreise den sozialen Wert eines Gu-

tes, da sie nur eine Untergrenze der tatsächlichen Zahlungsbereitschaft der Konsumenten widerspiegeln.

Pflügner (1988) stellt ebenfalls die Problematik der Einbeziehung nicht monetär erfassbarer Projektwirkungen heraus. Diese können meist nur beschrieben werden und gehen somit nicht in die monetäre Verrechnung von Nutzen und Kosten ein. Die Monetarisierung von Intangiblen, also diesen nicht-monetär erfassbaren Effekten, kann dieses Problem u. U. verringern. Es ist allerdings durchaus fraglich, ob Intangible durch die Monetarisierung adäquat erfasst werden. So sagt die Zahl der Besucher pro Tag an einem See vielleicht mehr über dessen Erholungswert aus als ein durch Monetarisierung errechneter Geldbetrag.

„Bei der Fragestellung der Einbeziehung der externen Effekte sieht sich die Nutzen-Kosten-Analyse im Zusammenhang mit der Bewertung vor erhebliche Probleme gestellt“ [Hanusch 1994], da die Wirtschaftssubjekte generell mangelnden Anreiz haben, externe Kosten zu internalisieren. Eine Marktlösung ist schwierig, was beispielsweise durch den momentan stattfindenden Emissionshandel deutlich wird, der als erster Ansatz eines Teilmarktes von externen Effekten bezeichnet werden kann. Die vollständige ökonomische Analyse eines Projekts erfordert die Einbeziehung aller Effekte, auch der externen Effekte.

Zusammenfassend lassen oben genannte Beiträge aus der wissenschaftlichen Literatur den Schluss zu, dass eine reine Kosten-Nutzen-Analyse im Bereich der Wasserwirtschaft generell und insbesondere bei der Berücksichtigung und Bewertung externer Effekte eher ungeeignet ist, da eine im Rahmen der KNA geforderte durchgehende Monetarisierung gerade bei externen Effekten weder geleistet werden kann noch sinnvoll wäre.

5.2.2 Nutzwertanalyse

Im Gegensatz zur bei der Kosten-Nutzen-Analyse geforderten Monetarisierung werden bei der Nutzwertanalyse (NWA) alle Kriterien einer dimensionslosen Wertziffer, dem Zielwert, zugeordnet. Die NWA ist eine Methode zur einfacheren Auswahl einer Alternative aus einer Reihe unterschiedlicher Alternativen innerhalb eines Entscheidungsprozesses durch eine systematische Entscheidungsvorbereitung. Bei der NWA steht der Wert des Nutzens im Mittelpunkt, allerdings nicht nur in materieller Hinsicht, sondern vor allem im Sinne der Messung verschiedener Möglichkeiten des „Wertvollseins“.

Unter Bewertung versteht man im allgemeinen, dass einer bestimmten Sache ein gewisser Wert zugeordnet wird. Dieser Wert muss dabei nicht zwangsläufig monetär sein, sondern kann auch einen begrifflichen Gehalt, wie z. B. „schlecht-gut-besser“, beinhalten. Werte sind dabei als „ideelle“ Gehalte, die in einer bestimmten Weise für eine Person oder eine Gruppe eine Bedeutung haben, zu verstehen. Dieser subjektive Wert kann interpersonell stark differieren. Bewerten ist ein angeborenes menschliches Vermögen, da das Bewerten eine ständige menschliche Tätigkeit ist, bewusst oder unbewusst.

Im Rahmen einer NWA werden verschiedene Kriterien bezüglich vorgegebener Ziele beurteilt, um so die günstigste Variante zu erhalten. Zur Anwendung kommt sie hauptsächlich in Fällen, in denen eine vollständige monetäre Bewertung nicht möglich ist. Die NWA ist ein Verfahren, das aufgrund einer logischen Bewertungsstruktur unterschiedliche Alternativen vergleichbar macht und es so ermöglicht, sowohl alle Auswirkungen des zu betrachtenden Projekts als auch die Mittel der Entscheidungsfindung transparent in einer Entscheidungsübersicht darzustellen.

Kennzeichnend für eine NWA ist die Tatsache, dass der Vergleich von Alternativen nicht nur auf Grund von objektiven Informationen (z. B. Geldwerten) erfolgt, sondern dass gleichzeitig subjektive Informationen und Einschätzungen mit einfließen. Da im Gegensatz zur KNA kein

Marktpreis existiert, ist die Bewertung subjektiv geprägt und stärker von den durchführenden Personen abhängig. Bei der Ergebnisbeurteilung muss diese subjektive Komponente berücksichtigt werden. Trotzdem können die Ergebnisse einer NWA somit keine objektiven und allgemein gültigen Lösungen liefern. Ziel dieser Methode kann es folglich nicht sein, eine objektive Lösung zu liefern, da lediglich eine Rangfolge angegeben werden kann [Kunze et al. 1974].

Aufbau einer Nutzwertanalyse

Die folgenden Schritte sind für die Bearbeitung einer NWA notwendig (nach [Warnecke et al. 2003]):

1. Erfassung und Darstellung aller relevanten Daten

Für die systematische Zusammenstellung bietet sich eine tabellarische Darstellung oder eine Matrix an. Falls Befragungen notwendig sind, kann schon hier die Wahl der Bewertungsskala (Arbeitsschritt 3) vorgenommen werden, damit die erhobenen Daten bereits in der für die Bewertung erforderlichen Skala vorliegen.

2. Gewichtung aller Effekte im Gesamtzusammenhang

Unabhängig von der individuellen Bewertung der Kriterien bei verschiedenen Varianten durch Wertziffern müssen diese zunächst ihrer Bedeutung nach geordnet werden. Diese Gewichtung ist für alle Varianten eines Projekts gleich anzusetzen. Da die Gewichtung nicht auf naturwissenschaftlichen Erkenntnissen, sondern auf Werthaltungen beruht, können verschiedene Interessensgruppen bzw. einzelne Bewertende zu differierenden Ergebnissen kommen. Daher ist die Transparenz bei der Festlegung der Gewichtungen wie auch bei der späteren Bewertung der Effekte von großer Bedeutung.

Bei der Gewichtung hat es sich als praktikabel erwiesen, spezielle Gewichtungsverfahren zu verwenden (s. a. Abschnitt 6.2). Hierbei ist ebenso wie bei der folgenden Bewertung darauf zu achten, dass die Punkte neutral, d. h. unabhängig von der bewertenden Person verteilt werden.

3. Festlegung einer Bewertungsskala

Im Rahmen einer NWA erfolgt keine Bewertung in monetären Größen, sondern mit Hilfe von Skalen. Dabei bekommt jedes Kriterium eine Wertziffer zugeordnet. Die Größe der Skala ist dabei frei wählbar, wobei die kleinste üblicherweise verwendete Skala vier Punkte aufweist. Es werden allerdings häufig Skalen mit Wertziffern von 0 bis 6 oder bis 10 eingesetzt. In seltenen Fällen sind auch mehr als 10 Wertziffern sinnvoll. Ein Beispiel für eine 6-ziffrige Skala, die in dieser Studie verwendet wurde, ist in Tabelle 5.2 gegeben.

Tabelle 5.2: Wertziffernskala

Skala	verbale Beschreibung
0	Absolut keine Beeinflussung
1	Geringe Beeinflussung
2	Mäßige Beeinflussung
3	Merkliche Beeinflussung
4	Deutliche Beeinflussung
5	Starke Beeinflussung
6	Übermäßige (maximale) Beeinflussung

4. Bewertung der Auswirkungen

Alle Effekte müssen nun auf der gewählten Skala bewertet werden, wobei nicht immer die komplette Spannweite (beispielsweise von 0-6) ausgeschöpft werden muss. Jedem Kriterium wird die Wertziffer zugewiesen, die es einzeln betrachtet, d. h. unabhängig von den anderen Kriterien der selben oder einer anderen Variante, optimal bewertet. Für den Maximalwert („6“) ist eine Abgrenzung erforderlich. Beispielhaft ist dies in Abbildung 5.2 für den externen Effekt „Flächenbedarf“ beim Betrieb einer Wasserkraftanlage aufgezeigt.

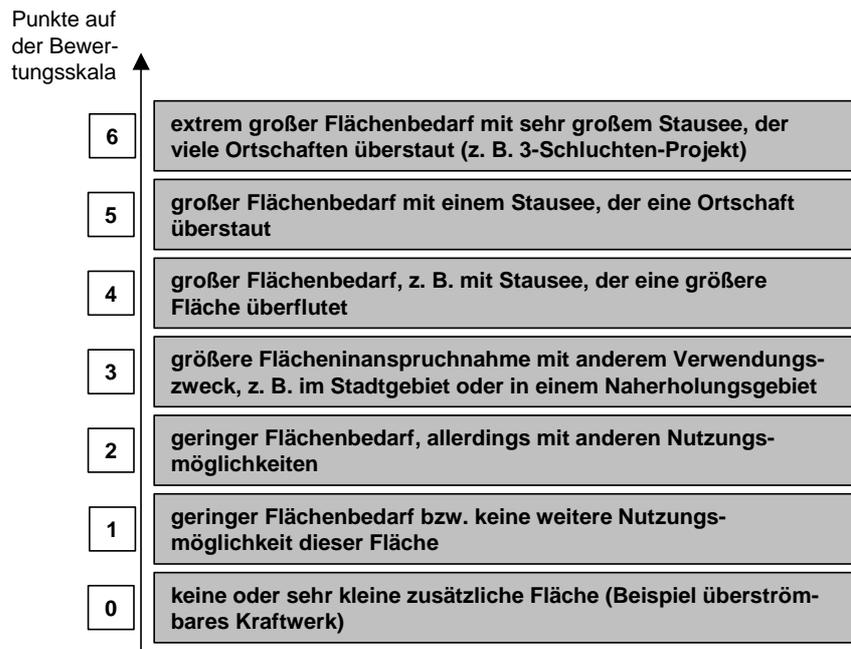


Abbildung 5.2: Beispiel zur Bewertungsskala: Flächenbedarf im Betrieb auf Mensch-Wohlbefinden

5. Auswertung der Bewertungsmatrix und Aufstellung einer Rangfolge der Alternativen

Als Grundlage für die abschließende Auswertung liegen nun die bewerteten Daten und die Gewichtung der Effekte vor. Das Produkt aus den Wertziffern und den Gewichtungsfaktoren ergibt den Teilnutzwert jedes Effekts i :

$$\text{Teilnutzwert}(i) = \text{Gewichtung}(i) \cdot \text{Wertziffer}(i)$$

Aus der Summe aller Teilnutzwerte erhält man den Gesamtnutzwert einer Variante:

$$\text{Gesamtnutzwert} = \sum_{i=1}^n \text{Teilnutzwert}(i)$$

Da es sich bei den Wertziffern und den Gewichtungsfaktoren um dimensionslose Zahlen handelt, können sie ohne weiteres miteinander multipliziert und anschließend aufsummiert werden. Je höher der Ergebniswert ist, desto effektiver ist die Variante im Vergleich mit anderen.

Probleme einer Nutzwertanalyse

Wie schon oben angesprochen, beruhen Nutzwertanalysen nicht auf exakten Messergebnissen, sondern auf Schätzungen und subjektiven Einschätzungen der durchführenden Person. Die Er-

gebnisse und Folgen des Projekts sind also immer unter Berücksichtigung der spezifischen Zielsetzungen zu betrachten.

Zudem treten bei einer NWA in der Praxis folgende Probleme auf:

- Schwierigkeiten bereitet in der Praxis vor allem die notwendige Quantifizierung nicht-monetärer Werte, da eine relativ objektive Bewertung nur bei kardinalskalierten Daten möglich ist. Wie bereits erläutert, sind kardinale Werte messbare Größen, die eine genaue Erfassung ermöglichen. Kriterien, die nicht kardinalskaliert sind, müssen transformiert und unter Verwendung einer Ordinalskala bewertet werden. Die so berechneten Gesamtnutzwerte können folglich Ungenauigkeiten enthalten [Hoffmeister 2000].

Bei der Datenerhebung und -bewertung der Illerkraftwerke konnte dies deutlich festgestellt werden. Daher fiel die Wahl auf die oben dargestellt 7-ziffrige Bewertungsskala von 0-6, die zwar noch genügend Unterscheidungsmöglichkeiten eröffnet, aber nicht zu viele Möglichkeiten der Bewertung gibt. Bei der Auswahl der Anzahl an Bewertungsziffern ist zudem der Zeitfaktor sowohl bei der Bewertung als auch bei der Datenaufnahme, z. B. anhand eines Fragebogens, zu berücksichtigen. Das Ergebnis ist u. U. genauer bei einer geringeren Anzahl an Auswahlmöglichkeiten, da sich die Befragten möglicherweise nicht die Zeit nehmen, detailliert zwischen sehr vielen Wahlmöglichkeiten auszuwählen.

- Des Weiteren müssen die bewerteten Kriterien zusammengefasst und gewichtet werden. Dies ist ein zusätzlicher Unsicherheitsfaktor der NWA, da die Verteilung der Gewichtung unabhängig von dem verwendeten Gewichtungsverfahren Schwierigkeiten mit sich bringt, was eine Überprüfung durch eine Plausibilitätskontrolle bzw. Sensitivitätsanalyse sinnvoll macht.

Für die Erstellung der Gewichtungsmatrix muss daher eine plausible, transparente Methode gefunden werden. Dies wurde bei dem in dieser Studie entwickelten Verfahren durch Festlegung mehrerer Dimensionen wie die Wirkungsdauer, die Wirkungszeit, die Häufigkeit und das Ausmaß sichergestellt (s. Abschnitt 6.2).

- Bei der Berechnung des Gesamtnutzens muss darauf geachtet werden, ob und wie die monetären und nicht-monetären Größen untereinander verrechnet werden. Bei einer KNA bereitet es Schwierigkeiten, nicht-monetäre Werte zu monetarisieren, gleichzeitig ist es nicht unbedingt sinnvoll, alle monetär vorliegenden Werte bei einer NWA in Wertziffern umzuwandeln.

Da kaum monetäre Werte zur Bewertung vorliegen, stellte sich dieser Kritikpunkt bei den Illerkraftwerken nur in geringem Ausmaß. Die Entsorgung von Zivilisationsmüll war bei der Datenaufnahme beim Kraftwerk Tannheim einer der wenigen direkt monetär vorliegenden Werte. Die Kosten für die Entsorgung würde die Gemeinde zu tragen haben, wenn die EnBW die Entsorgung nicht übernehme. Zur Bewertung auf der Punkteskala wären daher theoretisch die Kosten für die Entsorgung den Ausgaben bzw. dem wirtschaftlichen Ansehen der jeweiligen Gemeinde gegenüberzustellen.

Anwendung einer Nutzwertanalyse auf externe Effekte

Bei wasserbaulichen Projekten stößt man schnell auf Kosten und vor allem Nutzen, die monetär nicht oder schwer bewertbar sind, die aber gleichwertig mit den monetär bewertbaren Effekten in eine ganzheitliche Bewertung einfließen sollten. Dieser Aspekt ist die Rechtfertigung der Anwendung der Theorie der NWA bei der Bewertung externer Effekte. Es ist kaum hoch genug einzuschätzen, dass im Gegensatz zu anderen Nutzen-Kosten-Untersuchungen bei der NWA auch die nicht-monetären Einflussgrößen berücksichtigt werden können, die beim Entscheidungsprozess eigentlich selbstverständlich beachtet werden sollten [Hoffmeister 2000].

Zu den Mängeln bei den vorhandenen Bewertungsverfahren, die im Rahmen von Umweltverträglichkeitsprüfungen eingesetzt werden, zählt Hübler (1993) u. a. den Versuch, nicht quantifizierbare Sachverhalte zu quantifizieren bzw. zu monetarisieren, was zu willkürlichen Ergebnissen führen kann, und die zu stark auf Quantität abgestellte Bewertung, bei der die Qualität vernachlässigt wird. Insbesondere durch die Fortentwicklung des Verfahrens der Nutzwertanalyse wurde versucht, die Bewertungs- und Darstellungsprobleme bei der Umweltverträglichkeitsprüfung zu verringern oder beseitigen. Der Vorzug der formalen Struktur der NWA liegt in der Geschlossenheit, der Nachvollziehbarkeit und der Transparenz, was besondere Bedeutung bei der Präsentation der Ergebnisse der Umweltverträglichkeitsprüfung sowohl in der Öffentlichkeit als auch in behördlichen Entscheidungsgremien findet.

5.2.3 Kosten-Wirksamkeits-Analyse

Bei einer Kosten-Wirksamkeits-Analyse (KWA) (teilweise auch Kosten-Effektivitäts-Analyse genannt) wird eine monetäre Zielgröße einer nicht-monetären Zielgröße gegenübergestellt. Die tatsächlich anfallenden Kosten werden hierbei wie bei der KNA in Geldeinheiten erfasst, wobei nicht monetär darstellbare Wirkungen (hierin sind hauptsächlich Nutzen beinhaltet) wie bei der NWA anhand einer Punkteskala oder in einer anderen physikalischen Einheit dargestellt werden. Die KWA nutzt hauptsächlich die Vorteile der beiden oben erläuterten Verfahren, wobei sie möglichst deren Nachteile vermeidet, wodurch ihr besondere Bedeutung zukommt. Der Entscheidungsträger legt über die Zieldefinition auch implizit seine Gewichtung der Ziele fest. Kosten-Wirksamkeits-Analysen beruhen hauptsächlich auf dem Vergleich mehrerer Alternativen. Sind gleiche Kosten vorhanden, wird diejenige Alternative gewählt, die eine größere Wirksamkeit hat; ist die Wirksamkeit gleich, so ist die Alternative mit den geringeren Kosten die bessere.

Aufbau einer Kosten-Wirksamkeits-Analyse

Folgende Schritte müssen bei der Durchführung einer KWA beachtet werden (nach [Lühr 1972]):

1. Beschreibung des Problems und der angestrebten Zielsetzung.
2. Bestimmung der Bewertungskriterien, die für das angestrebte Ziel signifikant sind.
3. Datenerhebung der relevanten Effekte.
4. Entwicklung eines Wertmodells. Dieses Modell enthält sowohl die quantifizierbaren als auch die nicht-quantifizierbaren Bewertungskriterien. Jedes Bewertungskriterium ist in seiner Werteinheit zu beschreiben.
5. Entscheidung, ob die Analyse von vorgegebenen Maximalkosten oder von vorgegebenen Effektivitäten ausgehen soll.
6. Anwendung des Wertmodells auf die erhobenen Effekte.
7. Aufbau einer Bewertungsmatrix, in der die vorhandenen Effekte nach den Bewertungskriterien, die im Wertmodell beschrieben sind (Arbeitsschritt 4), dargestellt werden.
8. Auswertung der Bewertungsmatrix und evtl. Bestimmung der besten Lösung bei vorhandenen Alternativen.
9. Dokumentation des gesamten Entscheidungsprozesses, um die getroffene Entscheidung transparent und kontrollierbar zu machen.

Probleme einer Kosten-Wirksamkeits-Analyse

Wie die NWA kann eine KWA keine gesamtwirtschaftliche Aussage dahingehend treffen, ob der Nutzen größer ist als die dafür aufzuwendenden Kosten [Diedrichs 1985]. Ebenso kommt es bei beiden Verfahren durch die Bewertung der Wirksamkeiten anhand einer Punkteskala zu einer Beeinflussung der Ergebnisse durch die subjektive Meinung des Bearbeiters.

Eine KWA besitzt bei der Bewertung und der Ergebnisreihung folgende Schwachstellen:

- Bei der KWA entsteht durch die zwei unterschiedlichen Bewertungsdarstellungen (monetär und neutral skaliert) das Problem, zu verschiedenen Zeitpunkten auftretende Kosten und Wirkungen vergleichbar zu machen. Bei der Bewertung der monetären Ergebnisse muss ähnlich wie bei der KNA der Zeitpunkt des Auftretens der Kosten und damit die Diskontierung berücksichtigt werden, was bei einer neutralen Skalierung nicht oder nur schwer möglich ist.

Wasserkraftanlagen zeichnen sich, wie bereits erläutert, durch eine extrem lange Betriebsdauer aus. Somit bereitet es besondere Schwierigkeiten, die tatsächlich monetär vorliegenden Werte, die auf einen Zeitpunkt durch Diskontierung bezogen werden, mit den neutral skalierten Werten, auf die lediglich die Wirkungsdauer Einfluss hat, in angemessenem Maß zu vergleichen. Bei Projekten von kürzerer Betriebsdauer kann dies weniger problematisch sein, verglichen mit Wasserkraftanlagenprojekten wie dem Kraftwerk Tannheim.

- Möglicherweise können bei der Gegenüberstellung monetärer Werte mit dimensionslosen Wertziffern und der notwendigen Gewichtung Probleme entstehen. Wenn gleiche Kosten oder gleiche Wirkungen vorhanden sind, kann sehr einfach der jeweils andere Wert eine Entscheidung für oder gegen eine Variante liefern. Ist keines der beiden Kriterien gleich groß oder vergleichbar, muss eine Verhältnisanalyse zu Hilfe genommen werden, die wiederum relativ subjektiv beeinflusst ist.

Die externen Effekte der Laufwasserkraftnutzung umfassen sehr viele unterschiedliche Bereiche der Kosten und Nutzen bzw. Wirkungen. Daher wird äußerst selten der Fall auftreten, dass entweder Kosten oder Wirkungen den gleichen Wert besitzen. Dieser Gesichtspunkt wird dadurch bestärkt, dass Wasserkraftanlagen sehr von den örtlichen Gegebenheiten abhängig und daher selten untereinander vergleichbar sind bzw. selten gleiche Kosten oder Wirkungen besitzen.

Anwendung einer Kosten-Wirksamkeits-Analyse auf externe Effekte

Bislang fand die KWA hauptsächlich Einsatz bei einigen Arbeiten im Bereich von Emissionsbeurteilungen. Die Auswahl unter Einbeziehung der Vorteile für den jeweiligen Einsatzbereich wurde bei den Studien unterschiedlich begründet.

Bei der Betrachtung volkswirtschaftlicher Kosten von Umweltpolitik verwendet Schröder (1991) eine KWA. Diese bietet sich in diesem Fall besonders an, da die Höhe der Emissionen, welche Inhalt der Untersuchung sind, bei allen miteinander verglichenen Simulationen bzw. Varianten jeweils identisch waren. Die schwer zu quantifizierenden Umweltschäden mussten somit nicht berücksichtigt werden und gingen nicht in das Ergebnis ein.

Böhringer (1996) nahm die Methodik der KWA für die Entwicklung eines Modells zu Hilfe, das die Höhe von Steuern bestimmen soll, welche mittel- bis langfristig zur Einhaltung gesellschaftspolitisch festgelegter Schadstoffobergrenzen erforderlich wäre. Die Berücksichtigung von finanzwissenschaftlichen Aspekten ist aufgrund der Wechselwirkungen der Kosten von Umweltsteuern mit bestehenden Steuern und der Verwendungsart des Umweltsteueraufkommens erforderlich.

Davon ausgehend, dass der monetäre Schaden, hervorgerufen durch energiebedingte Schadstoffemissionen, nach derzeitigem Wissensstand nicht mit ausreichend großer Genauigkeit abzuschätzen ist, zieht Schmid (1996) die KWA einer KNA vor. Die dynamische KWA verwendet Zukunftspfade der Emissionen, über den Betrachtungszeitraum kumulierte Emissionen oder Obergrenzen für die spezifischen Minderungskosten als Ausgangspunkt der Betrachtungen. Für die Erarbeitung von Strategien von Emissionsminderungszielen mit gleichzeitig minimal finanziellen Aufwendungen müssen zunächst alle emissionsrelevanten Maßnahmen im Bereich der Energienutzung identifiziert werden. Im Rahmen einer Systemanalyse des gesamten Energiesystems erfolgt eine systematische Einordnung der herausgearbeiteten Maßnahmen und deren Gesamtbewertung.

5.3 Auswahl der Bewertungsmethode

5.3.1 Allgemeiner Vergleich der Verfahren

Die oben dargestellten Ansätze sind die am häufigsten verwendeten Verfahren von Nutzen-Kosten-Untersuchungen, die neben technischen, betrieblichen und ökonomischen Komponenten auch Auswirkungen auf die Allgemeinheit, die Wirtschaftsstruktur und die Umwelt in die Analyse integrieren. Generell unterscheidet sich dabei die **Kosten-Nutzen-Analyse (KNA)** von den beiden anderen Methoden durch die Monetarisierung von Kosten und Nutzen. Bei der **Kosten-Wirksamkeits-Analyse (KWA)** wird hingegen auf eine monetäre Nutzenerfassung verzichtet, die anfallenden Kosten aber in Geldwerten ausgedrückt. In der **Nutzwertanalyse (NWA)** finden überhaupt keine monetären Werte Eingang.

Bereits bei dieser Gegenüberstellung wird evident, dass sich alle Nutzen-Kosten-Untersuchungen in methodischem Aufbau und in der Durchführung mehr oder weniger stark unterscheiden (s. Tabelle 5.3). Alle haben spezifische Anwendungsschwerpunkte und Aussagemöglichkeiten, d. h. man kann nicht von einer besten oder „einzig richtigen“ Methode sprechen. Die Auswahl der jeweils sinnvollsten Methode wird daher immer aufgabenspezifisch erfolgen, was eventuell auch zu einer Kombination verschiedener Verfahren führen kann.

Tabelle 5.3: Übersicht über die drei beschriebenen Bewertungsverfahren

Verfahren	Kosten-Nutzen-Analyse	Nutzwertanalyse	Kosten-Wirksamkeits-Analyse
Datengrundlage	Kosten und Nutzen monetär	Kosten und Nutzen qualitativ	Kosten monetär, Nutzen qualitativ
Bewertung	Vergleich direkt über monetäre Einheiten	Umwandlung der Auswirkungen in dimensionslose Nutzwerte	Gegenüberstellung/Verhältnis der monetären Einheiten mit den dimensionslosen Nutzwerten

5.3.2 Verfahrenvergleich in Bezug auf die Einbeziehung externer Effekte

Die jeweiligen verfahrensimmanenten Probleme wurden bereits in den vorigen Abschnitten diskutiert. An dieser Stelle sollen die wichtigsten Aspekte rekapituliert werden, die speziell bei der Auswahl des Verfahrens für die Einbeziehung externer Effekte und somit für die vorliegende Studie von entscheidender Bedeutung waren:

Wie schon erwähnt, ist die Aufgabe einer **KNA** die ökonomische Bewertung öffentlicher Vorhaben mit dem Ziel, eine politische Entscheidung vorzubereiten. Im Zentrum steht dabei die Opti-

mierung marktlicher und nicht-marktlicher Allokationsmechanismen nach Effizienzkriterien. Wie bereits angesprochen, werden alle bei einem Projekt voraussichtlich anfallenden Kosten sowie die prognostizierten Nutzen monetär bewertet.

Der Vorteil der Methode liegt darin, dass Geld prinzipiell der eingängigste Vergleichsmaßstab bei mehrdimensionalen Zielsystemen ist. Die Vermittelbarkeit der Ergebnisse ist daher leichter als bei abstrakten, dimensionslosen Zahlen und überschaubarer als umfangreiche Argumentationen. Aus diesem Grund gibt es immer wieder Versuche, intangible Wirkungen monetär zu bewerten.

Besonders bei den **externen Effekten** ist eine komplett monetäre Bewertung jedoch stark umstritten. Hauptproblem in diesem Zusammenhang ist die Einbeziehungen von Sekundärwirkungen. Durch Berücksichtigung oder Vernachlässigung solcher Wirkungen kann das Ergebnis in die eine oder andere Richtung verzerrt werden. Während die Anrechnung von Steigerung oder Rückgang des Fremdenverkehrs in der Region noch plausibel abgrenzbar erscheint, ist die Änderung der regionalen oder gar globalen Bilanz des CO₂-Ausstoßes durch den Bau des Kraftwerks kaum mehr abzugrenzen. Es stellt sich daher die Frage, wo die Grenze zu ziehen ist, bis zu der Sekundärwirkungen einbezogen werden müssen. Zudem treten manche Wirkungen erst in langen Wirkungsketten und mit zeitlicher Verzögerung auf, was die Prognose von Folgewirkungen sehr subjektiv macht. Im Zuge dessen werden die Ergebnisse zunehmend undurchschaubar und auch immer weniger überzeugend. Hier ist eine realistische, begründete Abschätzung der Eintrittswahrscheinlichkeit von Folgewirkungen von Nöten. Dennoch treten immer wieder Folgewirkungen auf, die nicht voraussehbar waren.

Ein weiteres gravierendes Problem ist die Einbeziehung **intangibler Wirkungen**. Darunter versteht man alle nicht monetär messbaren Effekte, die nicht in die Berechnung des Nutzen-Kosten-Verhältnisses eingehen. Dies schwächt ihre Position gegenüber den „objektiv“ errechneten direkten Wirkungen und zwar unabhängig davon, ob die intangiblen Wirkungen im Einzelfall mehr oder weniger wichtig sind. Daraus resultiert die strukturelle Selektivität der KNA, da lediglich durch die Methode und nicht durch die Sache bestimmt wird, was in die Bewertung Eingang findet. Gerade soziale und ökologische Auswirkungen, d. h. insbesondere die externen Effekte, sind in diesem Sinne als intangibel zu bezeichnen.

Da das Ziel der vorliegenden Arbeit aber gerade in der Bewertung der externen Effekte unter Einbeziehung aller Auswirkungen liegt, ist dies ein gewichtiges Argument **gegen die Verwendung einer KNA**.

Zwar gibt es auch im wasserwirtschaftlichen Bereich Versuche, externe Effekte zu monetarisieren. Hier ist exemplarisch die bereits erwähnte schweizerische Studie [Hauenstein et al. 1999] zu nennen. Dort wurde eine Literaturstudie über mögliche monetäre Wertungen erstellt unter Zuhilfenahme aller vorhandenen Quantifizierungsansätze. Basierend auf dem Datenmaterial und den zusammengestellten Ergebnissen wurde ein relativ frei gewählter Wert nach eigenen Vorstellungen angesetzt. Es wird in der Studie explizit darauf hingewiesen, dass nicht alle angewandten Bewertungsmaßstäbe allgemein anerkannt sind, diese aufgrund mangelnder Datenlage allerdings verwendet werden mussten. Zudem wurden die gewählten Werte für alle Kraftwerke in gleicher Höhe angesetzt, wobei davon ausgegangen werden kann, dass eine Lärmsteigung um einen gewissen Dezibelwert in einer besonders ruhigen Gegend viel störender empfunden wird als beispielsweise in einer Stadt mit einem höheren Grundlärm.

Ein solcher Versuch, externe Effekte monetär zu bewerten, ist sicherlich für Teilaspekte sinnvoll, wenn aber wie im vorliegenden Fall eine Gesamtbetrachtung aller externen Effekte erfolgen soll, stößt man schnell an die Grenzen des Machbaren. Zudem sollte nicht außer Acht gelassen werden, dass die KNA primär für die ökonomische Bewertung entwickelt wurde. Es ist sicher nicht

von Vorteil, gerade in Hinblick auf die Aussagekraft der Ergebnisse, sie durch mehr oder weniger aufgesetzte Bewertung von sozialen und ökologischen Auswirkungen zweckzuentfremden. Aus den genannten Gründen wurde daher von der Durchführung einer KNA Abstand genommen.

Ganz ähnlich verhält es sich im Falle einer **KWA**. Analog zu der oben stehenden Argumentation ist die Durchführung einer KWA aufgrund der Notwendigkeit, die Kosten monetär darzustellen, im Rahmen der vorliegenden Arbeit wenig sinnvoll.

5.3.3 Wahl der verwendeten Methodik

Somit fiel die Entscheidung zugunsten einer **Nutzwertanalyse**. Wie schon in den voranstehenden Abschnitten erläutert, steht bei einer NWA weniger die Effizienz eines Projekts als vielmehr die Effektivität, d. h. der Gesamtbeitrag des Projekts zu gegebenen Zielen, im Mittelpunkt.

Selbstverständlich bringt auch die Durchführung einer NWA Probleme mit sich, von denen die wichtigsten nochmals kurz zusammengefasst werden.

An erster Stelle ist zu nennen, dass die **Zielgewichtung** eine subjektive (und daher politische) Komponente der Methode ist, die aus diesem Grund eigentlich vom Entscheidungsträger vorgenommen werden müsste [Zangemeister 1976], was aber in der Praxis selten der Fall ist, da sich Politiker oft nur ungern auf Einzelziele und deren Wichtigkeit festlegen. Tatsächlich wird die Zielgewichtung daher vom Gutachter vorgenommen, der so quasi gezwungen ist, eine politische Entscheidung zu treffen. Um dies möglichst neutral zu gestalten, wurden bei dem im nächsten Kapitel vorgestellten Bewertungsverfahren ein relativ neutrales Gewichtungsverfahren mit mehreren Dimensionen verwendet.

Auch die **Nutzenfunktionen** müssen konstruiert werden, d. h. sie sind gedankliche Konstrukte mit einem gewissen Grad an Willkür. Es gibt zwar Standards für einige Einflussfaktoren der hier vorliegenden externen Effekte wie Lärm oder Emissionen, für andere wie beispielsweise die nahezu nicht vermeidbare Beeinträchtigung des Landschaftsbilds ist keine Skala festgelegt, geschweige denn ein Standard. Zudem wird kritisiert, dass die Lösung mehrdimensionaler Bewertungsprobleme durch schrittweise Teilbewertungen entscheidungstheoretisch nur bedingt vertretbar ist. Allerdings muss auch berücksichtigt werden, dass eben durch diese Zerlegung Rationalität überhaupt erst ermöglicht wird, da nur so eine Überforderung der menschlichen Entscheidungsfähigkeit vermieden werden kann. Dies wurde beim Einsatz des vorliegenden Bewertungsverfahrens an den Fallbeispielen bestätigt. Ohne die Untergliederung in die Wirkungszeit und insbesondere die Wirkungsbereiche wäre eine möglichst neutrale Gesamtbewertung nicht erreichbar gewesen.

Abschließend ist festzustellen, dass die **NWA** bei der Bewertung externer Effekte trotz der angesprochenen Einwände **in besonderem Maße geeignet** erscheint. So lässt sich zwar der Vorwurf der subjektiven Färbung der Ergebnisse nicht von der Hand weisen, gleichzeitig muss gesagt werden, dass gerade Versuche, externe Effekte zu monetarisieren, zwar zu leichter kommunizierbaren Ergebnissen führen, da diese in Geldeinheiten dargestellt werden können, diese jedoch lediglich eine Genauigkeit suggerieren, die in der Realität selten gegeben ist. Die **subjektive Komponente** spielt folglich nicht minder eine Rolle. Gerade bei der Bewertung externer Effekte lässt sich eine zu einem gewissen Grad subjektive Sichtweise ohnehin nicht vermeiden, da für diese eben keine vorgegebenen Skalen oder Standards herangezogen werden können.

Es ist daher im Sinne der **Transparenz der Ergebnisse**, wenn ein Verfahren gewählt wird, das erst gar nicht den Anspruch erhebt, „objektiv“ zu sein, wodurch das Problem der Pseudogenauigkeit verringert werden kann. Um diese Transparenz zu gewährleisten, war beispielsweise die

oben angesprochene Untergliederung der Effekte in Wirkungsbereiche notwendig. So kann anhand derer der Entscheidungsträger leicht die Bewertungsschritte des Planenden bzw. Gutachters nachvollziehen.

6 Bewertungsverfahren für externe Effekte

Mit Hilfe des hier vorgestellten Bewertungsverfahrens soll es ermöglicht werden, ausgehend von einer Auswertung der vorhandenen Informationen, Projektvarianten oder andere Vergleichsobjekte ihrer Attraktivität nach zu ordnen. Aus der Festlegung der Gewichtungen der Einzelkriterien ergibt sich ein allgemeines Optimierungsziel. Wichtig ist, dass die Gewichtung der Kriterien und somit das allgemeine Optimierungsziel ex ante, also vor der tatsächlichen Nutzen-Kosten-Untersuchung, am Objekt festgelegt wird. Dabei sollten alle Interessensgruppen möglichst optimal berücksichtigt werden. Trotz allem wird diese Gewichtung vom Planer subjektiv beeinflusst sein. Die Gewichtung wird für die durchzuführende Bewertung aller Varianten konstant gehalten. Muss sie aus irgendeinem Grund während des Verfahrens angepasst werden, ist sie für alle Varianten entsprechend zu ändern. Ergibt sich nach Durchführung des Bewertungsverfahrens ein Ranking, so steht die Alternative an erster Stelle, die dem ex ante festgelegten Optimierungsziel am nächsten kommt.

Ein möglichst umfassendes Bewertungsverfahren ist nicht nur die Grundlage, um übersichtlich alle vorhandenen Effekte aufzuzeigen, sondern auch die Basis dafür, dass der Einfluss dieser Effekte vergleichbar dargestellt werden kann. Aufgrund der starken Abhängigkeit von den örtlichen Gegebenheiten und der daran angepassten Bauweise variieren die potentiellen externen Effekte von Laufwasserkraftanlagen weit mehr als bei Projekten in vielen anderen Bereichen. Die Kraftwerkspezifität stellt besondere Anforderungen an ein Bewertungsverfahren, da idealerweise alle potentiellen Effekte Berücksichtigung finden sollten.

Die in Abschnitt 5.1.1 aufgelisteten Anforderungen an ein Bewertungsverfahren wurden bei der Entwicklung einbezogen. Besonders problematisch ist bei den externen Effekten die Vermeidung von Doppelzählungen, da viele Aspekte voneinander abhängig sind und eine eindeutige Zuordnung zu einer Kategorie erschweren. So können z. B. die Bereiche „Mindestwasser“ und „beeinflusste Gewässerstrecke“ gemeinsame Auswirkungen besitzen. Dabei muss beachtet werden, dass nur jeweils die Auswirkung betrachtet wird, die vom anderen Feld nicht abgedeckt ist, bzw. bei komplett identischen Auswirkungen einer der beiden Effekte nicht in die Bewertung einfließt. Hierfür wurde in Abschnitt 3.4 eine Abgrenzung festgelegt.

6.1 Verfahrensaufbau und Datengrundlage

Für die Bewertung der externen Effekte wird ein eigenes Verfahren, ausgehend von einer Nutzwertanalyse, entwickelt. Die Bewertung der einzelnen Kriterien erfolgt auf Basis einer Punkteskala. Aufgrund der Probleme, die eine Monetarisierung bei vielen externen Effekten mit sich bringt, wurden weder eine traditionelle Kosten-Nutzen-Analyse noch eine Kosten-Wirksamkeits-Analyse als sinnvoll erachtet.

Grundlage für das allgemein gültige Bewertungsverfahren war zunächst eine Katalogisierung aller möglichen Effekte, die bei Laufwasserkraftanlagen generell vorhanden sein können. Eine solche Übersicht wurde in der vorliegenden Studie mit der allgemeinen Bewertungsmatrix (s. Tabelle 3.2) geschaffen. Zusätzlich muss, wie eingangs beschrieben, für die Durchführung einer Nutzwertanalyse eine Gewichtungsmatrix vorliegen, die letztendlich für alle Laufwasserkraftwerke allgemein gültig aufgestellt sein soll. Für die Festlegung der Gewichtungen (s. Abschnitt 6.2) wurden in Übereinstimmung mit Erkenntnissen aus der Fachliteratur möglichst plausible Annahmen getroffen. Bei einer Anwendung der Methode in der Praxis sollte die Gewichtungsmatrix möglichst in Abstimmung mit Experten festgelegt werden (s. a. [Lehmann & Hess

1998]), um eine Anfechtung der Ergebnisse durch einzelne Interessensvertreter ex post zu verhindern. Die Bedeutung einer möglichst optimalen Festlegung der Gewichtungsmatrix sollte keineswegs unterschätzt werden.

Parallel zur Entwicklung des Bewertungsverfahrens unter theoretischen Gesichtspunkten wurden alle erforderlichen Daten für **fünf Wasserkraftanlagen** an der oberen Iller exemplarisch aufgenommen und die entsprechenden Analysen dieser Fallbeispiele mit der erstellten Systematik vorgenommen. Diese Vorgehensweise sollte einerseits sicherstellen, dass das entwickelte Schema in der Praxis einsetzbar ist und realistische Ergebnisse liefert. Andererseits konnten dadurch Aspekte ergänzt werden, die bei einer rein theoretischen Betrachtung vernachlässigt worden wären.

Die Durchführung des Bewertungsverfahrens kann in folgende Arbeitsschritte unterteilt werden:

- Datenaufnahme und Darstellung der Daten
- Skalierung und Bewertung der Daten
- Auswertung mittels der spezifischen Bewertungsmatrix
- Ergebnisinterpretation

Für die praktische Durchführung ist wichtig, dass eine klare Trennung zwischen der Datenaufnahme und der nachfolgenden Bewertung eingehalten wird. Der Form der Datenerhebung sind dabei keine Grenzen gesetzt: Die Informationen können monetär erhoben, verbal erläutert oder z. B. als Umfrageergebnisse vorliegen (s. a. Kapitel 4). Für die nachfolgende Bewertung auf Basis der Punkteskala ist es von Vorteil, wenn die eingehenden Informationen übersichtlich dargestellt werden. Dies sollte möglichst bereits bei der Konzeption des Datenerhebungsbogens berücksichtigt werden.

Entsprechend der Vorgehensweise bei der Nutzwertanalyse (s. Abschnitt 5.2.2) werden die gesammelten Daten mit Hilfe einer metrischen Skala (s. Abschnitt 5.1.2) bewertet. Jedes Kriterium wird auf einer Skala von 0-6 bewertet, wobei die Skalierung wiederum ex ante vorgegeben werden muss. In der vorliegenden Studie entspricht „0“ der schlechtesten Zielerreichung und „6“ der besten. Die Überführung der in unterschiedlichen Messgrößen erfassten Effekte in die einheitliche Punkteskala sollte möglichst transparent dargestellt werden.

Abschließend erfolgt die Zusammenfassung der Einzelwerte zu einem Gesamtwert: Zu diesem Zweck muss die Gewichtungsmatrix (s. Abschnitt 6.2) vorliegen, welche die Bedeutung der einzelnen Kriterien im Gesamtzusammenhang ausdrückt. Durch Multiplikation der Einzelwerte mit den entsprechenden Gewichtungsfaktoren der Gewichtungsmatrix werden diese in Nutzwerte überführt. Die Summe aller Nutzwerte ergibt den Gesamtnutzwert einer Anlage oder eines Projekts.

Das eigentliche Verfahren endet somit mit der Ermittlung eines Gesamtnutzwertes, der eine Vergleichbarkeit mit anderen bewerteten Projekten bzw. Anlagen ermöglicht und die Grundlage für die anschließende Ergebnisinterpretation liefert.

In Abschnitt 6.3 ist das Bewertungsverfahren näher erläutert. Dabei wird zur Veranschaulichung auf Teile der Datenaufnahme und der Bewertung eines Fallbeispiels, des **Ausleitungskraftwerks Tannheim/Iller**, zurückgegriffen. Ausführliche Informationen einschließlich Grundriss und Schnitten durch das Krafthaus sowie die Ergebnisse der Anlage Tannheim sind in Abschnitt 6.5 dargestellt.

6.2 Gewichtung und Gewichtungsmatrix

Die Gewichtung der Effekte ist ein wichtiger Bestandteil einer Nutzwertanalyse (s. Abschnitt 5.2.2). In der **Gewichtungsmatrix** (s. Tabelle 6.2) sind alle denkbaren Effekte nach ihrer relativen Bedeutung bewertet. Dabei ist auch berücksichtigt, dass Effekte, die auf die Bauzeit beschränkt sind, eine sehr viel kürzere Dauer aufweisen als Effekte, die über die gesamte in der Regel relativ lange Betriebszeit vorhanden sind. So ist beispielsweise eine Lärmstörung während der Bauzeit auf eine absehbare Zeitspanne begrenzt, während Lärmemissionen, die vom Betrieb der Anlage ausgehen, dauerhaft berücksichtigt werden müssen.

Die relative Bedeutung der einzelnen Beurteilungsgrößen zueinander wird durch die prozentualen **Gewichtungsfaktoren** ausgedrückt. Die Einzelgewichte lassen sich zu 100 % aufsummieren.

Da diese Gewichtungsmatrix für alle Laufwasserkraftwerke allgemein gültig anwendbar sein soll, sind hierbei alle potentiellen Effekte berücksichtigt. Sie ist damit unabhängig von einer einzelnen Anlage und den Effekten, die bei der betrachteten Anlage auftreten.

Wie bereits erläutert, lässt die Gewichtung Spielraum für subjektive Momente. Um eine möglichst objektive Gewichtung zu erhalten, muss auf die Einbeziehung aller Interessen und auf eine neutrale und unabhängige Betrachtung geachtet werden. Dies konnte durch die hier verwendete Unterscheidung von vier Bewertungsdimensionen erreicht werden.

Bei der Bestimmung der Gewichtungsfaktoren wurden zunächst Dimensionen unterschieden, denen jeweils ein Punktwert zugeordnet wurde. Jeder der externen Effekte muss - jeweils für die Bau- und Betriebszeit - in Bezug auf die Dimensionen bewertet werden. Die Summe dieser Werte ergibt das relative Gewicht eines Effekts in der Gewichtungsmatrix. Die hier bestimmten Dimensionen sind die Wirkungsdauer, der Wirkungsbereich, die Häufigkeit des Auftretens des Effekts und das Ausmaß dieses Effekts. Die Summe der bei den Dimensionen verteilten Punkte ergibt den Gewichtungsfaktor eines Effekts je Wirkungszeit. Die Verteilung der Punkte auf die einzelnen Auswirkungen erfolgte nach dem Prinzip, dass kürzere bzw. weniger gewichtige Auswirkungen eine geringe, sehr bedeutende bzw. sehr lange andauernde Effekte eine höhere Punktezahl zugewiesen bekommen. Für die weitere Berechnung wurden die Punkte in Prozentzahlen dargestellt, wobei die Summe aller Einzelfaktoren 100 % ergibt.

Bei der Festlegung der Gewichtungen der einzelnen Effekte in der Gewichtungsmatrix wurde jeder Effekt im Gesamtzusammenhang betrachtet und dementsprechend die Punkteverteilung vorgenommen. Im Folgenden sind die Annahmen bzgl. der Dimensionen für die Festlegung der Gewichtung jedes Effekts näher erläutert.

Annahme 1 „Wirkungsdauer“: Je kürzer die Wirkungsdauer ist, desto geringer ist die Wirkung auf den Nutzen und die Kosten, was sich entsprechend in geringeren Punktezahlen niederschlägt.

Eine entscheidende Rolle bei der Bestimmung der Gewichtungsfaktoren kommt der Wirkungsdauer und dem damit verbundenen Zeitfaktor zu. So erhalten Effekte von kurzer Dauer einen Punkt, permanente Effekte sechs Punkte (s. Tabelle 6.1).

Dies kann beispielsweise an der Schifffahrt verdeutlicht werden. Müsste in der Bauzeit eines Kraftwerks der Baustellenbereich zeitweise für die Schifffahrt gesperrt werden, würde dies zu entsprechenden wirtschaftlichen Einbußen führen, allerdings nur während einer absehbaren Zeitspanne. Daher wird eine Totalsperrung möglichst komplett vermieden bzw. auf wenige Stunden beschränkt werden. Wird ein nicht oder nur teilweise schiffbarer Fluss dagegen durch mehrere

Staustufen wie z. B. am Neckar schiffbar gemacht, dauert dieser Effekt während der gesamten Betriebszeit bzw. vermutlich darüber hinaus an.

Annahme 2 „Wirkungsbereich“: Ist der Wirkungsbereich Mensch betroffen, muss im Vergleich zur Umwelt eine höhere Punktezahl vergeben werden.

Neben dem Zeitfaktor wird auch der Wirkungsbereich in die Gewichtung mit einbezogen. Dabei werden Auswirkungen auf den Menschen die höchstmögliche Punktezahl zugeordnet. Direkte Auswirkungen auf die Menschen erhalten eine höhere Punktezahl als ökologische Auswirkungen, wobei auch letztere streng genommen nur in Bezug auf den Menschen von Bedeutung sind. Es handelt sich hierbei um indirekte Effekte (s. Tabelle 6.1).

Je nach Maß der Beeinträchtigung werden Auswirkung auf den Menschen mit vier oder sechs Punkten bewertet. Ökologische Auswirkungen gehen grundsätzlich mit drei Punkten in die Gewichtung ein. Insofern trägt die Gewichtung sowohl direkten als auch indirekten Auswirkungen auf den Menschen Rechnung.

Exemplarisch verdeutlicht dies die Teilgewichtung der Hochwasserauswirkungen, die durch die Auswirkungen auf Mensch und Natur mit insgesamt neun Punkten gewichtet wurde. Dies lässt sich dadurch rechtfertigen, dass Hochwasser sowohl von den Kosten als auch von der emotionalen Bedeutung in der breiten Öffentlichkeit ein brisantes Thema ist und auch politisch immer wieder für Diskussionsstoff sorgt. Aktuell ist die Wahrnehmung für dieses Problem besonders stark sensibilisiert aufgrund der extremen Ereignisse der letzten Jahre. Kommt es bei einem Kraftwerksbau zu einer Verbesserung oder Verschlechterung der Hochwassergefahr, kann dies ein ausschlaggebender Punkt für oder gegen ein Projekt sein.

Annahme 3 „Häufigkeit“: Je häufiger ein Effekt auftritt, desto mehr Bedeutung sollte ihm zukommen, was sich in einer höheren Punktezahl widerspiegelt.

Zusätzlich wurde die Häufigkeit des Auftretens eines Effektes betrachtet, also die Relevanz des Effekts im Vergleich zu anderen Auswirkungen, d. h. kommt er in Deutschland bzw. bei den hier speziell betrachteten Laufwasserkraftwerken häufig vor oder spielt er durch die Seltenheit seines Auftretens eine geringere Rolle. So bekamen sehr häufige bzw. immer auftretende Effekte sechs Punkte, häufig auftretende vier Punkte und seltene Effekte zwei Punkte (s. Tabelle 6.1).

Schwellbetrieb in Deutschland möglichst vermieden. Kraftwerksbetreiber erhalten aus diesem Grund selten eine Genehmigung, im Normalbetrieb den Abfluss in Kipp- oder Schwellbetrieb zu nutzen. Daher kann angenommen werden, dass damit verbundene unnatürliche Wasserspiegelschwankungen bei Laufwasserkraftwerken in Deutschland eher selten sind. Zu beachten sind hier auch die Effekte, die nur bei einigen Kraftwerkstypen vorhanden sind. Bei Ausleitungskraftwerken beispielsweise tritt der Effekt „Mindestwasser“ zwangsläufig, in der Gesamtbetrachtung aller Laufwasserkraftanlagen, also einschließlich der Flusskraftwerke, hingegen nicht immer auf.

Unter dieser Dimension ist zusätzlich die Internalisierung berücksichtigt, d. h. ist ein Effekt in gewisser Weise bereits überwiegend internalisiert und hat er daher selten externe Auswirkungen, wurde eine geringere Punktezahl vergeben. Die Umweltschäden durch Benzinverbrauch beispielsweise sind durch die Ökosteuer und einen damit verbundenen höheren Benzinpreis, den der Betreiber oder die Baufirma, also der Verursacher, zahlt, bereits teilweise gedeckt. Solange allerdings kein Markt und somit bewerteter Preis für z. B. CO₂-Schäden besteht, werden die externen Kosten nicht komplett durch diesen erhöhten Preis gedeckt. Hierdurch erklärt sich der vergleichsweise niedrige Gewichtungsfaktor des Effekts „Fuhrpark/Materialversorgung“, der recht

klein erscheinen mag unter der Berücksichtigung, dass durch jede Maßnahme ein Transport ansteht.

Annahme 4 „Ausmaß“: Wenn geringere Schäden durch einen Effekt zu erwarten sind, desto unbedeutender sind die Auswirkungen, was mit einer geringeren Punktezahl gewichtet wird.

Grundlegend für die Verteilung der Gewichtungen ist das Ausmaß einer Auswirkung. Sind im Normalfall keine großen Veränderungen zu erwarten, wird ein mittlerer bis niedriger Faktor (zwei oder vier Punkte) gewählt (s. Tabelle 6.1). Wenn dagegen die durchschnittliche Auswirkung recht hoch ist, bekommt diese Dimension sechs Punkte zugewiesen. Die Verteilung der Punkte bei dieser Dimension ist offensichtlich am strittigsten. Es wurde daher darauf geachtet, dass ein durchschnittlicher Wert für das Maß der Auswirkungen ermittelt werden konnte.

Die Entnahme von Wasser aus dem Mutterbett an einem Ausleitungskraftwerk stellt z. B. einen erheblichen Eingriff in den Naturhaushalt dar, auch eine spezifisch angepasste Mindestwasserregelung kann die ursprünglichen Zustände nicht wieder herstellen. Bei den in dieser Studie betrachteten Ausleitungskraftwerken fließen beispielsweise Abflüsse bis zu 100 m³/s im Triebwasserkanal, während in der Mindestwasserstrecke lediglich 3 bis 9 m³/s belassen werden, also maximal lediglich ca. 1/10 des früheren Abflusses.

Der Wert dieser Dimension bei der Gewichtung ist nicht zu verwechseln mit der individuellen Bewertung eines Effekts bei einer betrachteten Anlage. Kommt es in diesem speziellen Fall zu sehr starken Auswirkungen, ist dies nicht bei der generellen Gewichtung zu berücksichtigen, sondern bei der folgenden Bewertung anhand der Skala 0-6. Wenn die Ergebnisse vergleichbar sein sollen, darf die Gewichtungsmatrix im Einzelfall nicht geändert oder angepasst werden.

Tabelle 6.1: Übersicht über die Punkteverteilung der einzelnen Dimensionen

Dimension	Aspekt	Punkte
Wirkungsdauer	kurze Dauer	1
	lange Dauer/permanent	6
Wirkungsbereich	Mensch - hohe Beeinflussung	6
	Mensch - niedrige Beeinflussung	4
	Umwelt	3
Häufigkeit	sehr oft/fast immer	6
	häufig	4
	selten	2
Ausmaß	stark	6
	mittel	4
	schwach	2

Die vorliegende Gewichtungsmatrix ist auf Basis der eingangs erläuterten Kriterien sowie der bei der Datenaufnahme gewonnenen Erkenntnisse für die hier exemplarisch aufgenommenen Anlagen erstellt worden.

Bei Vergleichen mehrerer Kraftwerke (s. Benchmarking im Abschnitt 4.1.3) bzw. unterschiedlicher Varianten (bei der Planung bzw. im Rahmen einer Umweltverträglichkeitsprüfung, s. Ab-

schnitt 4.1.1) kann eine projektspezifische Anpassung der Gewichtung vorgenommen werden, die dann allerdings für jede untersuchte Anlage bzw. Variante gleich bleiben muss.

Tabelle 6.2: Gewichtungsmatrix und Dimensionsbewertung

		Summe der Einzelfaktoren				Einzelfaktoren				
		Kosten		Nutzen		Wirkungs- dauer	Wirkungsbereich		Häufig- keit	Ausmaß
		Bau	Betrieb	Bau	Betrieb		Mensch	Umwelt		
E1	Wassermanagement									
E1.1	Hochwasser	14				1	6	3	2	2
			25			6	6	3	4	6
					25	6	6	3	4	6
E1.2	Grundwasser	14				1	4	3	4	2
			21			6	4	3	4	4
E1.3	Gewässergüte		21			6	4	3	4	4
E1.4	Mindestwasser		19			6	0	3	4	6
					13	6	0	3	2	2
E2	Gewässerstruktur									
E2.1	Morphologie		21			6	4	3	6	2
E2.2	Wasserspiegel- schwankung		15			6	0	3	2	4
E2.3	Geschiebe- und Schwebstoffhaushalt		17			6	0	3	6	2
E3	Lebensraum/Umfeld									
E3.1	Beeinflusste Gewässerstrecke	14				1	0	3	6	4
			19			6	0	3	6	4
E3.2	Fischbestand				17	6	4	3	2	2
E3.3	Durchgängigkeit	12				1	0	3	4	4
			21			6	0	3	6	6
E3.4	Gewässerrand- streifen				17	6	0	3	4	4

Tabelle 6.2: Gewichtungsmatrix und Dimensionsbewertung (Fortsetzung)

		Summe der Einzelfaktoren				Einzelfaktoren				
		Kosten		Nutzen		Wirkungs- dauer	Wirkungsbereich		Häufig- keit	Ausmaß
		Bau	Betrieb	Bau	Betrieb		Mensch	Umwelt		
E4	Raumnutzung									
E4.1	Flächenbedarf	18				1	4	3	6	4
			21			6	4	3	4	4
E4.2	Überflutungsflächen		21			6	4	3	4	4
E4.3	Landschaftsbild	13				1	4	0	6	2
				20			6	6	0	6
E4.4	Gewässerschutz/ Bewuchspflege				18	6	4	0	4	4
E4.5	Ökologische Ausgleichsflächen				19	6	4	3	2	4
E4.6	Verkehr/ Infrastruktur			9		1	4	0	2	2
						20	6	6	0	4
E4.7	Freizeitnutzung				22	6	6	0	4	6
E5	Treib- und Betriebs- stoffe									
E5.1	Treib- und Hilfsstoffe	14				1	6	3	2	2
				19			6	6	3	2
E5.2	Betriebsstoffe	8				1	0	3	2	2
				13			6	0	3	2
E6	Reststoffe									
E6.1	Rechen- und Schwemmgut		19			6	0	3	6	4
						23	6	4	3	6
E6.2	Zivilisationsmüll				25	6	4	3	6	6
E6.3	Ausgehobener Boden			9		1	4	0	2	2
E7	Transport									
E7.1	Fuhrpark/ Materialversorgung	8				1	0	3	2	2
				13			6	0	3	2
E7.2	Energieableitung		16			6	4	0	4	2
E8	Personal									
E8.1	Personalstand			17		1	6	0	6	4
						24	6	6	0	6

Tabelle 6.2: Gewichtungsmatrix und Dimensionsbewertung (Fortsetzung)

		Summe der Einzelfaktoren				Einzelfaktoren				
		Kosten		Nutzen		Wirkungs- dauer	Wirkungsbereich		Häufig- keit	Ausmaß
		Bau	Betrieb	Bau	Betrieb		Mensch	Umwelt		
E9	Schifffahrt									
E9.1	Schiffbarkeit	9				1	4	0	2	2
E9.2	Schiffbarmachung				18	6	6	0	2	4
E10	Emissionen									
E10.1	Abwärme	14				1	4	3	4	2
			19			6	4	3	4	2
E10.2	Lärm	20				1	6	3	4	6
			23			6	6	3	4	4
E10.3	Erschütterungen	16				1	4	3	4	4
			23			6	6	3	4	4
E10.4	Luftschadstoffe	14				1	6	3	2	2
					27	6	6	3	6	6
E11	Energie- und Rohstoffverbrauch									
E11.1	Baumaterialien			11		1	4	0	4	2
					14	6	4	0	2	2
E11.2	Energieeinsatz	8				1	0	3	2	2
			13			6	0	3	2	2
E12	Öffentlichkeit									
E12.1	Fachbesucher			11		1	4	0	4	2
					18	6	4	0	4	4
E12.2	Tourismus/ Naherholung			11		1	4	0	4	2
					18	6	6	0	4	2
E12.3	Allg. öffentliche Darstellung			9		1	4	0	2	2
					18	6	4	0	4	4
E13	Investitionen									
E13.1	Erhöhung der Kaufkraft			13		1	6	0	4	2
					16	6	6	0	2	2
E13.2	Zusätzlicher Verdienst			9		1	4	0	2	2
					14	6	4	0	2	2
Summe:		1.060								

6.3 Durchführung des entwickelten Bewertungsverfahrens

Die Durchführung des oben vorgestellten Bewertungsverfahrens wird im Folgenden ausführlich beschrieben und anhand des Fallbeispiels übersichtlich dargestellt.

6.3.1 Datenaufnahme und Darstellung der Daten

Zur Vorbereitung der Bewertung und zur Vereinfachung deren Durchführung ist eine möglichst detaillierte Datenaufnahme anzustreben. Für eine übersichtliche Darstellung der gewonnenen Daten wurde ein Datenerhebungsbogen in tabellarischer Form entwickelt, in dem sowohl die Auswirkungen als auch die Charakteristik der Effekte dokumentiert werden können. Der Schwerpunkt bei der Konzeption des Datenerhebungsbogens lag darauf, ihn derart zu gestalten, dass die Daten einer bestehenden Anlage oder eines Projekts eindeutig und individuell erfasst werden können. Wichtig ist dabei eine übersichtliche Zuordnung der Effekte und eine saubere Dokumentation. Nach einer ersten Erstellung des Erhebungsbogens konnte dessen Form während der Datenaufnahme der Fallbeispiele für die Praxis vereinfacht werden. Mit der vorliegenden Endversion wurde eine Grundlage für weitere Datenaufnahmen und die folgenden Bewertungen geschaffen.

Das in dieser Arbeit entwickelte Bewertungsverfahren baut auf der allgemeinen Bewertungsmatrix (s. Tabelle 3.2) auf. Diese bildet dabei die Grundlage sowohl für den Erhebungsbogen als auch für die folgende Bewertung. Wegen seiner Allgemeingültigkeit kann der Erhebungsbogen mit relativ geringem Aufwand zusätzlich zur Bewertung der Laufwasserkraftwerke für die Bewertung anderer Kraftwerkstypen oder auch weiterer Wassernutzungen umgestaltet werden. In der vorliegenden Form berücksichtigt der Datenerhebungsbogen alle durch Laufwasserkraftwerke hervorgerufenen Effekte, die in Kapitel 3 als solche identifiziert wurden.

Der Erhebungsbogen für die Datenaufnahme besteht zunächst aus einem Formular (s. Tabelle 6.3), in dem allgemeine Daten des Kraftwerks wie Leistung, Jahresarbeitsvermögen, Fallhöhe, Durchfluss und Turbinentyp festgehalten werden. Zusätzlich können hier allgemeine Informationen zur Anlage, die für die Bewertung von Bedeutung sind, vermerkt werden. Danach folgt eine **Erhebungstabelle** (s. Tabelle 6.5 und Anhang 9.1) für jedes einzelne Kriterium, die eine verbale Aufnahme der Daten ermöglicht.

In der Erhebungstabelle sind drei Spalten auszufüllen. Dabei muss zunächst identifiziert werden, welcher Effekt bei der betrachteten Anlage überhaupt eine Auswirkung hat, ob es sich bei dem Effekt um Kosten (negative Auswirkungen) oder Nutzen (positive Auswirkungen) handelt und in welcher Wirkungszeit (Bau oder Betrieb) der Effekt auftritt. Dies wird in der Spalte „Vorkommen“ vermerkt. Die bei der betrachteten Anlage nicht auftretenden Effekte werden hier weiterhin dargestellt und bleiben Bestandteil des Bewertungsverfahrens. Auf diese Weise erhält man eine klar strukturierte Übersicht über eintretende oder ausbleibende Effekte.

Tabelle 6.3: Teilbereich des Erhebungsbogens für die allgemeinen Kraftwerksdaten

Name der Anlage:	Illerkraftwerk II Tannheim
Technische Daten:	
Leistung:	12,4 MW
Jahresarbeitsvermögen:	65 Mio. kWh
Ausbaufallhöhe:	15,8 m
Ausbau durchfluss:	100 m ³ /s
Turbinen:	3 Francis-Turbinen; 1 Kaplan-Turbine
Inbetriebnahme:	1923
Anmerkung:	Oberhalb des Kraftwerks ist ein Speicherbecken angeordnet mit einem Nutzinhalt von 0,57 Mio. m ³ , das neben der natürlichen Speicherung von Abflussspitzen zum kurzfristigen Schwellbetrieb genutzt werden kann. Da die Daten der Bauzeit (vor 1923) nicht mehr vorliegen, können viele dieser Angaben lediglich geschätzt bzw. aus der Schrift „Die Iller - Geschichten am Wasser von Noth und Kraft“ [Kettemann & Winkler 1992] entnommen werden. Die EnBW betreut von Tannheim aus 13 Wasserkraftanlagen, von denen fünf an der Iller liegen. Drei dieser Anlagen wurden als Ausleitungskraftwerke am Illerkanal errichtet. Im Folgenden werden einzelne Werte aufgrund der Datenlage nicht direkt dem Kraftwerk Tannheim zugeordnet, sondern beziehen sich auf mehrere Anlagen, was jeweils gesondert gekennzeichnet ist.

Für die Markierung des Vorkommens wurden drei verschiedene, in Tabelle 6.4 erläuterte Zeichen verwendet.

Tabelle 6.4: Erläuterung zur Spalte „Vorkommen“

x	Effekt ist vorhanden; die Auswirkungen sind bewertbar.
(x)	Effekt ist vorhanden; die Auswirkungen lassen sich aufgrund der Datenlage nicht bewerten.
-	Effekt ist nicht vorhanden.

Der Identifizierung der auftretenden Effekte für eine spezifische Anlage folgt eine Beschreibung ihrer Auswirkungen auf alle Wirkungsbereiche an dieser speziellen Anlage, aufgeteilt nach Kosten und Nutzen je Wirkungszeit. Dabei kann auf die Erläuterungen im Abschnitt 3.4 zurückgegriffen und diese durch anlagenspezifische Auswirkungen ergänzt werden. Für die folgende Bewertung (s. Abschnitt 6.3.2) muss das Ausmaß der Auswirkung in der letzten Spalte durch eine kurze deskriptive Bewertung oder wenn möglich durch eine numerische Angabe festgelegt werden, hierbei können die Tabellen in Abschnitt 4.3 behilflich sein. Monetär vorhandene Größen können hierfür weiterhin genutzt werden. Die nicht-monetäre Bewertung erfolgt erst im nächsten Schritt.

Am Ende jedes Kriteriums können zur Ergänzung der Auswirkungen und Bewertungsangaben Kommentare notiert werden, um entweder auf andere Effekte mit ähnlichen oder den gleichen Auswirkungen zu verweisen und somit eine Abgrenzung für die Bewertung zu schaffen oder um weitere Informationen an dieser Stelle einzubringen, die möglicherweise keinen direkten Einfluss auf die Bewertung haben.

Diese Darstellung gewährleistet einen umfassenden Überblick über die gesamten Effekte einer Anlage nach der Datenerhebung, um eine adäquate Beurteilung bzw. Auswertung der Wasserkraftanlagen vornehmen zu können.

Tabelle 6.5: Auszug aus dem Datenerhebungsbogen (Beispiel Hochwasser)

E1.1 Hochwasser			
	Vorkommen	Beschreibung der Auswirkung:	Bewertung:
Kosten			
Bau	-	Wasser im Mutterbett; keine Veränderung zum ursprünglichen Wasserverlauf	
Betrieb	-	keine erhöhte Überschwemmungsgefahr	
Nutzen			
Betrieb	x	Kanal kann zur Hochwasserabfuhr herangezogen werden	Fassungsvermögen Kanal: ca. 100 m ³ /s
Kommentar	Kosten Hochwasser 1999 (hauptsächlich Schäden an Wasserkraftanlage, die damit internalisiert sind): ca. 0,5 Mio. €		

Anhand der erhobenen Daten werden die ermittelten Bewertungsmöglichkeiten aus dem Datenerhebungsbogen (Spalte „Vorkommen“) in der digitalen Version automatisch in die so genannte **Auswertungsmatrix** übertragen. In der nun entstandenen Auswertungsmatrix (s. Tabellen 6.6 und 6.10) sind alle vorhandenen Effekte einer Anlage übersichtlich dargestellt und mit den Kennzeichen aus Tabelle 6.4 versehen. Diese tabellarische Darstellung verschafft ohne weitere Auswertung sehr schnell einen Überblick, ob und welche Effekte vorhanden sind und wann diese auftreten.

Tabelle 6.6: Auswertungsmatrix (Teil Wassermanagement)

		Kosten		Nutzen	
		Bau	Betrieb	Bau	Betrieb
		1	2	3	4
E1	Wassermanagement				
E1.1	Hochwasser	-	-		x
E1.2	Grundwasser	-	(x)		
E1.3	Gewässergüte		(x)		
E1.4	Mindestwasser		x		x

6.3.2 Skalierung und Bewertung der Daten

Liegen die originären Messgrößen der einzelnen Auswirkungen bereits alle in der gleichen Dimension vor, sind sie untereinander vergleichbar. Ist dies wie bei der Bewertung der externen Effekte definitiv nicht der Fall ist, so müssen die Ergebnisse vergleichbar gemacht werden, indem sie auf Basis einer Punkteskala bewertet werden.

Der komplette Datenerhebungsbogen besteht aus zwei Teilen; dem ersten, oben bereits erläuterten Teil zum direkten Ausfüllen bei der Datenaufnahme vor Ort und dem zweiten, der die auf jeden Effekt angepassten **Bewertungsskala** beinhaltet. Anhand dieser Bewertungsskala wird nach abgeschlossener Datenaufnahme das Ausmaß der Auswirkungen auf Mensch und Umwelt bewertet.

In der Bewertungsskala ist wiederum jeder mögliche Wirkungsbereich eines Effekts dargestellt, um die Beeinflussung von Auswirkungen dokumentieren und bewerten zu können. Im Gegensatz zu der qualitativen, verbalen Bewertung bei der Datenaufnahme gibt die Bewertungsskala nun die Möglichkeit, die Auswirkungen quantitativ zu bewerten. Hierbei wird auch das Maß der nicht in Zahlenwerten vorhandenen Auswirkungen auf die einzelnen Wirkungsbereiche erfasst. Für eine genaue Einschätzung muss auf Bewertungsmethoden wie Statistiken, Befragungen und Erfahrungen aus anderen Projekten (s. a. Kapitel 4.3) zurückgegriffen werden.

Da sowohl qualitative als auch quantitative Ergebnisse vorliegen, wird die Bewertung auf Basis einer Punkteskala von 0 bis 6 durchgeführt. Folglich werden qualitative Aussagen in Wertziffern überführt. Ziel ist es, ordinal skalierte Merkmale in eine metrische (Kardinal-) Skala zu überführen und somit aus qualitativen Ergebnisgrößen mit deskriptiver Rangordnung quantitative Ergebnisgrößen mit messbarer Rangordnung zu erhalten. Es muss dabei beachtet werden, dass die kardinal skalierten Werte der ordinal ermittelten Ergebnisgrößen im Vergleich zu den kardinal gemessenen nicht verzerrt dargestellt sind.

Bei dieser Studie wird eine 7-ziffrige Skala von 0-6 eingesetzt, da diese sowohl eine hinreichend exakte Klassifikation ermöglicht als auch entsprechend übersichtlich ist. Die Wahl der Skala obliegt subjektiven Kriterien. Ziel sollte es sein, einerseits ausreichend viele unterschiedliche Bewertungsstufen zu ermöglichen, ohne andererseits so viele Möglichkeiten zu schaffen, dass der Bewertende mit der Einstufung der Sachverhalte überfordert ist, was ebenfalls zu Fehlklassifikationen führen kann. So erscheint bei einer Skala mit nur fünf Ziffern von 0-4 eine genauere Abstufung nicht erreichbar, während mehr als 11 Wertziffern eine genaue Abstufung mit angemessenem Zeitaufwand nicht mehr erlauben.

Im Kontext dieser Arbeit bietet sich daher eine siebenstufige Skala an. Bei der praktischen Durchführung der Bewertung stellt sich die Schwierigkeit ein, dass Hilfwerte für den Maximalwert jedes Effekts herangezogen werden müssen. Dies ist im allgemeinen schwierig und oft nicht eindeutig festzulegen. Mit den sieben Wertbereichen, die in Tabelle 6.7 in Anlehnung an die Gewässerstrukturgütekartierung (s. a. [Träbing 1996] und [Aderhold 1999]) festgelegt sind, ist eine Bewertung der externen Kosten und Nutzen in hinreichend gutem Maß möglich.

Die einzelnen Wertziffern müssen, um das Ausmaß der Auswirkung so eindeutig wie möglich zu definieren, anhand eines unmissverständlichen verbalen Erfüllungsgrades beschrieben werden (s. Tabelle 6.7).

Tabelle 6.7: Wertziffernskala

Skala	verbale Beschreibung
0	Absolut keine Beeinflussung
1	Geringe Beeinflussung
2	Mäßige Beeinflussung
3	Merkliche Beeinflussung
4	Deutliche Beeinflussung
5	Starke Beeinflussung
6	Übermäßige (maximale) Beeinflussung

Die tatsächliche Bewertung externer Effekte ist trotz umfassender Versuche in zahlreichen Studien sehr komplex. Bei der praktischen Durchführung ist es empfehlenswert, verschiedene Experten in die Bewertung mit einzubeziehen, die das notwendige Know-How für die unterschiedlichen externen Effekte mitbringen. Für eine Vielzahl der diskutierten externen Effekte ist nämlich spezielles Fachwissen aus unterschiedlichen Disziplinen notwendig.

Anhand der Bewertungsskala (s. Tabelle 6.8 und Anhang 9.1) werden die Auswirkungen auf die bei diesem Effekt betroffenen Wirkungsbereiche quantifiziert. Wie in der Erhebungstabelle sind auch hier ausschließlich die Wirkungsbereiche, die möglicherweise von diesem Effekt berührt sind, aufgetragen.

Bei dem exemplarisch dargestellten Kraftwerk in Tannheim traten z. B. während der Bauzeit keine Hochwasserauswirkungen auf. Daher können alle Wirkungsbereiche von vornherein mit der Wertziffer „0“ versehen werden. Die negativen Auswirkungen von Hochwasser durch den Bau der Wasserkraftanlage während des Betriebes ergeben sich nur aus der Verringerung der Überflutungsfläche, was unter E4.2 „Überflutungsflächen“ berücksichtigt wird. Die externen Kosten auf die Hochwassersituation können daher ebenfalls mit „0“ beziffert werden. Positive Hochwasserauswirkungen sind in diesem Fall eher gering bis durchschnittlich. Da die Anlage außerorts liegt und nicht zum Baden o. ä. genutzt wird, ist die Gesundheit der Anlieger schwach betroffen und wurde daher nur als eine „geringe Beeinflussung“ („1“) angesehen. Allerdings wirkt es auf die Anwohner positiv zu wissen, dass der Kanal eine größere Menge des Hochwasserabflusses aufnehmen kann, was ein Überfluten der Felder mindert oder verhindert; der Wirkungsbereich „Mensch-Wohlbefinden“ wurde als eine „merkliche Beeinflussung“ („3“) und Flora und Fauna jeweils als eine „mäßige Beeinflussung“ („2“) eingestuft.

Die Wertziffern je Wirkungsbereich und Wirkungszeit werden in der digitalen Version direkt in die spezifische Bewertungsmatrix übertragen, um in die Berechnung des Gesamtnutzwertes einzufließen.

Tabelle 6.8: Bewertungsskala (Beispiel Hochwasser)

Bewertungsskala												
Skala	Gesundheit			Wohlbefinden			Flora			Fauna		
	Kosten		Nutzen	Kosten		Nutzen	Kosten		Nutzen	Kosten		Nutzen
	Bau	Betrieb	Betrieb	Bau	Betrieb	Betrieb	Bau	Betrieb	Betrieb	Bau	Betrieb	Betrieb
0	x	x		x	x		x	x		x	x	
1			x									
2									x			x
3						x						
4												
5												
6												

6.3.3 Spezifische Bewertungsmatrix

Nach der Bewertung eines jeden Unterpunkts wird durch Zusammenführung der Daten der einzelnen Bewertungsskalen aus der allgemeinen Bewertungsmatrix die **spezifische Bewertungsmatrix** für eine bestimmte Anlage bzw. Variante generiert. Die spezifische Bewertungsmatrix (s. Tabellen 6.9 und 6.11) ist wiederum in zwei Bereiche aufgeteilt. Die **Gewichtungsmatrix** (s. Abschnitt 6.2) stellt die linke Seite dar, welche die Wichtigkeit jedes möglichen Effekts aus allgemeiner Sicht bewertet. Die rechte Seite beinhaltet die im Datenerhebungsbogen mit Wertziffern bewerteten Unterpunkte der einzelnen Bewertungsskalen (s. Abschnitt 6.3.2), welche in der digitalen Version direkt bei der Eingabe in die spezifische Bewertungsmatrix übertragen werden.

Da sich Effekte zu unterschiedlichen Wirkungszeiten auf verschiedene Wirkungsbereiche ungleich auswirken können, wurde in der 4. Zeile der Gewichtungsmatrix eine Nummerierung eingeführt. Dabei steht für Kosten während der Bauzeit „I“ und im Betrieb „II“; Nutzen während des Baus werden mit „III“ und während der Betriebszeit „IV“ gekennzeichnet. Diese Nummern finden sich bei den fünf Wirkungsbereichen wieder, so dass im Folgenden Wirkungszeit und -bereich gekoppelt werden können. Die hervorgehobenen Zellen zeigen auf einen Blick alle potentiellen Auswirkungen.

Die Darstellung der Gewichtungsfaktoren in der spezifischen Bewertungsmatrix erfolgt, wie erwähnt, in prozentualen Werten. Für deren Berechnung aus Tabelle 6.2 wurde jeder dort ermittelte Punktwert durch die Gesamtzahl aller Punkte (Summe: 1.060) dividiert, was hier beispielhaft am Wert „Mindestwasser, Nutzen, Betrieb“ aufgezeigt ist:

$$\text{Gewichtungsfaktor "Mindestwasser, Nutzen, Betrieb"} = 13/1.060 = 1,23 \%$$

Die Kriterienbewertung erfolgt durch dimensionslose Zahlen auf ein und derselben metrischen Skala; daher können diese Werte addiert und subtrahiert, multipliziert und dividiert werden. Diese Möglichkeit wird zur Ermittlung des Gesamtnutzwerts herangezogen. Die Einzelwerte werden dabei nicht einfach zu einem Gesamtwert addiert, da berücksichtigt werden muss, dass nicht jedes Kriterium gleich wichtig ist bzw. nicht die gleiche Wirkungsdauer aufweist; dies geschieht

durch die Gewichtungsmatrix. Das Produkt aus Gewichtungsfaktor und Wertziffer ergibt einen Einzelnutzwert zu jeder Wirkungszeit. Die Einzelnutzwerte werden zum Teilnutzwert von jedem Effekt einzeln aufsummiert. Der Teilnutzwert gibt die Höhe und das Vorzeichen (positive oder negative Auswirkung) eines Effekts an. Hierbei werden Kosten stets als negative, Nutzen als positive Nutzwerte erfasst.

Hierbei berechnet sich beispielsweise der Teilnutzwert „Mindestwasser“ in Tabelle 6.9 folgendermaßen:

$$\text{Teilnutzwert "Mindestwasser"} = 1,79\% \cdot (4 + 4) + 1,23\% \cdot (2 + 2) = -0,094$$

Das oben beschriebene Verfahren kann gleichzeitig zur Bewertung mehrerer Anlagen eingesetzt werden. Zu diesem Zweck müssen mehrere Matrizen angelegt werden und gemäß der oben beschriebenen Arbeitsschritte bearbeitet werden. Die Anwendung des Bewertungsverfahrens hat den Vorteil, dass die Ergebnisse für verschiedene Anlagen verglichen werden können und somit eine Angabe einer Rangordnung der Anlagen möglich ist. Für die Reihung der Anlagen ist zunächst einmal der Gesamtnutzwert und die jeweiligen Kosten- und Nutzen-Anteile ausschlaggebend. Diese Ergebniswerte berechnen sich aus folgenden Teil- bzw. Einzelnutzwerten:

- **Gesamtnutzwert**, der sich aus der vertikalen Summe aller Teilnutzwerte (Kosten und Nutzen) ergibt;
- **Kosten-Anteil**, der aus der Summe der negativen Einzelnutzwerte in den Spalten I und II gebildet wird;
- **Nutzen-Anteil**, wofür die positiven Einzelnutzwerte in den Spalten III und IV aufsummiert werden.

Neben der additiven Betrachtungsweise, die zu einem Absolutwert für den Gesamtnutzen führt, bietet sich eine relative Betrachtungsweise („**Verhältnis N/K**“) an, bei der die Kosten und Nutzen zueinander ins Verhältnis gesetzt werden. Dies ist möglich, indem statt der Summe ein Quotient gebildet wird und zwar aus dem Nutzen-Anteil (N) und dem Kosten-Anteil (K).

Für eine übersichtliche Vergleichbarkeit ist neben den Teilnutzwerten jedes einzelnen Effekts auch die Summe dieser Werte für jeden Oberbegriff angegeben, der sich in dem dargestellten Beispiel zu

$$\text{Teilnutzwert "Wassermangement"} = 0,189 + (-0,04) + (-0,099) + (-0,094) = -0,044$$

ergibt. Daran kann man sehr leicht ablesen, welche Gruppe bei der betrachteten Anlagenausführung in erhöhtem Maß positiv oder negativ ins Gewicht fällt.

Maximalwerte wurden unter der Annahme berechnet, dass im schlechtesten Fall alle negativen Effekte einer Anlage mit der Wertziffer „6“ und alle positiven Effekte mit dem Wert „0“ bewertet werden (z. B. *Teilnutzwert* "Mindestwasser" = $1,79\% \cdot (6 + 6) + 1,23\% \cdot (0 + 0) = -0,21$) bzw. im besten Fall alle Nutzen den Wert „6“ und alle Kosten den Wert „0“ erhalten. Tatsächlich werden diese Werte allerdings nie auftreten, da bei jeder Anlage einige Effekte (sowohl positive als auch negative) immer in einem geringen Maß vorhanden sind. So ist beispielsweise eine Veränderung der Landschaft als negativer externer Effekt genauso wenig zu umgehen wie externe Nutzen durch zusätzliche Arbeitsplätze während des Baus und meist auch während des Betriebs.

Ist dieser Gesamtnutzwert eines Projekts positiv, überwiegen die positiven Auswirkungen die negativen. Ist das Ergebnis gleich „0“ bzw. nur minimal von diesem Wert abweichend, wiegen die Nutzen die Kosten in etwa auf. Für diesen Wertebereich kann man ein 5 %-Intervall der maximalen Kosten bzw. Nutzen ansetzen. Hierbei muss berücksichtigt werden, dass grundsätzlich die Kosten einen höheren Maximalwert besitzen als die Nutzen, daher kann man annehmen, dass im Wertebereich zwischen „-0,36“ und „+0,22“ (5 % der maximalen Kosten bzw. Nutzen) die Kosten den Nutzen entsprechen.

Wird eine relative Bewertung vorgenommen und der Quotient aus dem Nutzen- und Kosten-Anteil gebildet, so übersteigen bei einem Wert des Quotienten größer 1 die Nutzen die Kosten. Der Quotient drückt stets das Vielfache des Nutzens in Bezug auf die Kosten aus.

Zu beachten ist die Verteilung der Kosten und Nutzen, die nicht die gleichen Maximalwerte aufweisen, was in den oben genannten Werten bereits deutlich wird. Es können sich mehr als das 1,5fache an Kosten im Vergleich zu den Nutzen ergeben. Dies wird deutlich, wenn man theoretisch alle Auswirkungen mit „6“ bzw. „3“ bewerten würde. Es ergäben sich Gesamtnutzwerte von „-2,82“ bzw. „-1,41“, also jeweils im negativen Bereich.

Um eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu ermöglichen, bietet sich die Umrechnung der Werte in Prozentzahlen an. Eine entsprechende Darstellung bringt das relative Verhältnis zwischen den Kosten- und Nutzen-Anteilen in Abbildung 6.1. Hier werden die jeweiligen Kosten- und Nutzen-Anteile einer Anlage zueinander ins Verhältnis gestellt. Auf der y-Achse sind die Nutzen von 0 % bis 100 % aufgetragen, wobei sich hier die 100 % auf den maximalen Nutzen-Wert von „4,46“ bezieht. Die x-Achse stellt die Kosten ebenfalls im Bereich bis 100 % dar, dabei beträgt der maximale Kosten-Wert „-7,28“.

Die Überführung in Prozentwerte und die grafische Gegenüberstellung von Kosten und Nutzen in Abbildung 6.1 ermöglicht es, die Attraktivität eines Kraftwerks zu visualisieren. Für Werte auf der Winkelhalbierenden gleichen sich Kosten und Nutzen exakt aus. Beispielsweise ein Kraftwerk, das 30 % der maximalen externen Kosten-Anteile verursacht, aber auch 30 % der maximalen externen Nutzen-Anteile bringt. Bei allen Kraftwerken, deren Ergebnis oberhalb der Winkelhalbierenden liegt, überwiegen die Nutzen-Anteile die Kosten-Anteile. Umgekehrt gilt für Werte unterhalb der Winkelhalbierenden, dass ein höherer Kostenanteil besteht. Werden alle Varianten in dieser Form dargestellt, können für die Betrachtung der externen Effekte einige Alternativen bereits zu Beginn der Auswertung bevorzugt bzw. ausgeschlossen werden.

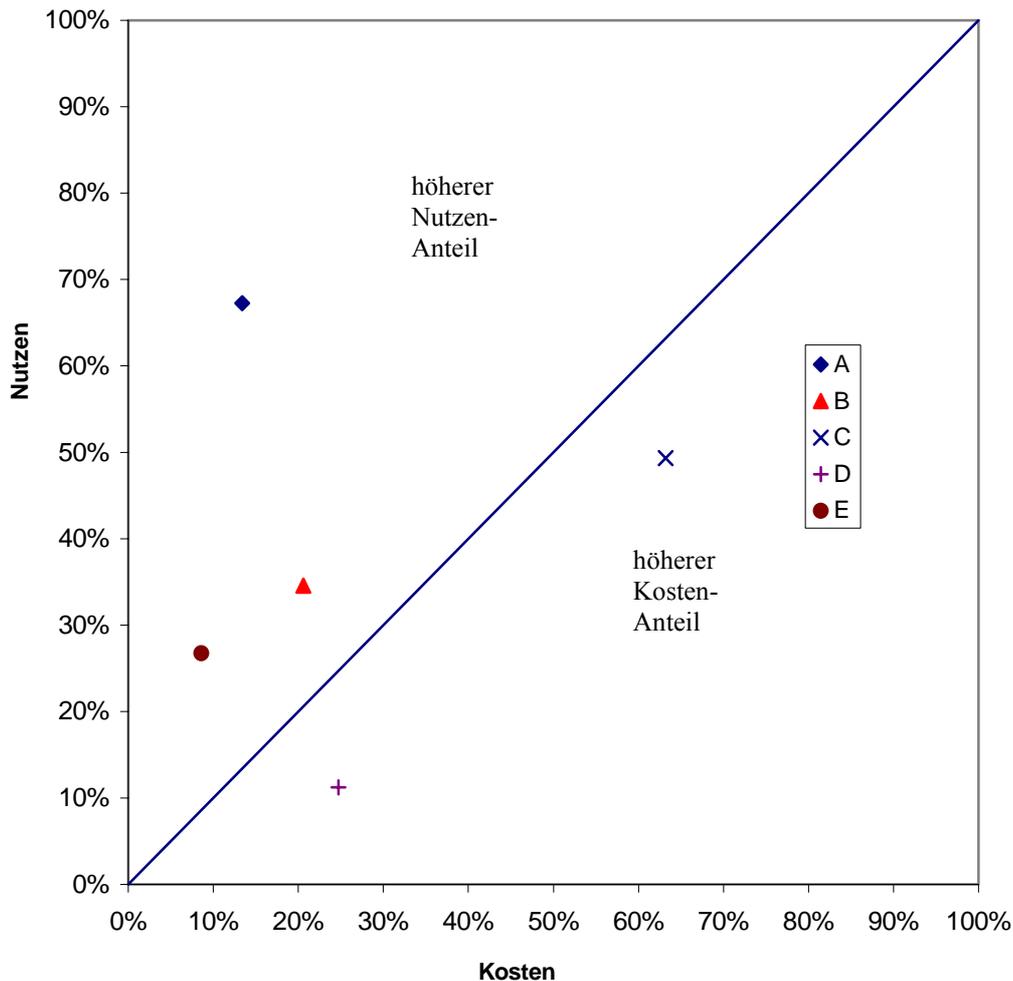


Abbildung 6.1: Relative Attraktivität von Kraftwerksvarianten

In Abbildung 6.1 sind mögliche Ergebnisse einer Variantenuntersuchung dargestellt. Die Varianten A, B und E besitzen einen höheren Nutzen-Anteil. Variante A weist einen hohen Nutzen-Anteil (knapp 70 %) im Vergleich zu einem recht geringen Kosten-Anteil (gut 10 %) auf und sollte aufgrund dieser Aspekte bevorzugt werden. Im Vergleich der Varianten B und E liegt der Wert der Variante E weiter entfernt von der Winkelhalbierenden, was ein positiveres Verhältnis der Nutzen-/Kosten-Anteile als bei Variante B anzeigt. Variante C und D liegen annähernd auf einer parallelen Gerade zur Winkelhalbierenden, was bedeutet, dass sie in etwa das gleiche Verhältnis von Kosten-Anteil zu Nutzen-Anteil besitzen. Das Diagramm gibt keine Antwort zur Reihung dieser beiden Varianten, da hier individuell betrachtet werden muss, ob man den höheren Kosten-Anteil zugunsten eines ebenfalls höheren Nutzen-Anteils akzeptiert.

Berücksichtigt man zur Entscheidungsfindung nur die externen Effekte, sind die dimensionslosen Gesamtnutzwerte entscheidend. Die Alternative mit den höchsten Gesamtnutzwerten erfüllt die Präferenzen des Entscheidungsträgers am besten. Für eine vollständige Analyse eines Projekts muss zusätzlich auf jeden Fall eine herkömmliche Wirtschaftlichkeitsrechnung durchgeführt werden. Das gestaltet die Entscheidungsfindung erheblich schwieriger, da die Ergebnisse als gleichwertig betrachtet werden sollen, aber isoliert von einander zu einer Entscheidung führen, welche nicht unbedingt die gleiche sein muss.

Das vorliegende Bewertungsverfahren soll neben der Entscheidungsfindung beispielsweise aus mehreren Varianten auch grundsätzlich dazu dienen, besonders die Nutzen eines Kraftwerks herauszuarbeiten. Dies kann zum einen durch die absoluten Kosten- und Nutzen-Anteilen geschehen, aber auch durch die übersichtliche Darstellung aller externen Effekte, die hauptsächlich die Nutzen herausarbeitet.

Die Durchführung einer UVP (s. Abschnitt 4.1.1) umfasst hauptsächlich die für die externen Effekte aufgeführten Bereiche. Durch diese Katalogisierung können von Beginn an alle negativen und vor allem positiven Effekte einer geplanten Maßnahme aufgezeigt werden, was u. a. hilfreich beim Umgang mit der Öffentlichkeit und den von Interessensverbänden erwarteten Einwänden.

Bei der vergleichenden Betrachtung dieses Verfahrens im Rahmen der Methode des Benchmarkings (s. Abschnitt 4.1.3) können Teilnutzwerte bereits zur Entscheidungsfindung herangezogen werden. Hierbei kann z. B. an einer Anlagenkette oder einer Auswahl von Anlagen mit ähnlichen Bedingungen für jeden Effekt die bestmögliche Lösung gefunden werden. Bei einem Variantenvergleich sind die Schwachstellen der einzelnen Varianten in Teilbereichen sehr gut erkennbar. Es wird schnell deutlich, wo man effektiv zur Verbesserung ansetzen kann, um die optimale Planung eines Kraftwerks zu erhalten.

Generell kann davon ausgegangen werden, dass die Anlage mit dem größtmöglichen Nutzen, also dem höchsten Nutzwert, die Optimallösung liefert. Da sich, wie bereits mehrfach erwähnt, sowohl im Zuge der Festlegung der Gewichtungsfaktoren als auch bei der Bewertung selbst die Möglichkeit zur Bildung verschiedener Festlegungsvarianten bietet, wird es selten zu einer von allseitigem Einverständnis getragenen Lösung kommen.

Das entwickelte Bewertungsverfahren kann und soll jedoch dazu dienen, die Sachverhalte transparent darzustellen, dadurch Entscheidungen zu erleichtern und diese begründbar und nachvollziehbar darzustellen. Das Bewertungsverfahren bietet zudem die Möglichkeit, auch unterschiedliche Szenarien durchzuspielen, um die jeweils optimale Variante aufzuzeigen.

6.5 Fallbeispiele

Anhand der Fallbeispiele wurde das entwickelte Verfahren auf Praxistauglichkeit überprüft. Zunächst wird das Kanalkraftwerk Tannheim als Einzelanlage detailliert dargestellt, anschließend alle Illerkraftwerke an der oberen Iller gemeinsam als Anlagenkette betrachtet.

Im Folgenden werden zunächst die Anlagen selbst und die Durchführung der Datenaufnahme und die dabei entstehenden Probleme beschrieben, bevor die Bewertung der Effekte an den Anlagen und die Ergebnisse dargestellt sind.

6.5.1 Allgemeine Informationen zu den Fallbeispielen

An der oberen Iller werden fünf Kraftwerke durch die EnBW (s. Abbildung 6.2) betrieben. Am Illerkanal befinden sich die drei Kanalkraftwerke Tannheim, Unteropfingen und Dettingen. Das Kleinkraftwerk Mooshausen, am Wehr der Kanaleinleitung gelegen, nutzt die vorgeschriebene Mindestwassermenge in der Entnahmestrecke. Oberhalb des Kanals liegt das Flusskraftwerk Aitrach direkt an der Iller. Für die im vorigen Abschnitt detailliert betrachtete Beispielanlage wurde das Illerkraftwerk II Tannheim, eines der Kanalkraftwerke, herangezogen.



Abbildung 6.2: Lageplan der betrachteten Illeranlagen [EnBW 2005]

Die Iller

Die Gebirgsbäche Breitach, Stillach und Trettach fließen bei Oberstdorf in den Allgäuer Alpen zusammen, woraus die Iller entspringt und nach ca. 148 km bei Ulm in die Donau mündet. Sie verfügt über ein mittleres Gefälle von 2,15 ‰.

Die Iller bildet auf etwa 60 km Länge eine ehemals natürliche Grenze zwischen den Bundesländern Baden-Württemberg und Bayern. Durch die Veränderung des Flusslaufs ist die Iller inzwischen nicht mehr exakt der Grenzfluss zwischen den beiden Bundesländern.

Durch die jahreszeitlich bedingten Temperaturänderungen und die damit verbundene Schneeschmelze kommt es zu einer stark variierenden Wasserführung. Die Durchflüsse schwanken zwischen 10 und 900 m³/s mit einem mittleren Durchfluss von etwa 60 m³/s. Der Fluss entwickelt sich in den wärmeren Jahreszeiten, bedingt durch die Schneeschmelze, zu einem reißenden Strom, der sich in den kühleren Jahreszeiten wieder zu einem kleineren Fluss zurückbildet.

Energetische Nutzung der Iller

Bereits 1859-1893 wurde eine Korrektur des Illerverlaufs vorgenommen, bei der der Laufweg begradigt, um ca. 12 km in dem korrigierten Abschnitt verkürzt und das Flussbett von einer Breite bis zu 1.000 m auf ca. 52,5 m eingengt wurden. Die Folgen dieser Korrektur sind bis heute schwer zu kontrollieren. Durch die Begradigung erhöht sich die Fließgeschwindigkeit, was eine stärkere Sohlenerosion verursacht. Sohlenschwellen sollen diesem Problem entgegenwirken, was allerdings die Veränderung der Fließgewässercharakteristik nach sich zieht, da Sohlenschwellen

eine längere Verweildauer des Wassers bewirken. Dies konnte anhand des Nachweises von verschiedenen Seeplanktonarten, die sich in Gewässern mit geringer Fließgeschwindigkeit ansiedeln, belegt werden [Kettemann & Winkler 1992].

Der württembergisch-bayerische Staatsvertrag von 1917 sichert die Nutzung des Flusses auf einer Länge von knapp 30 km für das heutige Baden-Württemberg. 1918 wurde die Nutzung der Iller mit vier Gefällestufen genehmigt. Infolge dessen bauten die Oberschwäbischen Elektrizitätswerke (OEW) in der Zeit von 1919-1927 zwischen Mooshausen und Kellmünz den Illerkanal. Im Laufe der Zeit sind die OEW über mehrere gesellschaftsrechtliche Veränderungen mit Mehrteileignerschaft in die EnBW übergegangen. Im Zuge des Kanalbaus wurden gleichzeitig die drei Kanalkraftwerke Tannheim, Unteropfingen und Dettingen errichtet [EnBW 2005]. Die Ausleitung in den Illerkanal befindet sich am Wehr Mooshausen (s. Abbildung 6.3). Das Flusskraftwerk Aitrach begann erst 1950 mit dem Betrieb, da sich die Fertigstellung der Anlage durch den 2. Weltkrieg verzögerte.

Seit 1991 gibt es eine gesetzliche Mindestwasserregelung für das alte Flussbett der Iller, welche vorschreibt, dass jahreszeitlich bedingt 3 bis 9 m³/s im Mutterbett verbleiben müssen. Der darüber liegende Illerabfluss kann für die Energieerzeugung genutzt werden. Dies bedeutete für die EnBW einen Verlust von ca. 16 Mio. kWh pro Jahr. Um diesen Verlust zu verringern, erhielt die EnBW die Genehmigung für den Bau einer Kleinwasserkraftanlage am Wehr bei Mooshausen, die 1994 in Betrieb ging. Diese Kleinwasserkraftanlage verfügt über ein Nutzgefälle von 6,1 m und erzeugt ca. 2,7 Mio. kWh Strom pro Jahr. Mit dem Bau dieses Kraftwerks wurde ein Meilenstein bei der Vereinigung von Ökologie und Ökonomie gesetzt. Die Anlage ist ein Beweis dafür, dass sich diese beiden Interessensgruppen durchaus vereinen lassen.

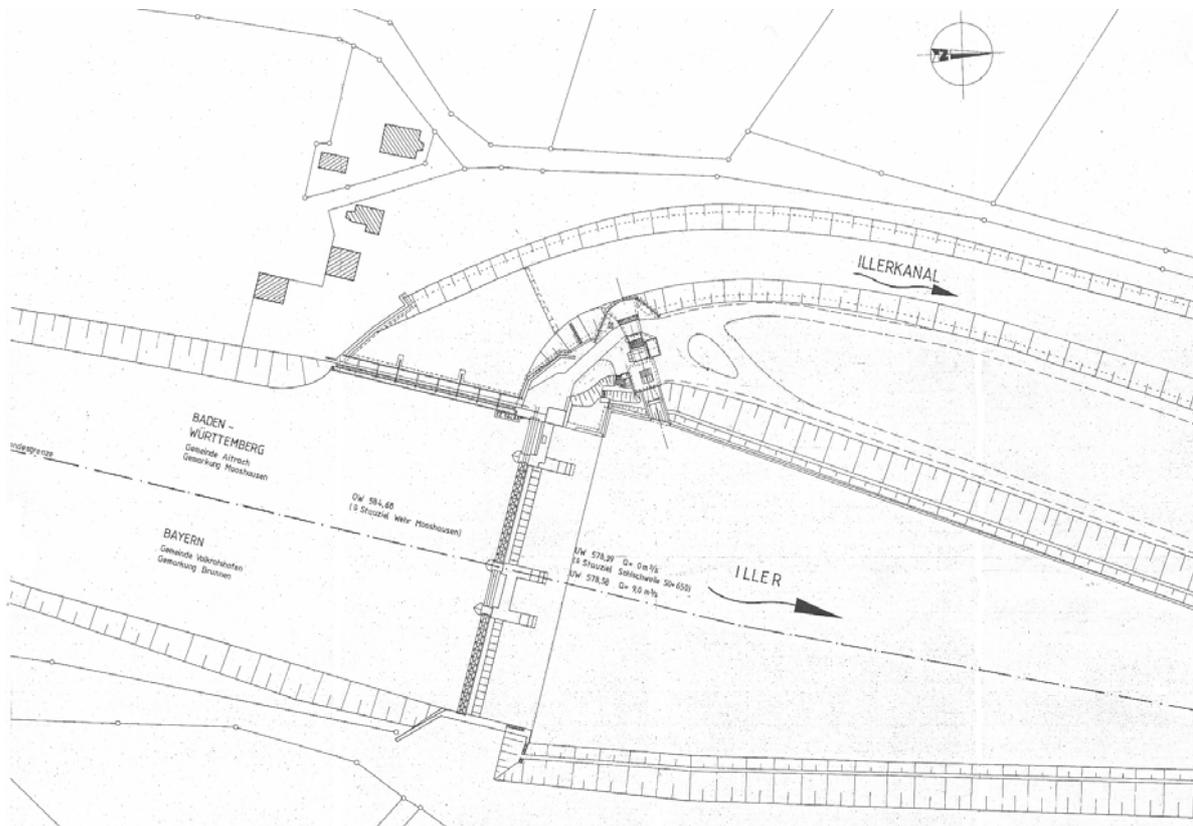


Abbildung 6.3: Lageplan des Wehres Mooshausen mit der Ausleitung in den Illerkanal und dem Kleinkraftwerk Mooshausen

Die gesamte zur Verfügung stehende Kraftwerksleistung an der oberen Iller beträgt 48.000 kW, damit können durchschnittlich 225 Mio. kWh im Jahr erzeugt werden, was derzeit ungefähr der Stromversorgung von 70.000 Haushalten entspricht [EnBW 2005].

Illerkraftwerk II Tannheim

Die detailliert dargestellte Anlage in Tannheim ging 1923 in Betrieb. Das Kraftwerk Tannheim liegt am Illerkanal und ist somit ein Ausleitungskraftwerk. Mit einer Ausbaufallhöhe von 15,84 m und einem Ausbaudurchfluss von $100 \text{ m}^3/\text{s}$ hat es ein Regeljahresarbeitsvermögen von ca. 65 GWh/a. Die drei Francisturbinen und die später eingebaute Kaplan turbine erbringen eine Leistung von insgesamt 12.430 kW. Oberhalb des Kraftwerks ist im Kanal ein Speicherbecken mit einem Nutzinhalt von 0,57 Mio. m^3 angeordnet.

Der Grundriss des Kraftwerks Tannheim und die beiden Schnitte des Kraftwerks zum einen durch die Achse einer der drei Francisturbinen (Schnitt A-A) und zum anderen durch die zusätzliche Kaplan turbine im Maschinenhaus M4 (Schnitt B-B) sind in den Abbildungen 6.4 und 6.5 dargestellt.

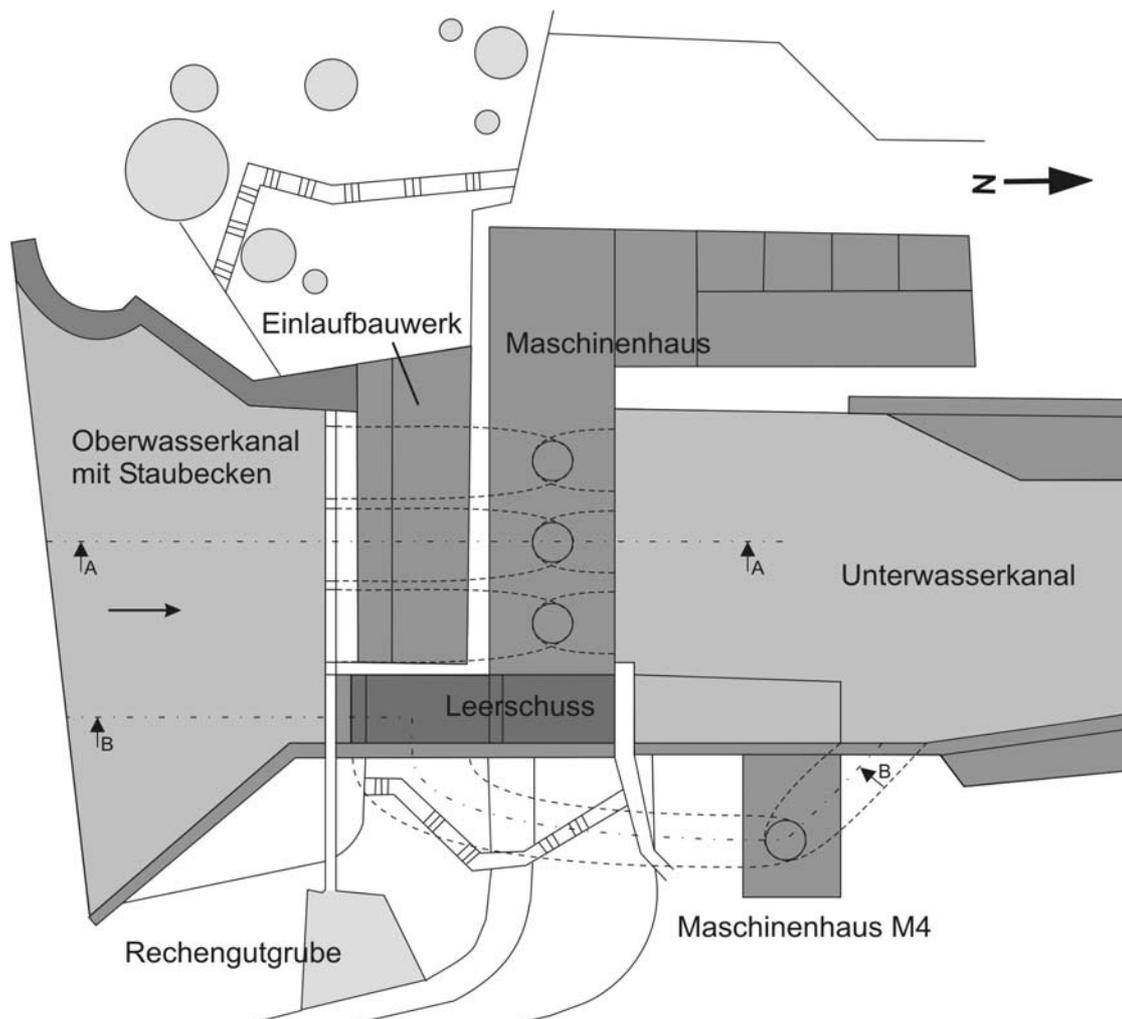


Abbildung 6.4: Grundriss des Kraftwerks Tannheim

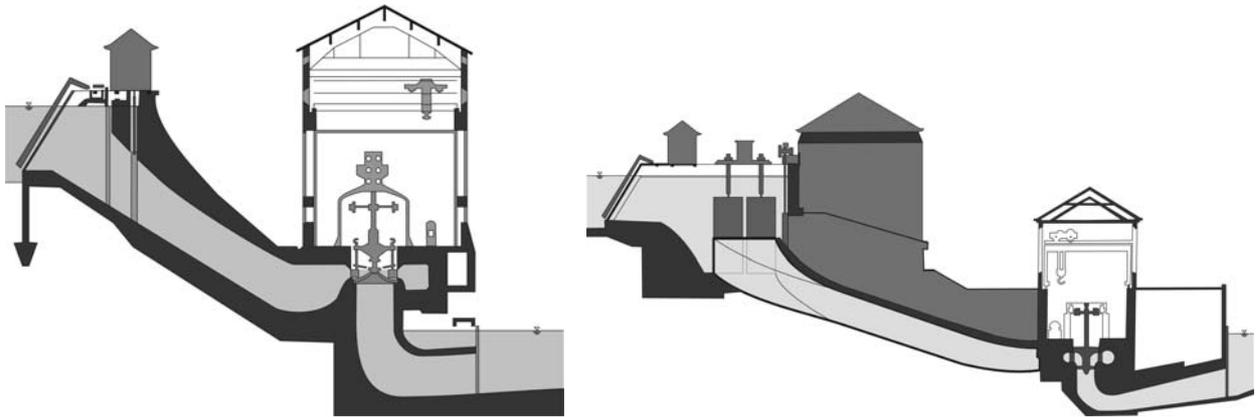


Abbildung 6.5: Schnitte durch das Kraftwerk Tannheim (links Schnitt A-A, rechts Schnitt B-B)

Illerkette (Obere Iller)

Zur Illerkette gehören die Illerkraftwerke I-IV (Flusskraftwerk Aitrach, Kanalkraftwerk Tannheim, Kanalkraftwerk Unteropfingen, Kanalkraftwerk Dettingen) und das Kleinwasserkraftwerk Mooshausen. Die Illerkraftwerke I-IV haben ein Leistungsspektrum von 9 bis 14,1 MW mit Fallhöhen von knapp 10 bis 17 m. Mooshausen hat eine installierte Leistung von 450 kW mit einer Fallhöhe von 6,1 m und nutzt lediglich das im Mutterbett verbleibende Mindestwasser.

6.5.2 Datenerhebung bei den Fallbeispielen

Die Datenaufnahme erfolgte an den Kraftwerken der oberen Iller. Die gute Datenlage ermöglichte eine detaillierte Erhebung der Daten (s. a. [Pfettscher 2005]).

Einige Auswirkungen, hauptsächlich aus der Bauzeit, konnten aufgrund der langen Betriebszeit der Anlagen nur geschätzt werden. Viele Angaben zu den Anlagen und ihrem Umfeld vor dem Bau bzw. am Anfang des Betriebs berufen sich auf Informationen aus „Die Iller - Geschichten am Wasser von Noth und Kraft“ [Kettemann & Winkler 1992].

Von Tannheim aus betreut die EnBW 13 Wasserkraftanlagen, wovon fünf Kraftwerke an der Iller liegen. Bei der Datenaufnahme konnten einige Werte aufgrund der Datenlage nicht speziell einzelnen Kraftwerken zugeordnet werden. Für den Fall, dass die Daten nur gesamt für mehrere Kraftwerke vorliegen, können diese Werte durch die Anzahl der Anlagen geteilt oder prozentual nach der installierten Leistung bzw. erzeugten Energie verteilt und gesondert gekennzeichnet werden, so dass diese Werte leicht erkennbar sind. Jede Aufteilung kann allerdings nur einen Eindruck des tatsächlichen Wertes geben.

Bei der Datenaufnahme traten besonders Probleme bei der Erfassung der Effekte während der Bauzeit auf. Da diese bereits sehr lange zurück liegt, sind aus dieser Zeit kaum mehr Daten vorhanden. Daher mussten diese Werte meist geschätzt werden.

Für die exakte Bewertung der Auswirkungen auf das menschliche Wohlbefinden wären verstärkt Befragungen notwendig geworden. Diese konnten im Rahmen dieser Arbeit nicht durchgeführt werden, da der Hauptaufgabenbereich auf der Erstellung des Systems und die Darstellung von möglichen Bewertungsansätzen lag. Daher wurden diese Werte geschätzt, ebenso die Anzahl der betroffenen Pflanzen und Tiere. Hierfür müsste eine Kooperation mit Biologen eingegangen werden. Da der Bau der Anlage inzwischen sehr lange zurückliegt, kann auch schwer die genaue Situation vor dem Bau des Kraftwerks und Kanals abgeschätzt werden.

In Tabelle 6.10 ist die vollständige Auswertungsmatrix des Kraftwerks Tannheim dargestellt. Hieraus kann man sehr schnell und einfach erkennen, welche Effekte bei dem Kraftwerk auftreten und ob diese direkt („x“) oder nur indirekt („(x)“) bewertet werden können.

Tabelle 6.10: Auswertungsmatrix des Kraftwerks Tannheim

		Kosten		Nutzen	
		Bau	Betrieb	Bau	Betrieb
		1	2	3	4
E1	Wassermanagement				
E1.1	Hochwasser	-	-		x
E1.2	Grundwasser	-	(x)		
E1.3	Gewässergüte		(x)		
E1.4	Mindestwasser		x		x
E2	Gewässerstruktur				
E2.1	Morphologie		(x)		
E2.2	Wasserspiegelschwankung		x		
E2.3	Geschiebe- und Schwebstoffhaushalt		x		
E3	Lebensraum/Umfeld				
E3.1	Beeinflusste Gewässerstrecke	-	(x)		
E3.2	Fischbestand				x
E3.3	Durchgängigkeit	-	(x)		
E3.4	Gewässerrandstreifen				x
E4	Raumnutzung				
E4.1	Flächenbedarf	(x)	x		
E4.2	Überflutungsflächen		(x)		
E4.3	Landschaftsbild	(x)	(x)		
E4.4	Gewässerschutz/Bewuchspflege				x
E4.5	Ökologische Ausgleichsflächen				-
E4.6	Verkehr/Infrastruktur			x	x
E4.7	Freizeitnutzung				x
E5	Treib- und Betriebsstoffe				
E5.1	Treib- und Hilfsstoffe	(x)	x		
E5.2	Betriebsstoffe	(x)	x		
E6	Reststoffe				
E6.1	Rechen- und Schwemmgut		(x)		x
E6.2	Zivilisationsmüll				x
E6.3	Ausgehobener Boden			(x)	
E7	Transport				
E7.1	Fuhrpark/Materialversorgung	(x)	x		
E7.2	Energieableitung		-		
E8	Personal				
E8.1	Personalstand			x	x
E9	Schifffahrt				
E9.1	Schiffbarkeit	-			
E9.2	Schiffbarmachung				-
E10	Emissionen				
E10.1	Abwärme	(x)	-		
E10.2	Lärm	(x)	(x)		
E10.3	Erschütterungen	(x)	-		
E10.4	Luftschadstoffe	-			x
E11	Energie- und Rohstoffverbrauch				
E11.1	Baumaterialien			(x)	x
E11.2	Energieeinsatz	(x)	(x)		
E12	Öffentlichkeit				
E12.1	Fachbesucher			(x)	x
E12.2	Tourismus/Naherholung			-	(x)
E12.3	Allgemeine öffentliche Darstellung			-	(x)
E13	Investitionen				
E13.1	Erhöhung der Kaufkraft			(x)	(x)
E13.2	Zusätzlicher Verdienst			(x)	x

6.5.3 Bewertung der Fallbeispiele

An die Datenaufnahme schloss sich die Bewertung aller erhobenen Daten an. Die Bewertung erfolgte anhand einiger der dargestellten Methoden aus Kapitel 4. Der dort bereits herausgearbeitete weitere Forschungsbedarf, allgemein anerkannte Bewertungsmethoden festzulegen und daraus Maximalwerte (Bewertungsskala „6“) vorzugeben, zeigte sich auch bei der Bewertung der Fallbeispiele sehr deutlich. Aufgrund der momentan schlechten Datenlage wurden die Effekte in dieser Studie anhand eigener Erfahrungswerte abgeschätzt. Da der Schwerpunkt der vorliegenden Arbeit nicht auf die Datenaufnahme und die Bewertung, sondern zum einen auf die Katalogisierung der Bewertungsmatrix und zum anderen auf die Erarbeitung des Bewertungsverfahrens gelegt worden ist, können die hier vorliegenden Bewertungen nicht als festgesetzte Anhaltswerte für weitere Studien angesehen werden. Die Ergebnisse sind dennoch sinnvoll und nicht aus der Luft gegriffen, da sie für das Kraftwerk Tannheim das Verhältnis von Kosten zu Nutzen widerspiegeln und daher alle Vor- und Nachteile herausgearbeitet werden konnten. Beim Vergleich der Anlagenkette wurde der gleiche Bewertungsmaßstab für alle Anlagen angesetzt, was einen Vergleich problemlos gestaltet.

Der komplette Datenerhebungsbogen des Kraftwerks Tannheim ist als Beispiel aus der Illerkette herausgegriffen und komplett mit Bewertungsskala im Anhang dargestellt. Die Daten der anderen Anlagen werden nur kurz erläutert und in Vergleich zum Kraftwerk Tannheim gebracht. Da die Anlagen alle an der Iller liegen, weichen viele der Daten grundsätzlich nicht stark voneinander ab. Vor allem alle drei Kanalkraftwerke basieren stark auf dem mit Tannheim dargestellten Bewertungsbogen, da sie alle gleichzeitig erbaut wurden und hintereinander am Triebwasserkanal mit vergleichbaren positiven und negativen Auswirkungen liegen.

In diesem Abschnitt soll nur auf einige besonders bedeutende Effekte näher eingegangen werden. Daher wurden alle Effekte des Kraftwerks Tannheim herausgegriffen, die mit einer Wertziffer von „3“ oder höher bewertet wurden. Bei den restlichen Illeranlagen wurden lediglich kurz die gravierendsten Unterschiede zum Kraftwerk Tannheim herausgearbeitet.

Illerkraftwerk II Tannheim

E1.1 Hochwasser

Eine besondere Situation stellt sich bei der Hochwassersituation dar, da durch den Kanal lokal Hochwasserspitzen verringert werden. Dadurch kann eine Überflutung der Felder im Bereich des Kanals vermieden werden, was die erhöhte Bewertung mit „3“ bei Wohlbefinden bedingt.

E1.4 Mindestwasser

Inzwischen wurde eine gute Anpassung des Mindestwassers erarbeitet, was eindeutig eine niedrigere Bewertung vermuten ließe. Die recht hohe Bewertung von „4“ bei den Kosten erhielt dieser Unterpunkt durch die lange Trockenlegung des Mutterbetts seit Beginn der Anlage bis 1985 an ca. 290 Tagen im Jahr.

E4.6 Verkehr/Infrastruktur

Die neu errichteten Brücken und Wege, für deren Instandhaltung die EnBW heute noch zuständig ist, stellen eine Verbesserung der Verkehrsanbindung dar. Da die Iller vor dem Bau der Brücken mit Fähren überquert werden musste, erhöhte sich der Komfort in damaliger Zeit. Durch die Motorisierung wären Brücken ohnehin notwendig geworden, daher übernahm die EnBW Kosten, für die ansonsten Dritte hätte aufkommen müssen.

E4.7 Freizeitnutzung

Im Sommer wird der Illerradwanderweg, für dessen Instandhaltung die EnBW zuständig ist, sehr viel genutzt. Dieser überquert die Iller über das Wehr in Mooshausen.

E6.1 Rechen- und Schwemmgut und E6.2 Zivilisationsmüll

Es wird eine erhebliche Menge von sowohl Rechen- und Schwemmgut als auch Zivilisationsmüll dem Gewässer entnommen, was einen positiven Einfluss auf das Wohlbefinden hat durch die Verbesserung des landschaftsästhetischen Wertes des Flusslaufs. Insbesondere die Entnahme des Zivilisationsmülls wirkt sich positiv auf Flora und Fauna aus. Die Kosten für die Entsorgung werden von der EnBW getragen und müssen nicht von der Allgemeinheit übernommen werden.

E8.1 Personalstand und E11.1 Baumaterialien

Die 1.000 zusätzlichen Arbeiter beim Bau der Anlage stellten damals einen sehr positiven Einfluss auf die Arbeitsstruktur der Region dar; ebenso auch die benötigten Baumaterialien.

E11.2 Energieeinsatz

Jede durch Wasserkraft erzeugte kWh spart im Vergleich zu einem Kohlekraftwerk u. a. ca. 1 kg CO₂ ein, so können durch das Kraftwerk Tannheim beispielsweise 65.000 t CO₂ jährlich vermieden werden.

E12.3 Allgemeine öffentliche Darstellung

Durch die häufig angebotenen Führungen und ausführlichen Informationen zu den Kraftwerken an der Iller trägt die EnBW dazu bei, das Interesse an der Wasserkraft zu steigern und das Wissen darüber zu verbreiten. Die relativ hohen Besucherzahlen zeigen das tatsächliche Interesse an den Kraftwerken.

Illerkraftwerke III Unteropfingen und IV Dettingen

Dettingen und Unteropfingen sind komplett mit Tannheim vergleichbar. Sie wurden in der gleichen Zeit erbaut und liegen alle drei am Illerkanal, wodurch sie zwangsläufig alle die gleichen kraftwerkstypabhängigen Vor- und Nachteile besitzen.

Ein Unterschied sind die verwendeten Betriebsstoffe. Außer den Turbinen in Tannheim haben die anderen Turbinen nicht die Besonderheit, dass sie mit Wasser geschmiert werden. Der dadurch höhere Verbrauch an Öl vergrößert zudem die mögliche Verschmutzungsgefahr.

Illerkraftwerk I Aitrach

Das Kraftwerk Aitrach wurde erst in der Nachkriegszeit als Flusskraftwerk errichtet. Daher kommt es aufgrund des Anlagentyps zu einigen anderen Effekten. Die Problematik des Mindestwassers ergibt sich hier ebenso wenig wie die zusätzliche Hochwasserabfuhr.

Der Personaleinsatz beim Bau ist nicht dokumentiert; er wird aber auf eine geringere Anzahl als beim Bau der Kanalkraftwerke geschätzt. Zudem ist an dieser Anlage keine Geschiebeproblematik bekannt. Der Illerradwanderweg wird im Bereich dieser Anlagen nicht mehr von der EnBW unterhalten, daher besitzt das Kraftwerk Aitrach keinen Freizeitmehrwert. Wie auch die beiden anderen Kanalkraftwerke erfolgt die Schmierung der Turbinen mit Öl.

Kleinkraftwerk Mooshausen

Die Anlage wurde errichtet, um das Mindestwasser zu nutzen. Beim Bau des Kraftwerks Mooshausen waren die Kanalkraftwerke bereits seit mehreren Jahrzehnten in Betrieb, daher müssen diesen drei Kraftwerken viele der negativen, aber auch positiven Aspekte zugeordnet werden.

Das Kleinkraftwerk wurde aus zwei Gründen mit sehr niedrigen Werten belegt. Zum einen können ihm aus oben genannten Gründen wenige Effekte explizit zugeordnet werden. Zum anderen erzeugt es eine sehr geringe Strommenge im Vergleich zu den vier anderen Anlagen, wodurch ihr Anteil an den Werten, die nur mehrere Anlagen vorliegen, sehr gering ist.

6.5.4 Ergebnisse des Kraftwerks Tannheim

Diese Anlage wurde zur Ergebnisdarstellung einer Einzelanlage aus der gesamten Illerkette herausgegriffen. Die Datenaufnahme und die Ergebnisse dieses Kraftwerks werden beispielhaft detailliert dargestellt. Die vollständigen Erhebungs- und Auswertungsbögen dieser Anlage können dem Anhang (s. Abschnitt 9.1) entnommen werden.

Bei den Ergebnissen einer Einzelanlage sind die absoluten Gesamtnutzwerte und die Teilergebnisse zu betrachten. Auf die gesamte Anlagenkette wird im folgenden Abschnitt anhand eines Kraftwerkvergleichs eingegangen.

Die spezifische Bewertungsmatrix (s. Tabelle 6.11) stellt alle erhobenen und errechneten Daten für das Kraftwerk Tannheim dar.

Der Gesamtnutzwert liegt im positiven Bereich, was ausdrückt, dass die Nutzen die Kosten überwiegen. Bis zu einem Wert von „0,22“ wurde ein etwaiger Ausgleich der Kosten und Nutzen ermittelt. Der für Tannheim erhaltene Wert von „0,368“ liegt deutlich darüber, woraus sich ein hoher positiver Nutzwert ableiten lässt.

Besonders hervorzuheben für eine gute Darstellung der Anlage sind hierbei folgende Kosten und Nutzen, die bereits im vorigen Abschnitt bei der Bewertung erwähnt wurden. Die stark negativen Auswirkungen des Kraftwerks Tannheim treten bei Gewässergüte, Geschiebe- und Schwebstoffhaushalt, Flächenbedarf und Überflutungsflächen mit Teilnutzwerten zwischen „-0,1“ und „-0,14“ auf. Außerordentlich positive Effekte sind bei Hochwasserschutz, Freizeitnutzung, Rechen- und Schwemmgut, Zivilisationsmüll, Personalstand und Luftschadstoffe mit Teilnutzwerten von „0,1“ bis zu „0,21“ zu verzeichnen.

6.5.5 Ergebnisse der Illerkette

Bei den hier vorliegenden Untersuchungsergebnissen werden die fünf Anlagen der Illerkette im Vergleich zueinander betrachtet. Die Ergebnisse aller Anlagen können den spezifischen Bewertungsmatrizen im Anhang (s. Abschnitte 9.2 bis 9.5) entnommen werden. Ein Überblick über die Ergebnisse wird in Tabelle 6.12 gegeben.

Alle Anlagen der Illerkette besitzen einen **positiven Gesamtnutzwert**. Es konnte also bei allen Illeranlagen der oberen Iller ein betragsmäßig höherer Nutzen-Anteil im Vergleich zum Kosten-Anteil festgestellt werden, wobei das Kleinkraftwerk Mooshausen aufgrund der bei der Datenaufnahme aufgeführten Besonderheiten sowohl bei weitem die geringsten Kosten verursacht, aber auch mit großem Abstand den geringsten Nutzen besitzt.

Tabelle 6.12: Zusammenstellung der Gesamtnutzwerte aller Anlagen der Illerkette

	Aitrach	Tannheim	Unteropfingen	Dettingen	Mooshausen
Gesamtnutzwert	0,360	0,368	0,494	0,356	0,196
Kosten-Anteil	-0,744	-1,108	-0,982	-1,120	-0,259
Nutzen-Anteil	1,104	1,476	1,476	1,476	0,455
Verhältnis N/K	1,483	1,332	1,504	1,318	1,754

In der **absoluten Auswertung** des Gesamtnutzwertes aus der Summe der Kosten- und Nutzen-Anteile liegt das **Kraftwerk Unteropfingen** mit dem Wert „0,494“ vor den drei anderen größeren Kraftwerken, die einen Wert von etwa „0,36“ besitzen, und weit vor dem Kleinkraftwerk Mooshausen mit dem Wert „0,196“. Dies liegt zum einen an dem relativ hohen Nutzen-Anteil mit „1,476“, der allen Kanalkraftwerken gemeinsam ist, und zum anderen an dem durch den fehlenden Speicher geringeren Kosten-Anteil mit „-0,982“, verglichen mit den beiden anderen Kanalkraftwerken.

Das **Kraftwerk Mooshausen** liegt mit dem Gesamtnutzwert von „0,196“ noch in dem ermittelten Intervall („-0,36“ bis „+0,22“), in dem sich Kosten und Nutzen aufwiegen.

Beim **relativen Nutzen-Kosten-Verhältnis** N/K, bei dem der Quotient aus den Nutzen- und den Kosten-Anteilen ermittelt wird, stellt sich die Situation anders dar. Obwohl das Kraftwerk Mooshausen solch geringe Kosten- und Nutzen-Anteile besitzt, dass sie sich in der absoluten Summe ungefähr aufwiegen, ist das Nutzen-Kosten-Verhältnis dieses Kraftwerks besonders hoch, da es knapp das Doppelte an Nutzen im Vergleich zu den Kosten, errechnet in Absolutgrößen, aufweist.

Die im absoluten Vergleich nahezu gleich liegenden Kraftwerke Aitrach, Tannheim und Dettingen können durch den zusätzlichen relativen Vergleich weiter abgestuft werden, da das **Kraftwerk Aitrach** mit „1,483“ deutlich über den **Kraftwerken Tannheim** und **Dettingen** („1,332“ bzw. „1,318“) liegt. Lägen die Ergebnisse dieser drei Anlagen beispielsweise bei einem Variantenvergleich vor dem Kraftwerksbau vor, wäre aus Sicht der externen Effekte die Variante Aitrach den beiden anderen vorzuziehen.

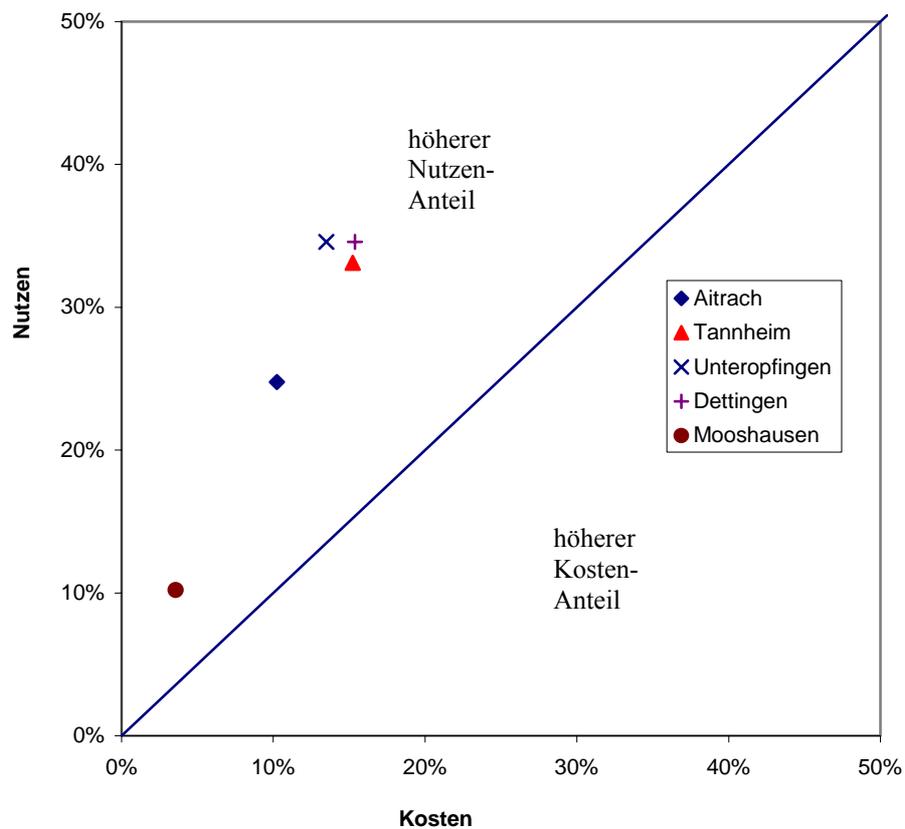


Abbildung 6.6: Relative Attraktivität der Illeranlagen

Für die direkte Gegenüberstellung aller Kosten- und Nutzen-Anteile wird das Diagramm zur **relativen Attraktivität** der Anlagen herangezogen (s. Abbildung 6.6). Da nur positive Gesamtnutzenwerte vorliegen, übersteigen bei allen Kraftwerken die Nutzen-Anteile die Kosten-Anteile. Daher liegen alle Kraftwerke oberhalb der Winkelhalbierenden. Die am weitesten von der Winkelhalbierenden entfernt liegende Anlage (Unteropfingen) besitzt hierbei den besten Gesamtnutzwert.

7 Zusammenfassende Gedanken zur theoretischen Fundierung und praktischen Evidenz

7.1 Konzeption der Untersuchung

Der vorliegenden Arbeit liegt ein interdisziplinärer Ansatz zugrunde. Externe Effekte sind kein rein wirtschaftswissenschaftliches oder technisches Problem, sondern haben auch gesellschaftliche und ökologische Implikation. Insofern mussten sowohl wirtschafts- als auch ingenieurwissenschaftliche Ansätze sowie Erkenntnisse aus den Sozialwissenschaften und der Ökologie in die Katalogisierung und Quantifizierung der externen Effekte und in die Anwendung ökonomischer Bewertungsverfahren einfließen.

Die Leistung dieser Studie bestand darin, sich nicht auf theoretische Überlegungen zu beschränken, sondern ein praxisorientiertes Verfahren zu entwickeln. Durch die Schematisierung des Verfahrens können Handlungsanweisungen gegeben werden, die eine Übertragung des Prozesses in die Praxis ermöglichen. Ziel war es, sich nicht auf einen bestimmten Fall zu beschränken, sondern exemplarisch anhand der Fallbeispiele ein praxistaugliches Verfahren zu entwickeln.

Es wird ein flexibles Verfahren vorgestellt, das neben der primären Konzentration auf Laufwasserkraftanlagen im Rahmen dieser Arbeit ebenfalls auf eine Vielzahl anderer Projekte und Energieerzeugungsformen angewendet bzw. angepasst werden kann. Abbildung 7.1 veranschaulicht die Vorgehensweise in der vorliegenden Arbeit.

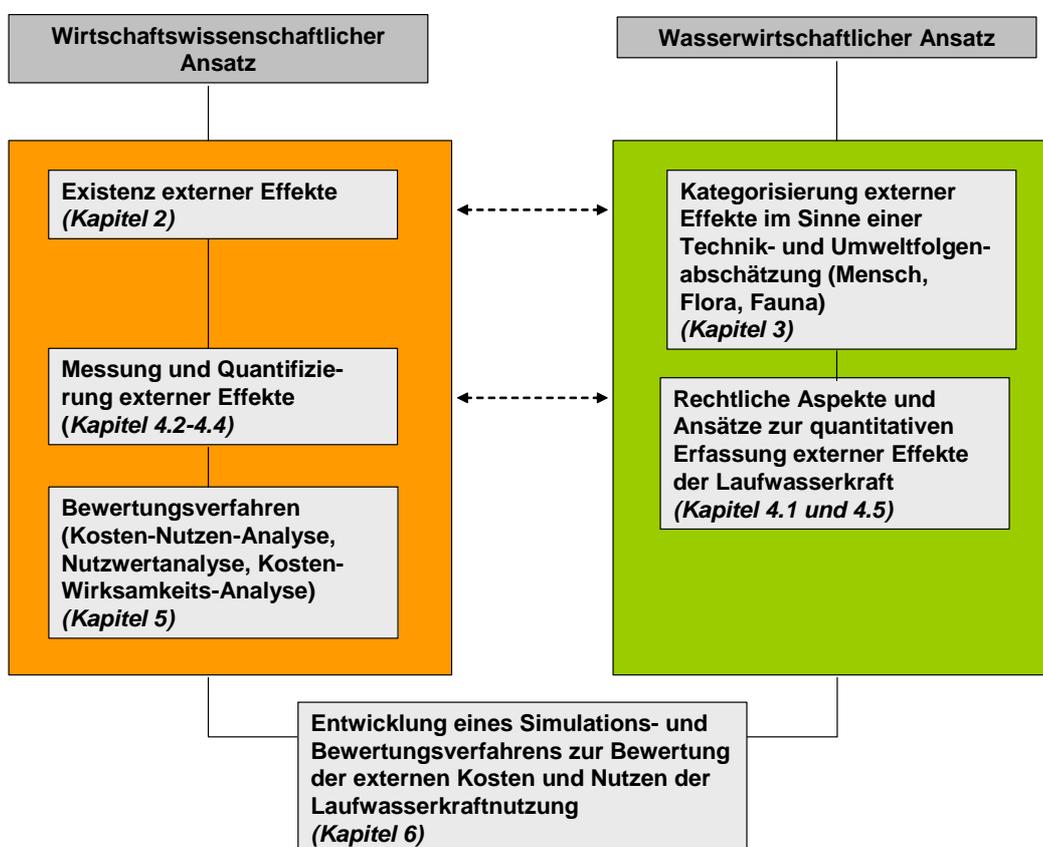


Abbildung 7.1: Gegenüberstellung des theoretischen, wirtschaftswissenschaftlichen Ansatzes und der praktischen Umsetzung in der Wasserwirtschaft

Die Studie hat als Ausgangspunkt die wirtschaftswissenschaftlichen Ansätze zu externen Effekten. Das zentrale Problem des Umgangs mit externen Effekten liegt darin, dass die Wirtschaftssubjekte keinen Anreiz haben, sie bei ihren Entscheidungen zu berücksichtigen. Im Falle externer Kosten fehlen in den meisten Fällen Mechanismen, die die Individuen zwingen, für die von ihnen verursachten Schäden aufzukommen. Im Falle externer Nutzen profitiert ein breiterer Kreis von dem Nutzen, ohne sich im Normalfall finanziell dafür erkenntlich zu zeigen. Die Vernachlässigung externer Effekte bei der Entscheidungsfindung führt insofern unter gesamtwirtschaftlichen Aspekten zu suboptimalen Ergebnissen.

Ein wesentlicher Aspekt bei der Auseinandersetzung mit externen Effekten im Rahmen der wirtschaftswissenschaftlichen Literatur ist daher die Frage, wie ein Anreiz für die Individuen geschaffen werden kann, externe Effekte in ihren Entscheidungen zu berücksichtigen. Man spricht in diesem Zusammenhang von Internalisierung. In Kapitel 2 wurden verschiedene Möglichkeiten und Ansätze dargestellt, eine Kompensation externer Effekte durch den Verursacher oder den Nutznießer zu erzielen. In der Praxis stellt sich allerdings das Problem, dass die Lösungsansätze der wirtschaftswissenschaftlichen Forschung unter stark abstrahierenden Annahmen abgeleitet werden. So geht z. B. Ronald Coase bei seiner Marktlösung vom Fehlen von Transaktionskosten aus. Verhandlungskosten stellen jedoch in der Realität einen der kritischsten Faktoren dar.

Da es ein Ziel dieser Arbeit war, eine Einbeziehung externer Effekte bereits bei der Entwicklung und Auswahl neuer Projekte in der Praxis zu ermöglichen, wurde der ökonomische Ansatz um ingenieurwissenschaftliche, ökologische und soziologische Komponenten erweitert. In Kapitel 3 wurden die externen Effekte bei Laufwasserkraftanlagen entsprechend katalogisiert.

Neben der rein abstrakten Auseinandersetzung mit dem Problem der externen Effekte wurden in der wirtschaftswissenschaftlichen Literatur Ansätze zur Messung und Quantifizierung dieser Effekte entwickelt. Auch hierbei war eine Diskussion der Ansätze im Hinblick auf eine Anwendung im wasserwirtschaftlichen Kontext notwendig (s. Kapitel 4). Dabei ist zu berücksichtigen, dass in der Praxis auch rechtliche Aspekte in Form von Auflagen oder behördlicher Genehmigungsverfahren eine erhebliche Rolle spielen.

Die Katalogisierung und Quantifizierung externer Effekte stellen jedoch nur einen ersten Schritt dar. In der Praxis ist es darüber hinaus wichtig, ein Instrumentarium zur Verfügung zu haben, das die Einbeziehung externer Effekte in die Entscheidungsfindung ermöglicht. Zu diesem Zweck sollten sie so in ein übersichtliches Verfahren integriert werden, dass schließlich ein möglichst optimales Ergebnis hergeleitet werden kann (s. Kapitel 5).

Kapitel 6 ist in diesem Sinne der Entwicklung eines Simulations- und Bewertungsverfahrens zur Bewertung der externen Kosten und Nutzen der Laufwasserkraftnutzung gewidmet. Der Schwerpunkt des Kapitels lag einerseits darauf, das Verfahren so zu strukturieren, dass eine möglichst einfache und flexible Anwendung in der Praxis möglich ist. So können die maßgebenden Komponenten bzw. Parameter sowohl an unternehmens- als auch projektspezifische Eigenheiten angepasst werden. Andererseits sollte anhand der Fallbeispiele die praktische Anwendung des Verfahrens simuliert werden. Hierbei stehen weniger die numerischen Ergebnisse an sich im Vordergrund. Es geht vielmehr darum aufzuzeigen, welche Möglichkeiten zum Erstellen einer Rangordnung und damit dem Vergleich verschiedener Alternativen durch das entwickelte Instrumentarium geboten werden. Die grafische Darstellung, die eine Visualisierung der Ergebnisse des Bewertungsverfahrens ermöglicht, stellt gerade bei der praktischen Anwendung im Unternehmen einen besonderen Vorteil dieses Verfahrens dar.

7.2 Verfahrensaufbau

Für die Übertragung der Ergebnisse dieser Arbeit in die Praxis ergeben sich folgende Schritte:

Katalogisierung externer Effekte in Matrixform

Ein wesentlicher Bestandteil der Katalogisierung der externen Effekte bei Laufwasserkraftanlagen war zum einen die Entwicklung eines Klassifikationsschemas. Dies wird auch bei der Übertragung auf andere Projekte oder Energieerzeugungsformen einen ersten wichtigen Schritt bilden. Dann mussten die entsprechenden externen Effekte identifiziert werden. Ein besonderes Problem stellen dabei Effekte dar, die sich technisch schwer abschätzen lassen. Es besteht die Gefahr, dass nicht alle Effekte erfasst werden, weil sie nicht alle bereits ex ante bekannt sind. Um die spätere Weiterverarbeitung der Daten zu erleichtern, bietet es sich an, die externen Kosten und Nutzen in Form einer Matrix darzustellen. Auch dies ist sicherlich ein wichtiger Aspekt bei der praktischen Anwendung des hier vorgestellten Verfahrens.

Quantifizierung externer Effekte mittels Punktebewertung

Ein Ergebnis dieser Arbeit sollte es sein, dem Anwender in der Praxis verdeutlicht zu haben, dass eine Monetarisierung externer Effekte zumeist mit erheblichen Problemen und nicht zu unterschätzendem Aufwand verbunden ist, ohne den entsprechenden Erkenntnisgewinn zu bringen. Vielmehr bietet es sich an, die externen Effekte anhand einer Punkteskala zu bewerten. Die Effekte werden daher auf einer Punkteskala von 0-6 bewertet und haben somit alle die gleiche Dimension. Auch diese Vorgehensweise bietet sich bei der praktischen Anwendung auf zukünftige Problemstellungen an.

Simulations- und Bewertungsverfahren

Kern der Arbeit ist das Bewertungsverfahren. Es geht über eine reine Katalogisierung und Quantifizierung hinaus. Es bietet eine übersichtliche Darstellung über die an den betrachteten Anlagen vorhandenen externen Effekte.

Es ermöglicht zum einen den Alternativenvergleich innerhalb von Laufwasserkraftanlagen und bietet zum anderen die Möglichkeit, Vorteile der Laufwasserkraft gegenüber den externen Effekten anderer Energieerzeugungsformen herauszuarbeiten. Gerade letzterer Punkt könnte über die reine Unternehmensebene hinaus auch im Hinblick auf eine Diskussion des Themas in der Politik eine Rolle spielen. Das Verfahren eignet sich dazu, auf recht plastische Weise, politischen Entscheidungsträgern die Nutzen und Kosten alternativer Energieerzeugungsformen näher zu bringen.

7.3 Weitere Implikationen für die Wasserkraft als Energieerzeugungsform

Wie eben bereits angedeutet, hat die Arbeit abgesehen von der Mikroebenenanwendung im Unternehmen und der singulären Betrachtung einzelner Anlagen auch gesellschaftliche und politische Implikationen.

Es bietet die Möglichkeit, **im Vorfeld eines Projekts alle positiven und negativen Aspekte** herauszuarbeiten und so mit allen Interessensgruppen schon frühzeitig in Dialog zu treten. Bei der Planung eines Projekts muss durch die ggf. gesetzlich festgelegte Durchführung einer Umweltverträglichkeitsprüfung die Bewertung ökologischer Faktoren vorgenommen werden. Hierbei kann durch die in dieser Studie geschaffene übersichtliche Darstellung aller möglicher Aus-

wirkungen der Aufwand im Vorfeld leichter abgeschätzt und dadurch Geld und Zeit gespart werden.

Die Wasserkraft wird bei der Genehmigung oft durch **Auflagen** gezwungen, die externen Effekte bereits teilweise zu „internalisieren“, indem die Auswirkungen der Energieerzeugung auf die Umwelt durch Ausgleichsmaßnahmen verringert oder behoben werden. Dies bringt häufig hohe Kosten mit sich, die es für Wasserkraftbetreiber oft unwirtschaftlich machen, ein Projekt zu realisieren. Um die Wasserkraft weiter im Energiemix zu stärken, wäre eine Reduzierung dieser kostspieligen Auflagen notwendig. Durch die systematische Katalogisierung können evtl. ex ante die positiven Aspekte den negativen gegenübergestellt werden. Beispielsweise würde eine flexiblere Interpretation des Konzepts der geforderten Ausgleichsflächen es ermöglichen, automatisch durch den Bau an sich entstehende ökologische Ausgleichsflächen auf die geforderten Ausgleichsflächen anzurechnen.

Häufig werden die externen Kosten unverhältnismäßig stark betont, während die externen **Nutzen** in der öffentlichen Diskussion untergehen. Dies hängt damit zusammen, dass die meisten Energieerzeugungsformen hauptsächlich externe Kosten verursachen, die Wasserkraft aufgrund der **Mehrzwecknutzung** aber häufig auch erhebliche externe Nutzen mit sich bringt. Diese zusätzlichen Nutzen werden oft ohne Kompensation hingenommen. Sie müssten jedoch deutlicher betont werden. Negativ wirkt sich auch aus, dass eine monetäre Darstellung der Nutzen oft nicht möglich ist. Das hier erarbeitete Verfahren bietet die Möglichkeit, neben den Kosten auch die Nutzen in ausreichendem Maße darzustellen.

Bei einer rein wirtschaftlichen Betrachtung auf monetärer Basis werden die externen Nutzen, aber auch die Kosten, vernachlässigt. Werden auch externe Effekte berücksichtigt, führt dies zu einer Verschiebung des **Rankings von Alternativen**. Eine Integration externer Effekte in die Betrachtung ist hilfreich, um eine wirtschaftlich, ökologisch und soziologisch optimale Alternative zu entwickeln. Dabei kann es sich um einen Projektvergleich innerhalb des Wasserkraftsektors handeln oder aber um den Vergleich verschiedener Energieerzeugungsformen gehen. Eine Rolle spielt häufig auch, dass bei der Planung ein zu kurzer Betrachtungshorizont, in dem sich das Projekt rentieren muss, zugrunde gelegt wird. Daher werden günstigere, weniger langlebige Anlagen wie beispielsweise Gas- und Dampfkraftwerke realisiert, die keine oder wenig Mehrzwecknutzung erlauben.

7.4 Abschließende Bemerkungen

Der Vergleich der ökologischen Auswirkungen einer Energieerzeugung mit Hilfe von Wasserkraftanlagen im Vergleich zu anderen herkömmlichen Kraftwerken sollte sich nicht auf die Zeit der aktiven Nutzung des Kraftwerks an sich beschränken. Vielmehr sollten **Nachhaltigkeitsüberlegungen** auch in Bezug auf die Phase des Rückbaus eines Kraftwerks nicht vernachlässigt werden.

Aufgrund der Flexibilität des Verfahrens kann es relativ einfach modifiziert werden. Daher ist eine **Übertragbarkeit auf andere Wasserkraftwerkstypen** gegeben. So würde es sich z. B. anbieten, das Verfahren an die kraftwerksspezifischen Aspekte der Speicher- und Pumpspeichieranlagen anzupassen. Die Katalogisierung der Effekte der Laufwasserkraftnutzung stellt in diesem Kontext eine gute Basis dar. Die ICOLD (International Commission on Large Dams) hat sich in Form der so genannten „ICOLD-Matrix“ mit den sozio-ökonomischen und ökologischen Auswirkungen von Wasserbauprojekten in Verbindung mit Staudämmen auseinandergesetzt [Marx 2003].

Von Bedeutung ist in diesem Zusammenhang z. B., dass Stauseen und Talsperren viel einschneidendere Eingriffe in den Wasserhaushalt von Bächen und Flüssen mit sich bringen [Kummert & Stumm 1989]. Die Mindestwasserproblematik ist viel stärker ausgeprägt, da die natürlichen Abflussschwankungen durch die Speicherung des Schmelzwassers im Sommer für die Energieerzeugung im Winter minimiert werden. Zusätzliche Probleme bietet der enorme Platzbedarf für den Stausee, verbunden mit evtl. Umsiedelungen von Menschen und der Zerstörung von Lebensraum für Flora und Fauna. Das Landschaftsbild verändert sich nicht nur durch das Krafthaus, sondern auch durch den Stausee, die Rohrleitungen und das Sperrenbauwerk.

Ein Vorteil hingegen ist, dass sich Speicherprojekte positiver auf Freizeitnutzen auswirken. Als Beispiel sei in diesem Zusammenhang auf die Schluchseekraftwerke hingewiesen, die im Sommer besonders gerne als touristisches Ausflugsziel und für den Wassersport genutzt werden. Im Gegensatz zu der Laufwasserkraftnutzung können die Speicher einen stärkeren Hochwasserrückhalt bieten. Ein besonderer Verdienst kommt den Pumpspeicherkraftwerken im Verbundbetrieb zu [Giesecke 2001]. Durch die kurzen Anlaufzeiten dieser Speicherkraftwerke können sie bei Ausfall eines anderen Kraftwerks, beispielsweise bei ungeplantem Abschalten von Windkraftanlagen, oder bei kurzfristig höherem Spitzenstrombedarf in kürzester Zeit die benötigte Strommenge zur Verfügung stellen. In Schwachlastzeiten stellt die Pumpspeicherung eine ansonsten in diesem Umfang nicht mögliche Speichermöglichkeit für den nicht benötigten Grundlaststrom dar.

Das entwickelte Verfahren könnte besonders dann an Bedeutung gewinnen, wenn die **ökonomische Analyse** bei der Wasserrahmenrichtlinie angewendet wird. Die Methodik kann dabei sowohl für die bislang betroffenen Wasserdienstleistungen angepasst als auch bei einer freiwilligen ökonomischen Analyse der Wasserkraftanlagen unterschiedlichen Typs verwendet werden.

Eine weitere Anwendungsmöglichkeit bietet sich im Bereich des **Benchmarkings** und zwar insbesondere beim Vergleich von Anlagenketten bzw. Varianten. Mit Hilfe des vorgestellten Verfahrens kann entweder das jeweils beste in der Gesamtbetrachtung gewählt werden oder in Bezug auf Teilaspekte die optimale Konzeption herausgearbeitet werden. Darüber hinaus ist es selbstverständlich ebenfalls möglich, eine Bewertung von Projekten in Bezug auf extern festgelegte Benchmarks vorzunehmen.

8 Literatur

- Aderhold 1999*: Aderhold, J.: Durchführung der Gewässerstrukturkartierung. In: Zumbroich, T.; Müller, A.; Friedrich, G. (Hrsg.): Struktur Güte von Fließgewässern - Grundlagen und Kartierung. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York.
- ATV-DVWK 2003*: ATV-DVWK (Hrsg.): Benchmarking in der deutschen Wasserwirtschaft - Anforderungen, Rolle und Gestaltung. ATV-DVWK-Arbeitsbericht, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., Hennef.
- Berekoven et al. 2004*: Berekoven, L.; Eckert, W.; Ellenrieder, P.: Marktforschung - Methodische Grundlagen und praktische Anwendungen. 10. Auflage. Gabler Wiesbaden.
- Blaas & Hlava 1990*: Blaas, W.; Hlava, A.: Indirekte Auswirkungen von Wasserkraftwerken. Schriftenreihe der Forschungsinitiative des Verbundkonzerns, Band 5. Österreichische Elektrizitätswirtschafts-AG, Wien.
- Böhringer 1996*: Böhringer, C.: Allgemeine Gleichgewichtsmodelle als Instrument der energie- und umweltpolitischen Analyse: Theoretische Grundlagen und empirische Anwendung. Europäischer Verlag der Wissenschaften, Frankfurt am Main.
- Boyle et al. 2003*: Boyle, G.; Everett, B.; Ramage, J.: Energy Systems - Power for a sustainable Future. Oxford University Press New York.
- Bülte 1975*: Bülte, U.: Externe Kosten des Automobils - Darstellung der Probleme und Methoden ihrer Erfassung und Bewertung mit Hilfe der Nutzen-Kosten-Analyse am Beispiel der Schweiz. Europäische Hochschulschriften, Reihe V: Volks- und Betriebswirtschaft, Band 116. Herbert Lang Bern, Peter Lang Frankfurt/Main.
- Camp 1994*: Camp, R. C.: Benchmarking. Hanser-Verlag München.
- Coase 1960*: Coase, R. H.: The Problem of Social Cost. In: Journal of Law and Economics 1960, Vol. 3, p. 1-44.
- Diedrichs 1985*: Diedrichs, C. J.: Wirtschaftlichkeitsberechnungen und Nutzen-Kosten-Untersuchungen: Grundlagen und Anwendungen bei bauwirtschaftlichen Investitionsentscheidungen. expert verlag Sindelfingen.
- DVGW 2004*: DVGW (Hrsg.): Benchmarking in Wasserversorgungsunternehmen. DVGW-Hinweis W 1100, Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e. V. Bonn, Mai 2004.
- DVWK 1984*: DVWK (Hrsg.): Projektbewertung in der wasserwirtschaftlichen Praxis. Schriftenreihe des Deutschen Verbandes für Wasserwirtschaft und Kulturbau e. V., Heft 66.
- DVWK 1985*: DVWK (Hrsg.): Ökonomische Bewertung von Hochwasserschutzwirkungen - Arbeitsmaterialien zum methodischen Vorgehen. Mitteilungen des Deutschen Verbandes für Wasserwirtschaft und Kulturbau e. V., Heft 10.
- DVWK 1993*: DVWK (Hrsg.): Fallbeispiel zur Nutzwertanalyse - Wasserwirtschaftliche Planung Emstal. Mitteilungen des Deutschen Verbandes für Wasserwirtschaft und Kulturbau e. V., Heft 23.
- EAWAG & BUWAL 1995*: EAWAG; BUWAL (Hrsg.): Anleitung zur Beurteilung der schweizerischen Fließgewässer - Ökomorphologie, Hydrologie, Fischbiologie. Eidgenössische Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz (EAWAG) und Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL).

-
- EnBW 2005*: Illerkraftwerke. Faltblatt der EnBW Kraftwerke AG.
- Endres & Holm-Müller 1998*: Endres, A.; Holm-Müller, K.: Die Bewertung von Umweltschäden - Theorie und Praxis sozioökonomischer Verfahren. W. Kohlhammer Stuttgart Berlin Köln.
- Essler & Moshage 2005*: Essler, H.; Moshage, K.: Wirtschaftliche Analyse der Wassernutzungen nach WRRL. In: Wasser und Abfall 7 (2005), Heft 11, S. 26-28.
- ExternE 1995a*: European Commission (Hrsg.): ExternE - Externalities of Energy Vol. 1 - Summary. EUR 16524 EN. European Commission Directorate-General XII Science, Research and Development.
- ExternE 1995b*: European Commission (Hrsg.): ExternE - Externalities of Energy Vol. 6 - Wind & Hydro. EUR 16525 EN. European Commission Directorate-General XII Science, Research and Development.
- Forstenlechner et al. 1997*: Forstenlechner, E.; Hütte, M.; Bundi, U.; Eichenberger, E.; Peter, A.; Zobrist, J.: Ökologische Aspekte der Wasserkraftnutzung im alpinen Raum. vdf, Hochschulverlag an der ETH Zürich.
- Friedrich & Bickel 2001*: Friedrich, R.; Bickel, P.: Environmental external costs of transport. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Fries & Nafu 2006*: Fries, S.; Nafu, I.: Das Kostendeckungsprinzip - und die unbeantwortete Frage nach der richtigen Methodik. In: KA - Abwasser, Abfall 53 (2006), Heft 2, S. 154-159.
- Geiger & Wagner 1997*: Geiger, B.; Wagner, U.: Strom - umweltschonende Energieversorgung von der Erzeugung bis zu Anwendung. In: Siemens Power Journal 1997, Heft 4, S. 5-10.
- Giesecke 1991*: Giesecke, J.: Wasserwirtschaft in stark besiedelten Regionen, gezeigt am Beispiel des Neckar. Mitteilungen des Institutes für Wasserbau der Universität Stuttgart, Heft 76.
- Giesecke 1997*: Giesecke, J.: Bauliche Gestaltung und Umweltaspekte von Wasserkraftanlagen. In: Beiträge zum Seminar Kleinwasserkraft 10.10.1997. Mitteilungen des Institutes für Strömungsmechanik und Hydraulische Strömungsmaschinen der Universität Stuttgart, Mitteilung Nr. 13.
- Giesecke 2001*: Giesecke, J.: Pumped-storage Plants - their Role and Future Significance for the Electricity Supply in Germany. In: Dams in Germany. Verlag Glückauf Essen.
- Giesecke 2004*: Giesecke, J.: Heimische erneuerbare Energien. In: Energie und Bau. Schriftenreihe der Stiftung Bauwesen zu „Der Bauingenieur und die Gesellschaft“, Heft 9.
- Giesecke & Mosonyi 2005*: Giesecke, J.; Mosonyi, E.: Wasserkraftanlagen - Planung, Bau und Betrieb. 4. Auflage. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Günther et al. 1981*: Günther, W.; Klaus, J.; Lindstadt, H. J.; Schmidtke, R. F.: Monetäre Bewertung wasserwirtschaftlicher Maßnahmen - Systematik der volkswirtschaftlichen Nutzenermittlung. Informationsschrift des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft 2/81.
- Halleraker et al. 2003*: Halleraker, J. H.; Saltveit, S. J.; Harby, A.; Arnekleiv, J. V.; Fjeldstad, H.-P.; Kohler, B.: Factors influencing stranding of wild juvenile brown trout (*salmo trutta*) during rapid and frequent flow decreases in an artificial stream. In: River Research and Applications 19 (2003), Issue 5/6, p. 589-603.
-

- Hanusch 1994*: Hanusch, H.: Nutzen-Kosten-Analyse. 2. Auflage. Verlag Franz Vahlen München.
- Hauenstein et al. 1999*: Hauenstein, W.; Bonvin, J.-M.; Vouillamoz, J.; Wiederkehr, B.; Rey, Y.: Externe Effekte der Wasserkraftnutzung in der Schweiz - Identifikation, Quantifizierung und Bewertung. *Verbandsschrift des Schweizerischen Wasserwirtschaftsverbandes* (1999), Nr. 60.
- Haury 2003*: Haury, G.: Politischen, technische und wirtschaftliche Rahmenbedingungen für einen weiteren Ausbau der Wasserkraft in Deutschland. In: Böhmer, T. (Hrsg.): Erneuerbare Energie - Perspektiven für die Stromerzeugung. *Energie im Dialog*, Band 3, VWEW Energieverlag Frankfurt am Main.
- Heimerl 2002*: Heimerl, S.: Systematische Bewertung von Wasserkraftprojekten. *Mitteilungen des Institutes für Wasserbau der Universität Stuttgart*, Heft 112.
- Heimerl et al. 2002*: Heimerl, S.; Nöthlich, I.; Urban, G.: Fischpass Iffezheim - erste Erfahrungen an einem der größten Verbindungsgewässer Europas. In: *Wasserwirtschaft* 92 (2002), Heft 4/5, S. 12-22.
- Heimerl & Kohler 2003*: Heimerl, S.; Kohler, B.: Implementation of the EU Water Framework Directive in Germany. In: *Hydropower & Dams* 10 (2003), Issue 5, p. 88-93.
- Heimerl 2005*: Heimerl, S.: Wasserkraft in Deutschland - Bedeutung, Struktur und rechtliche Rahmenbedingungen. In: *ew* 104 (2005), Heft 16, S. 30-35.
- Hoffmeister 2000*: Hoffmeister, W.: Investitionsrechnung und Nutzwertanalyse. Kohlhammer Stuttgart.
- Hohmeyer 2004*: Hohmeyer, O.: Vergütung nach dem EEG: Subvention oder fairer Ausgleich externer Kosten? In: Ziesing, H.-J. (Hrsg.): Externe Kosten in der Stromerzeugung. *Energie im Dialog*, Band 4, VWEW Energieverlag Frankfurt am Main.
- Hostmann 2000*: Hostmann, M.: Kosten-Nutzen-Analysen und Gewässerökologie. *Ökostrom Publikationen* Band 5, EAWAG - Eidgenössischen Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz, Kastanienbaum, Schweiz.
- Hübler 1993*: Hübler, K.-H.: Bewertungsverfahren zwischen Qualitätsanspruch, Angebot und Anwendbarkeit. In: Hübler, K.-H.; Otto-Zimmerman, K. (Hrsg.): *Bewertung der Umweltverträglichkeit*. Eberhard Blottner Verlag Taunusstein.
- Hütte 2000*: Hütte, M.: *Ökologie und Wasserbau - Ökologische Grundlagen von Gewässerverbauung und Wasserkraftnutzung*. Parey Buchverlag Berlin.
- Husemann & Meyer 2003*: Husemann, F.; Meyer, A.: Neupositionierung von Wasserkraftwerken durch Kostenbenchmarking. In: *ew* 102 (2003), Heft 5, S. 16-18.
- INFRAS/ECONCEPT/PROGNOS 1996*: Maibach, M. (Hrsg.): *Die vergessenen Milliarden - Externe Kosten im Energie- und Verkehrsbereich*. Verlag Paul Haupt Bern Stuttgart Wien.
- Interviews & Kraemer 2002*: Interviews, E.; Kraemer, R. A.: Ökonomische Aspekte der EU-Wasserrahmenrichtlinie. In: v. Keitz, S. & Schmalholz, M. (Hrsg.): *Handbuch der EU-Wasserrahmenrichtlinie: Inhalte, Neuerungen und Anregungen für die nationale Umsetzung*. Erich Schmidt Verlag Berlin.
- IRKA 2004*: IRKA (Hrsg.): *Revitalisierung und Wasserkraftnutzung am Alpenrhein*. Bericht der internationalen Regierungskommission Alpenrhein, Projektgruppe „Energie“, April 2004.

- Jorde 1996*: Jorde, K.: Ökologisch begründete, dynamische Mindestwasserregelungen bei Ausleitungskraftwerken. Mitteilungen des Institutes für Wasserbau der Universität Stuttgart, Heft 90.
- Kaltschmitt et al. 2006*: Kaltschmitt, M.; Streicher, W.; Wiese, A.: Erneuerbare Energien - Systemtechnik, Wirtschaftlichkeit, Umweltaspekte. 4. Auflage. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Kettemann & Winkler 1992*: Kettemann, O.; Winkler, U. (Hrsg.): Die Iller - Geschichte am Wasser von Noth und Kraft. Zweckverband Schwäbisches Bauernhofmuseum Illerbeuren, Memminger Zeitung Verlagsdruckerei.
- Kiesl et al. 2005*: Kiesl, H.; Löhner, H.; Schielein, J.: Benchmarking in der Wasserversorgung. wvgw Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH Bonn.
- Kohler & Heimerl 2003*: Kohler, B.; Heimerl, S.: Wirtschaftlichkeitsbewertung von Kleinwasserkraftanlagen. In: Ostbayerisches Technologie-Transfer-Institut (OTTI) Regensburg (Hrsg.), Tagungsband des Sechsten Internationalen Anwenderforums Kleinwasserkraftwerke, Passau, S. 123-127.
- Kohler & Heimerl 2005*: Kohler, B.; Heimerl, S.: Evaluation of Collateral Effects for Hydro-power Projects. In: Hydro 2005 - Policy to Practice, Conference Proceedings, Villach.
- Kummert & Stumm 1989*: Kummert, R.; Stumm, W.: Gewässer als Ökosysteme - Grundlagen des Gewässerschutzes. Verlag der Fachvereine Zürich, B. G. Teubner Stuttgart.
- Kunze et al. 1974*: Kunze, D. M.; Blanek, H.-D.; Simons, D.: Nutzwertanalyse als Entscheidungshilfe für Planungsträger. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. (KTBL). KTBL-Schriften-Vertrieb im Landwirtschaftsverlag Hilstrup.
- Lacombe 1999*: Lacombe, J.: Grundlagen der Gewässerstrukturgütekartierung. In: Zumbroich, T., Müller, A., Friedrich, G. (Hrsg.): Strukturgüte von Fließgewässern - Grundlagen und Kartierung. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York.
- Lange & Lecher 1993*: Lange, G.; Lecher, K.: Gewässerregelung, Gewässerpflege - Naturnaher Ausbau und Unterhaltung von Fließgewässern. 3. Auflage. Verlag Paul Parey Hamburg Berlin.
- Lehmann & Hess 1998*: Lehmann, B.; Hess, B.: Umweltindikatoren - Scharnier zwischen Ökonomie und Ökologie; Eignungsbewertung von Indikatoren für ein Umweltmonitoring und Evaluation der Umweltwirkung agrarökologischer Erlasse - Resultate einer Delphi-Studie. Institut für Agrarwirtschaft ETH Zürich. vdf, Hochschulverlag AG an der ETH Zürich.
- Löhner 2003*: Löhner, H.: Benchmarking in der kommunalen Wasserversorgung. Joseph Eul Verlag Lohmar Köln.
- Lühr 1972*: Lühr, H.-P.: Vergleich der Lösungsmethoden für stationäre Grundwasserströmungen mit Hilfe einer Kosten-Effektivitäts-Analyse. Erich Schmidt Verlag Bielefeld.
- Maniak 2001*: Maniak, U.: Wasserwirtschaft - Einführung in die Bewertung wasserwirtschaftlicher Vorhaben. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Marx 2003*: Marx, W.: Wasserkraft, Bewässerung, Umwelt - Planungs- und Bewertungsschwerpunkte der Wasserbewirtschaftung. Mitteilungen des Institutes für Wasserbau der Universität Stuttgart, Heft 116.
- Masuhr et al. 1992*: Masuhr, K.; Wolff, H.; Keppler, J.: Die externen Kosten der Energieversorgung. Schäffler-Poeschel Verlag Stuttgart.

- Mehlhorn 2005*: Mehlhorn, H.: Benchmarking in der Wasserversorgung - Chancen, Risiken, Entwicklungen. In: GWF Wasser Abwasser 146 (2005), Heft 13, S. S8-S13.
- Mühlenkamp 1994*: Mühlenkamp, H.: Kosten-Nutzen-Analyse. R. Oldenburg Verlag München Wien.
- Patt et al. 1998*: Patt, H.; Jürging, P.; Kraus, W.: Naturnaher Wasserbau - Entwicklung und Gestaltung von Fließgewässern. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Pelikan 1993*: Pelikan, B.: Umweltbezogene Planung wasserbaulicher Maßnahmen an Fließgewässern. Wiener Mitteilungen Wasser - Abwasser - Gewässer der Universität für Bodenkultur Wien.
- Pfetscher 2005*: Pfetscher, S.: Bewertung externer Effekte von Wasserkraftanlagen. Diplomarbeit der Hochschule für Wirtschaft und Umwelt Nürtingen-Geislingen, nicht veröffentlicht.
- Pflügner 1988*: Pflügner, W.: Nutzen-Analysen im Umweltschutz - Der ökonomische Wert von Wasser und Luft. Vandenhoeck und Ruprecht, Göttingen.
- Pigou 1920*: Pigou, A. C.: The Economics of Welfare. MacMillan London.
- Rathje 2003*: Rathje B.: Die wirtschaftliche Analyse nach EG-Wasserrahmenrichtlinie (Teil III). In: Wasser und Abfall 5 (2003), Heft 10, S. 43-47.
- Richtlinie 2000/60/EG*: Europäisches Parlament und Rat der europäischen Gemeinschaft (Hrsg.): Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) - Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates der europäischen Gemeinschaft vom 23.10.2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik. Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaft Nr. L327/1 vom 22.12.2000.
- Rinza & Schmitz 1992*: Rinza, P.; Schmitz, H.: Nutzenwert-Kosten-Analyse - Eine Entscheidungshilfe. VDI Verlag Düsseldorf.
- Schmid 1996*: Schmid, G.: Die technisch-ökonomische Bewertung von Emissionsminderungsstrategien mit Hilfe von Energiemodellen. Forschungsbericht des Instituts für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung der Universität Stuttgart, Band 28.
- Schneider 2001*: Schneider, M.: Habitat- und Abflussmodellierung für Fließgewässer mit unscharfen Berechnungsansätzen. Mitteilungen des Institutes für Wasserbau der Universität Stuttgart, Heft 108.
- Schönbäck et al. 1997*: Schönbäck, W.; Kosz, M.; Madreiter, T.: Nationalpark Donauauen: Kosten-Nutzen-Analyse. Springer-Verlag Wien New York.
- Schrenk 2005*: Schrenk, V.: Ökobilanzen zur Bewertung von Altlastensanierungsmaßnahmen. Mitteilungen des Institutes für Wasserbau der Universität Stuttgart, Heft 141.
- Schröder 1991*: Schröder, M.: Die volkswirtschaftlichen Kosten von Umweltpolitik: Kosten-Wirksamkeitsanalysen mit einem angewandten Gleichgewichtsmodell. Physika-Verlag Heidelberg.
- Schumann et al. 2000*: Schumann, A.; Tiedt, M.; Schultz, G.; Sander, H.: Sanierung oder Abriss? - Beurteilung des Nutzens einer Talsperre für Freizeit und Erholung. In: Wasserwirtschaft 90 (2000), Nr. 1, S. 14-18.
- Steinberg et al. 2002*: Steinberg, C.; Weigert, B.; Möller, K.; Jekel, M.: Nachhaltige Wasserwirtschaft - Entwicklung eines Bewertungs- und Prüfungsverfahrens. Erich Schmidt Verlag Berlin.

-
- Tegtmeier 1986*: Tegtmeier, U.: Wasserwirtschaftliche Projektbewertung - Methoden und Anwendungsbeispiele. Schriftenreihe Hydrologie/Wasserwirtschaft, Ruhr-Universität Bochum, Heft 5.
- Tiedt 1992*: Tiedt, M.: Freizeitnutzung als Komponente der wasserwirtschaftlichen Projektbewertung. Schriftenreihe Hydrologie/Wasserwirtschaft der Ruhr-Universität Bochum, Heft 9.
- Träbing 1996*: Träbing, K.: Ökomorphologische Kenngrößen für die Strukturvielfalt von Fließgewässern. Mitteilungen des Instituts für Wasserbau und Wasserwirtschaft der Technischen Hochschule Darmstadt, Heft 96.
- UBA 2001*: Umweltbundesamt (Hrsg.): Vergleich externer Kosten der Stromerzeugung in Bezug auf das Erneuerbare Energien Gesetz. Gutachten von Prof. Dr. O. Hohmeyer (Universität Flensburg), Texte des UBA 06/02, Berlin.
- UVPG 1990*: Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVPG) vom 12.02.1990, BGBl I 1990, 205, zuletzt geändert 25.06.2005, BGBl I 1757, 2797.
- VDI 2000*: Verein Deutscher Ingenieure (Hrsg.): Benchmarking. VDI-Richtlinien VDI 4402, Stand November 2000, Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf.
- Warnecke et al. 2003*: Warnecke, H.-J.; Bullinger, H.-J.; Hichert, R.; Voegelé, A.: Wirtschaftlichkeitsrechnung für Ingenieure. 3. Auflage. Carl Hanser Verlag München Wien.
- Wicke 1993*: Wicke, L.: Umweltökonomie. 4. Auflage. Verlag Franz Vahlen München.
- Zangemeister 1976*: Zangemeister, C.: Nutzwertanalyse in der Systemtechnik. 4. Auflage. Witztemann München.
- Zumbroich et al. 1999*: Zumbroich, T.; Müller, A.; Friedrich, G.: Strukturgüte von Fließgewässern - Grundlagen und Kartierung. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York.

9 Anhang

9.1 Datenerhebungsbogen Tannheim

Datenerhebungsbogen für externe Effekte von Wasserkraftanlagen		
Name der Anlage:	Illerkraftwerk II Tannheim	
Technische Daten:		
Leistung:	12,4 MW	
Jahresarbeitsvermögen:	65 Mio. kWh	
Ausbaufallhöhe:	15,8 m	
Ausbaudurchfluss:	100 m ³ /s	
Turbinen:	3 Francis-Turbinen; 1 Kaplan-Turbine	
Inbetriebnahme:	1923	
Anmerkung:	Oberhalb des Kraftwerks ist ein Speicherbecken angeordnet mit einem Nutzinhalt von 0,57 Mio. m ³ , das neben der natürlichen Speicherung von Abflussspitzen zum kurzfristigen Schwellbetrieb genutzt werden kann. Da die Daten der Bauzeit (vor 1923) nicht mehr vorliegen, können viele dieser Angaben lediglich geschätzt bzw. aus der Schrift „Die Iller - Geschichten am Wasser von Noth und Kraft“ [Kettmann & Winkler 1992] entnommen werden. Die EnBW betreut von Tannheim aus 13 Wasserkraftanlagen, von denen fünf an der Iller liegen. Drei dieser Anlagen wurden als Ausleitungskraftwerke am Illerkanal errichtet. Im Folgenden werden einzelne Werte aufgrund der Datenlage nicht direkt dem Kraftwerk Tannheim zugeordnet, sondern beziehen sich auf mehrere Anlagen, was jeweils gesondert gekennzeichnet ist.	
Vorkommen:	x	Effekt ist vorhanden; die Auswirkungen sind bewertbar.
	(x)	Effekt ist vorhanden; die Auswirkungen lassen sich aufgrund der Datenlage nicht bewerten.
	-	Effekt ist nicht vorhanden.

E1 Wassermanagement

E1.1 Hochwasser			
	Vorkommen	Beschreibung der Auswirkung:	Bewertung:
Kosten			
Bau	-	Wasser im Mutterbett; keine Veränderung zum ursprünglichen Wasserverlauf	
Betrieb	-	keine erhöhte Überschwemmungsgefahr	
Nutzen			
Betrieb	x	Kanal kann zur Hochwasserabfuhr herangezogen werden	Fassungsvermögen Kanal: ca. 100 m³/s
Kommentar	Kosten Hochwasser 1999 (hauptsächlich Schäden an Wasserkraftanlage, die damit internalisiert sind): ca. 0,5 Mio. €		

Bewertungsskala												
Skala	Gesundheit			Wohlbefinden			Flora			Fauna		
	Kosten		Nutzen	Kosten		Nutzen	Kosten		Nutzen	Kosten		Nutzen
	Bau	Betrieb	Betrieb	Bau	Betrieb	Betrieb	Bau	Betrieb	Betrieb	Bau	Betrieb	Betrieb
0	x	x		x	x		x	x		x	x	
1			x									
2									x			x
3						x						
4												
5												
6												

E1.2 Grundwasser			
	Vorkommen	Beschreibung der Auswirkung:	Bewertung:
Kosten			
Bau	-	Kanalkraftwerk im Trockenen erstellt, daher keine GW-Absenkung	
Betrieb	(x)	undichte Kanalstellen zu Beginn des Betriebs; Abdichtung 1970, seither unproblematisch	keine Angaben
Kommentar	Grundwassermessstellen in Form von Brunnen, anhand der Daten 2-3 Mal pro Jahr Volllastbetrieb, nur um Sedimente aufzuwirbeln; WKA hat positiven Effekt		

Bewertungsskala						
Skala	Gesundheit		Wohlbefinden		Flora	
	Kosten		Kosten		Kosten	
	Bau	Betrieb	Bau	Betrieb	Bau	Betrieb
0	x		x		x	
1				x		x
2						
3						
4						
5						
6						

E1.3 Gewässergüte			
	Vorkommen	Beschreibung der Auswirkung:	Bewertung:
Kosten			
Betrieb	(x)	problematisch hauptsächlich bei Schwellbetrieb in Form von Temperaturschwankungen, Veränderungen des Sedimenthaushalts, des Sauerstoffgehaltes und der Wasseraufenthaltszeit oder Vergrößerung der Wassertiefe und Wasseroberfläche, leichte Veränderungen durch Aufstau im oberwasserseitigen Stausee	keine Angaben, außer O ₂ -Werte
Kommentar	Schwellbetrieb sehr selten; O ₂ -Messstation installiert, Messdaten immer im geforderten Bereich; O ₂ -Werte eher von oberhalb liegender Kläranlage beeinflusst, an WKA kann O ₂ zugeführt werden, also positiver Effekt der Anlage		

Bewertungsskala				
Skala	Gesundheit	Wohlbefinden	Flora	Fauna
	Kosten	Kosten	Kosten	Kosten
	Betrieb	Betrieb	Betrieb	Betrieb
0	x			
1		x		
2			x	x
3				
4				
5				
6				

E1.4 Mindestwasser			
	Vorkommen	Beschreibung der Auswirkung:	Bewertung:
Kosten			
Betrieb	x	festgelegte Mindestwassermenge in Mutterbett	Mindestwasser jahreszeitlich angepasst 3-9 m ³ /s; Jahresmittelwert Iller: ca. 60 m ³ /s
Nutzen			
Betrieb	x	konstantere Verhältnisse in Mutterbett mit jahreszeitlichen Schwankungen, an heimische Flora und Fauna angepasst	Verlust für EnBW: 16 Mio. kWh (für alle 3 Kanalkraftwerke)
Kommentar	Mindestwasserregelung seit 1985, davor an ca. 290 Tagen pro Jahr Mutterbett trocken		

Bewertungsskala				
Skala	Flora		Fauna	
	Kosten	Nutzen	Kosten	Nutzen
	Betrieb	Betrieb	Betrieb	Betrieb
0				
1				
2		x		x
3				
4	x		x	
5				
6				

E2 Gewässerstruktur

E2.1 Morphologie			
	Vorkommen	Beschreibung der Auswirkung:	Bewertung:
Kosten			
Betrieb	(x)	Veränderung der Morphologie der Iller unterhalb des Kanals; Sedimentmasse wird unterhalb der Kraftwerke dem Kanal wieder zugeführt, daher wenig Auswirkungen auf Flora und Fauna in Iller	keine Angaben; Sedimenttransport internalisiert
Kommentar			

Bewertungsskala		
Skala	Wohlbefinden	Umwelt allgemein
	Kosten	Kosten
	Betrieb	Betrieb
0	x	
1		x
2		
3		
4		
5		
6		

E2.2 Wasserspiegelschwankungen			
	Vorkommen	Beschreibung der Auswirkung:	Bewertung:
Kosten			
Betrieb	x	durch kurzzeitigen Schwellbetrieb, meist in Wintermonaten	Schwellbetrieb: max. 1 Woche pro Jahr (Winter); WSP-Schwankungen ca. 50-85 cm
Kommentar		generell im Winter ökologische Schäden geringer als im Sommer	

Bewertungsskala		
Skala	Flora	Fauna
	Kosten	Kosten
	Betrieb	Betrieb
0		
1	x	x
2		
3		
4		
5		
6		

E2.3 Geschiebe- und Schwebstoffhaushalt			
	Vorkommen	Beschreibung der Auswirkung:	Bewertung:
Kosten			
Betrieb	x	geringere Fließgeschwindigkeit führt zur erhöhten Sedimentablagerung; Ausbaggern des Kanals ca. alle 10 Jahre	Dauer der Baggerarbeiten: ca. 1 Woche; Verlust durch Abschalten der Kraftwerke: ca. 280.000 €; Kosten für Baggerarbeiten: ca. 50.000-70.000 € (für alle 3 Kanalkraftwerke)
Kommentar	Sedimentmasse wird unterhalb der Kraftwerke dem Kanal wieder zugeführt, s. E2.1 "Morphologie"		

Bewertungsskala				
Skala	Flora		Fauna	
	Kosten		Kosten	
	Betrieb		Betrieb	
0				
1				
2				
3	x		x	
4				
5				
6				

E3 Lebensraum/Umfeld

E3.1 Beeinflusste Gewässerstrecke			
	Vorkommen	Beschreibung der Auswirkung:	Bewertung:
Kosten			
Bau	-	keine Veränderung des Mutterbetts während des Kanalbaus	
Betrieb	(x)	Aufstau am Wehr verursacht andere Strömungsverhältnisse	keine Daten über Flora und Fauna vor Kanalbau als Vergleichswert
Kommentar	veränderte Bedingungen verursacht durch verringerte Wassermenge im Mutterbett s. E1.4 "Mindestwasser"		

Bewertungsskala				
Skala	Flora		Fauna	
	Kosten		Kosten	
	Bau	Betrieb	Bau	Betrieb
0	x		x	
1		x		x
2				
3				
4				
5				
6				

E3.2 Fischbestand			
	Vorkommen	Beschreibung der Auswirkung:	Bewertung:
Nutzen			
Betrieb	x	Spende für Fischbesätze an Angelsportverein	Kosten für Fischspende: jährlich ca. 1.000 € (für alle 5 Illerkraftwerke)
Kommentar	Iller bei Tannheim an Angelsportverein verpachtet		

Bewertungsskala		
Skala	Wohlbefinden	Fauna
		Nutzen
	Betrieb	Betrieb
0	x	
1		x
2		
3		
4		
5		
6		

E3.3 Durchgängigkeit			
	Vorkommen	Beschreibung der Auswirkung:	Bewertung:
Kosten			
Bau	-	keine Veränderung des Mutterbetts während des Kanalbaus	
Betrieb	(x)	Durchgängigkeit nicht gewährleistet	geringe, nur lokale Auswirkung, da keine Wanderfische
Kommentar	unterhalb des Kanals keine Durchgängigkeit der Iller vorhanden, daher keine Wanderfische in diesem Illerbereich, nur geringe Fischwanderung zu erwarten; Auflage für eine Fischtreppe bei Genehmigung, sobald Iller unterhalb durchgängig		

Bewertungsskala		
Skala	Fauna	
	Kosten	
	Bau	Betrieb
0	x	
1		x
2		
3		
4		
5		
6		

E3.4 Gewässerrandstreifen			
	Vorkommen	Beschreibung der Auswirkung:	Bewertung:
Nutzen			
Betrieb	x	Instandhaltung von Ufer und Kanal sowie Bepflanzungen Aufgabe der EnBW	Kosten für Bewuchspflege s. E4.4 "Gewässerschutz/Bewuchspflege"; zusätzliche Kosten für Neuanpflanzungen nach z. B. Hochwasser nicht bekannt
Kommentar			

Bewertungsskala				
Skala	Flora		Fauna	
	Nutzen		Nutzen	
	Betrieb		Betrieb	
0				
1				
2	x		x	
3				
4				
5				
6				

E4 Raumnutzung

E4.1 Flächenbedarf			
	Vorkommen	Beschreibung der Auswirkung:	Bewertung:
Kosten			
Bau	(x)	große Flächeninanspruchnahme während Kanal- und Kraftwerksbau für Baustelleneinrichtung und Baunebenflächen	keine Daten vorhanden
Betrieb	x	Flächeninanspruchnahme des Kraftwerks, Kanals und insbesondere des Speichers	Größe der gesamten Anlage incl. Speicherbecken: ca. 20 ha
Kommentar			

Bewertungsskala						
Skala	Wohlbefinden		Flora		Fauna	
	Kosten		Kosten		Kosten	
	Bau	Betrieb	Bau	Betrieb	Bau	Betrieb
0		x				
1	x					x
2			x	x	x	
3						
4						
5						
6						

E4.2 Überflutungsflächen			
	Vorkommen	Beschreibung der Auswirkung:	Bewertung:
Kosten			
Betrieb	(x)	kleinere Überflutungsflächen durch Kanal und Speicherbecken, seltene Überflutung der Au Landschaften	keine ausgewiesenen Überschwemmungsflächen vorhanden
Kommentar	vor Begrädigung der Iller überschwemmte Fläche mit einer Breite von ca. 1-2 km, Begrädigung (1859-1894) allerdings nicht an Wasserkraftausbau gekoppelt		

Bewertungsskala			
Skala	Wohlbefinden	Flora	Fauna
	Kosten	Kosten	Kosten
	Betrieb	Betrieb	Betrieb
0			
1			
2	x	x	x
3			
4			
5			
6			

E4.3 Landschaftsbild			
	Vorkommen	Beschreibung der Auswirkung:	Bewertung:
Kosten			
Bau	(x)	Störung der unberührten Natur durch Baumaterialien und Bauablauf	keine Angaben
Betrieb	(x)	Veränderung der Landschaft durch Kanal und verminderten Mutterbettafluss sowie durch die Kraftwerksbauten	keine Angaben
Kommentar	Kraftwerke und Kanal existieren bereits seit langer Zeit, daher Veränderung für einen großen Teil der heutigen Bevölkerung nicht gegeben		

Bewertungsskala		
Skala	Wohlbefinden	
	Kosten	
	Bau	Betrieb
0		
1		x
2	x	
3		
4		
5		
6		

E4.4 Gewässerschutz/Bewuchspflege			
	Vorkommen	Beschreibung der Auswirkung:	Bewertung:
Nutzen			
Betrieb	x	Pflege und Instandhaltung durch EnBW	Kosten: ca. 850.000 € pro Jahr (für alle 5 Illerkraftwerke)
Kommentar	s. a. E3.4 "Gewässerrandstreifen"; zusätzliche Bewuchspflege bei Hochwasserschäden; Hochwasser 1999 (s. E1.1 "Hochwasser") ca. 0,5 Mio. € für Schäden an Kraftwerken und Gewässer		

Bewertungsskala		
Skala	Wohlbefinden	Umwelt allgemein
	Nutzen	Nutzen
	Betrieb	Betrieb
0		
1		
2	x	x
3		
4		
5		
6		

E4.5 Ökologische Ausgleichsflächen			
	Vorkommen	Beschreibung der Auswirkung:	Bewertung:
Nutzen			
Betrieb	-	keine ökologischen Ausgleichsflächen vorhanden	
Kommentar			

Bewertungsskala			
Skala	Wohlbefinden	Flora	Fauna
	Nutzen	Nutzen	Nutzen
	Betrieb	Betrieb	Betrieb
0	x	x	x
1			
2			
3			
4			
5			
6			

E4.6 Verkehr/Infrastruktur			
	Vorkommen	Beschreibung der Auswirkung:	Bewertung:
Nutzen			
Bau	x	Errichtung von 28 Brücken und zugehörige Wege, um Baugebiet zugänglich zu machen und durch Kanalbau durchschnittliche Verbindungsstraßen wieder herzustellen	Kosten für Brückenbau nicht mehr nachvollziehbar; heute: ca. 350.000 € (für alle 5 Illerkraftwerke)
Betrieb	x	Instandhaltung der Brücken und Wege durch EnBW	Kosten für Instandhaltung: ca. 350.000 € pro Jahr (für alle 5 Illerkraftwerke)
Kommentar	alle Brücken und Wege der WKA stehen der Öffentlichkeit zur Nutzung auf eigene Gefahr offen; vor Brückenbau Überquerung der Iller mit Flößen		

Bewertungsskala		
Skala	Wohlbefinden	
	Nutzen	
	Bau	Betrieb
0		
1		
2	x	
3		x
4		
5		
6		

E4.7 Freizeitnutzung			
	Vorkommen	Beschreibung der Auswirkung:	Bewertung:
Nutzen			
Betrieb	x	Wege entlang der Iller teilweise als Illerradwanderweg ausgewiesen, Instandhaltung durch EnBW	Instandhaltungskosten s. E4.6 "Verkehr/ Infrastruktur"
Kommentar	im Sommer große Anzahl an Radfahrern		

Bewertungsskala		
Skala	Gesundheit	Wohlbefinden
	Nutzen	Nutzen
	Betrieb	Betrieb
0		
1		
2	x	
3		x
4		
5		
6		

E5 Treib- und Betriebsstoffe

E5.1 Treib- und Hilfsstoffe			
	Vorkommen	Beschreibung der Auswirkung:	Bewertung:
Kosten			
Bau	(x)	Treibstoffe für Baufahrzeuge	keine Angaben; Annahme: Internalisierung
Betrieb	x	Benzin- und Dieserverbrauch des Fuhrparks für Wartungs- und Instandsetzungsarbeiten	Benzin: ca. 4.700 l/a; Diesel: ca. 27.800 l/a (für alle 13 von Tannheim aus betreuten Anlagen)
Kommentar			

Bewertungsskala				
Skala	Gesundheit		Umwelt allgemein	
	Kosten		Kosten	
	Bau	Betrieb	Bau	Betrieb
0	x		x	
1				
2		x		x
3				
4				
5				
6				

E5.2 Betriebsstoffe			
	Vorkommen	Beschreibung der Auswirkung:	Bewertung:
Kosten			
Bau	(x)	Betriebsstoffe für Baustelleneinrichtung	keine Angaben
Betrieb	x	Verwendung von Betriebsstoffen wie z. B. Fette, Öle, Farben, Lacke, Heizöl, verschiedenen Dichtungen und Reinigungsmittel	Fette: ca. 150 kg/a; Öle: ca. 200 l/a; Farben: ca. 500 kg/a; Heizöl: ca. 12.000 l/a; Reinigungsmittel: ca. 75 l/a (für alle 13 von Tannheim aus betreuten Anlagen)
Kommentar			
Turbinenschmierung mit Trinkwasser anstatt mit Öl, daher Einsparung von ca. 1.200 l/a			

Bewertungsskala		
Skala	Umwelt allgemein	
	Kosten	
	Bau	Betrieb
0		
1	x	
2		x
3		
4		
5		
6		

E6 Reststoffe

E6.1 Rechen- und Schwemmgut			
	Vorkommen	Beschreibung der Auswirkung:	Bewertung:
Kosten			
Betrieb	(x)	Nährstoffmangel und Störung des natürlichen Lebenszyklus durch Entnahme von Rechen- und Schwemmgut	keine Angaben
Nutzen			
Betrieb	x	störendes Material auf Kosten der EnBW entsorgt	Gesamtmenge des Rechenguts: ca. 1.000 m ³ /a; Kosten für Kompostierung: ca. 50.000 €/a; Kosten Entsorgung: ca. 270 €/a (incl. Zivilisationsmüll s. E6.2 "Zivilisationsmüll") (für alle 5 Illerkraftwerke)
Kommentar			

Bewertungsskala					
Skala	Wohlbefinden	Flora		Fauna	
	Nutzen	Kosten	Nutzen	Kosten	Nutzen
	Betrieb	Betrieb	Betrieb	Betrieb	Betrieb
0					
1		x		x	
2			x		x
3	x				
4					
5					
6					

E6.2 Zivilisationsmüll			
	Vorkommen	Beschreibung der Auswirkung:	Bewertung:
Nutzen			
Betrieb	x	Entnahme von Zivilisationsmüll auf Kosten der EnBW	ca. 2 t/a; Kosten s. E6.1 "Rechen- und Schwemmgut"
Kommentar			

Bewertungsskala			
Skala	Wohlbefinden	Flora	Fauna
	Nutzen	Nutzen	Nutzen
	Betrieb	Betrieb	Betrieb
0			
1			
2			
3	x	x	x
4			
5			
6			

E6.3 Ausgehobener Boden			
	Vorkommen	Beschreibung der Auswirkung:	Bewertung:
Nutzen			
Bau	(x)	Aushub von Baugrube und Kanalbau	keine Angaben; Annahme: relativ geringe Menge
Kommentar			

Bewertungsskala	
Skala	Wohlbefinden
	Nutzen
	Bau
0	x
1	
2	
3	
4	
5	
6	

E7 Transport

E7.1 Fuhrpark/Materialversorgung			
	Vorkommen	Beschreibung der Auswirkung:	Bewertung:
Kosten			
Bau	(x)	Schädigung durch Abgabe der Baufahrzeuge	keine Angaben; Annahme: Internalisierung
Betrieb	x	für Wartungs- und Instandsetzungsarbeiten: Bagger, PKW, LKW	25 Fahrzeuge (für alle 13 von Tannheim aus betreuten Anlagen)
Kommentar Angaben Treibstoff s. E5.1 "Treib- und Hilfsstoffe"			

Bewertungsskala		
Skala	Umwelt allgemein	
	Kosten	
	Bau	Betrieb
0	x	
1		x
2		
3		
4		
5		
6		

E7.2 Energieableitung			
	Vorkommen	Beschreibung der Auswirkung:	Bewertung:
Kosten			
Betrieb	-	keine Probleme durch die wenigen zusätzlichen Hochspannungsleitungen	
Kommentar	Hochspannungsleitungen waren meist schon vor Bau der Wasserkraftanlage vorhanden		

Bewertungsskala		
Skala	Gesundheit	Wohlbefinden
	Kosten	Kosten
	Betrieb	Betrieb
0	x	x
1		
2		
3		
4		
5		
6		

E8 Personal

E8.1 Personalstand			
	Vorkommen	Beschreibung der Auswirkung:	Bewertung:
Nutzen			
Bau	x	zusätzliche Arbeitsplätze	ca. 1.000 Mitarbeiter (für alle 3 Kanalkraftwerke)
Betrieb	x	neue Arbeitsplätze in Tannheim	32 Mitarbeiter (für alle 13 von Tannheim aus betreuten Anlagen)
Kommentar			

Bewertungsskala		
Skala	Wohlbefinden	
	Nutzen	
	Bau	Betrieb
0		
1		
2		x
3		
4		
5	x	
6		

E9 Schiffahrt

E9.1 Schiffbarkeit			
	Vorkommen	Beschreibung der Auswirkung:	Bewertung:
Kosten			
Bau	-	keine Schiffahrt	
Kommentar			

Bewertungsskala	
Skala	Wohlbefinden
	Kosten
	Bau
0	x
1	
2	
3	
4	
5	
6	

E9.2 Schiffbarmachung			
	Vorkommen	Beschreibung der Auswirkung:	Bewertung:
Nutzen			
Betrieb	-	keine Schiffahrt	
Kommentar	Flöße auf der Iller bis 1918, wurden durch Brücken unnötig, seither keine Schiffahrt mehr		

Bewertungsskala	
Skala	Wohlbefinden
	Nutzen
	Betrieb
0	x
1	
2	
3	
4	
5	
6	

E10 Emissionen

E10.1 Abwärme			
	Vorkommen	Beschreibung der Auswirkung:	Bewertung:
Kosten			
Bau	(x)	Veränderung der Luft- und Wasserqualität infolge Abwärme durch Maschinen und Geräte	keine Angaben
Betrieb	-	keine bedeutende Wärmeabgabe	
Kommentar			

Bewertungsskala						
Skala	Wohlbefinden		Flora		Fauna	
	Kosten		Kosten		Kosten	
	Bau	Betrieb	Bau	Betrieb	Bau	Betrieb
0		x		x		x
1	x		x		x	
2						
3						
4						
5						
6						

E10.2 Lärm			
	Vorkommen	Beschreibung der Auswirkung:	Bewertung:
Kosten			
Bau	(x)	Baulärm, hauptsächlich störend für Fauna, da Anlage außerhalb eines Ortes	keine Angaben
Betrieb	(x)	keine Störung von Anwohnern, Beeinträchtigung vor allem der Fauna	keine Angaben
Kommentar			

Bewertungsskala				
Skala	Wohlbefinden		Fauna	
	Kosten		Kosten	
	Bau	Betrieb	Bau	Betrieb
0		x		
1	x			x
2			x	
3				
4				
5				
6				

E10.3 Erschütterungen			
	Vorkommen	Beschreibung der Auswirkung:	Bewertung:
Kosten			
Bau	(x)	Erschütterungen bei Bagger- und anderen Bauarbeiten unvermeidbar	keine Angaben
Betrieb	-	keine Störung der Anwohner, da minimal ca. 2 km entfernt	
Kommentar			

Bewertungsskala				
Skala	Wohlbefinden		Fauna	
	Kosten		Kosten	
	Bau	Betrieb	Bau	Betrieb
0		x		x
1	x		x	
2				
3				
4				
5				
6				

E10.4 Luftschadstoffe			
	Vorkommen	Beschreibung der Auswirkung:	Bewertung:
Kosten			
Bau	-	Luftschadstoffe verursacht durch die beim Bau eingesetzten Maschinen s. E5 "Treib- und Betriebsstoffe"	
Nutzen			
Betrieb	x	erzeugte Strommenge vermeidet schädliche Emissionen anderer Stromerzeugungsformen	ca. 65 GWh/a vermeiden ca. 65.000 t CO ₂ pro Jahr
Kommentar			

Bewertungsskala				
Skala	Gesundheit		Umwelt allgemein	
	Kosten	Nutzen	Kosten	Nutzen
	Bau	Betrieb	Bau	Betrieb
0	x		x	
1				
2				
3		x		x
4				
5				
6				

E11 Energie- und Rohstoffverbrauch

E11.1 Baumaterialien			
	Vorkommen	Beschreibung der Auswirkung:	Bewertung:
Nutzen			
Bau	(x)	Materialien für Bau fördern Bauprodukt und Baustoffhandel	keine Angaben
Betrieb	x	Materialien für Instandsetzung kurbelt Markt an	Materialverbrauch: ca. 15-25 t/a (für alle 5 Illerkraftwerke)
Kommentar			

Bewertungsskala		
Skala	Wohlbefinden	
	Nutzen	
	Bau	Betrieb
0		
1		
2		x
3	x	
4		
5		
6		

E11.2 Energieeinsatz			
	Vorkommen	Beschreibung der Auswirkung:	Bewertung:
Kosten			
Bau	(x)	verbrauchte Energie durch Baumaschinen	keine Angaben
Betrieb	(x)	Energieeinsatz für Instandsetzungsarbeiten	keine Angaben
Kommentar			

Bewertungsskala		
Skala	Umwelt allgemein	
	Kosten	
	Bau	Betrieb
0		
1	x	x
2		
3		
4		
5		
6		

E12 Öffentlichkeit

E12.1 Fachbesucher			
	Vorkommen	Beschreibung der Auswirkung:	Bewertung:
Nutzen			
Bau	(x)	Interesse an Bau vermutlich recht hoch, da sich dadurch eine Stromversorgungssicherheit einstellte	keine Angaben
Betrieb	x	großes Interesse von Besuchern aus Schulen, Universitäten und Hochschulen, aber auch von Politikern und Vereinen	ca. 1.000 Besucher pro Jahr
Kommentar			

Bewertungsskala		
Skala	Wohlbefinden	
	Nutzen	
	Bau	Betrieb
0		
1	x	
2		x
3		
4		
5		
6		

E12.2 Tourismus/Naherholung			
	Vorkommen	Beschreibung der Auswirkung:	Bewertung:
Nutzen			
Bau	-	vermutlich kein Tourismus hervorgerufen durch die Baustelle	
Betrieb	(x)	Illerradwanderweg besonderer Reiz für Radfahrer, diese Gegend zu besuchen	keine Angaben
Kommentar			

Bewertungsskala		
Skala	Wohlbefinden	
	Nutzen	
	Bau	Betrieb
0	x	
1		
2		x
3		
4		
5		
6		

E12.3 Allgemeine öffentliche Darstellung			
	Vorkommen	Beschreibung der Auswirkung:	Bewertung:
Nutzen			
Bau	-	keine Informationen über größeren Öffentlichkeitsandrang	
Betrieb	(x)	positive Darstellung von erneuerbaren Energien in Form von Wasserkraft durch EnBW	keine Angaben
Kommentar			

Bewertungsskala		
Skala	Wohlbefinden	
	Nutzen	
	Bau	Betrieb
0	x	
1		
2		
3		x
4		
5		
6		

E13 Investitionen

E13.1 Erhöhung der Kaufkraft			
	Vorkommen	Beschreibung der Auswirkung:	Bewertung:
Nutzen			
Bau	(x)	durch höhere Beschäftigungszahl bzw. zusätzliche auswärtige Arbeiter	ca. 1.000 Arbeiter
Betrieb	(x)	durch höhere Beschäftigungszahl	32 Arbeitsplätze (für alle 13 von Tannheim aus betreuten Anlagen)
Kommentar			

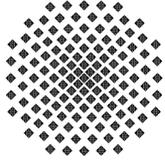
Bewertungsskala		
Skala	Wohlbefinden	
	Nutzen	
	Bau	Betrieb
0		
1		x
2	x	
3		
4		
5		
6		

E13.2 Zusätzlicher Verdienst			
	Vorkommen	Beschreibung der Auswirkung:	Bewertung:
Nutzen			
Bau	(x)	z. B. Unterkunft für auswärtige Arbeiter...	keine Angaben
Betrieb	x	hauptsächliche Vergabe an örtliche Firmen für Instandhaltungsarbeiten	Ausgaben an Fremdfirmen: ca. 500.000-700.000 €/a (für alle 5 Illerkraftwerke)
Kommentar			

Bewertungsskala		
Skala	Wohlbefinden	
	Nutzen	
	Bau	Betrieb
0		
1		
2	x	x
3		
4		
5		
6		

9.3 Spezifische Bewertungsmatrix Unteropfingen

	Gewichtungsfaktoren				prozentuale Verteilung	Wertziffern												Einzelnutzwerte				Teilnutzwerte
	Kosten		Nutzen			Mensch				Umwelt												
	Bau	Betrieb	Bau	Betrieb		Gesundheit		Wohlbefinden		Flora		Fauna		allgemein		I	II	III	IV			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV		
E1 Wassermanagement					14,34%																	-0,004
E1.1 Hochwasser	1,32 %	2,36 %		2,36 %	6,04%	0	0	1	0	0	3	0	0	2	0	0	2	0	0	0	0,189	0,189
E1.2 Grundwasser	1,32 %	1,98 %			3,30%	0	0	0	1		0	1					0	-0,04	0	0	-0,04	
E1.3 Gewässergrüte		1,98 %			1,98%	0			1		1		1				0	-0,059	0	0	-0,059	
E1.4 Mindestwasser		1,79 %		1,23 %	3,02%						4	2	4	2			0	-0,143	0	0,049	-0,094	
E2 Gewässerstruktur					5,00%																	-0,144
E2.1 Morphologie		1,98 %			1,98%			0								1	0	-0,02	0	0	-0,02	
E2.2 Wasserspiegelschwankung		1,42 %			1,42%						1		1				0	-0,028	0	0	-0,028	
E2.3 Geschiebe- und Schwebstoffhaushalt		1,60 %			1,60%						3		3				0	-0,096	0	0	-0,096	
E3 Lebensraum/Umfeld					9,42%																	0,024
E3.1 Beeinflusste Gewässerstrecke	1,32 %	1,79 %			3,11%					0	1		0	1			0	-0,036	0	0	-0,036	
E3.2 Fischbestand				1,60 %	1,60%			0							1		0	0	0	0,016	0,016	
E3.3 Durchgängigkeit	1,13 %	1,98 %			3,11%								0	1			0	-0,02	0	0	-0,02	
E3.4 Gewässerrandstreifen				1,60 %	1,60%							2			2		0	0	0	0,064	0,064	
E4 Raumnutzung					17,09%																	0,038
E4.1 Flächenbedarf	1,70 %	1,98 %			3,68%			1	0		2	1		2	0		-0,085	-0,02	0	0	-0,105	
E4.2 Überflutungsflächen		1,98 %			1,98%			1			1		1				0	-0,059	0	0	-0,059	
E4.3 Landschaftsbild	1,23 %	1,89 %			3,12%			2	1								-0,025	-0,019	0	0	-0,044	
E4.4 Gewässerschutz/Bewuchspflege				1,70 %	1,70%					2						2	0	0	0	0,068	0,068	
E4.5 Ökologische Ausgleichsflächen				1,79 %	1,79%				0				0		0		0	0	0	0	0,0	
E4.6 Verkehr/Infrastruktur			0,85 %	1,89 %	2,74%					2	3						0	0	0,017	0,057	0,074	
E4.7 Freizeinutzung				2,08 %	2,08%			2			3						0	0	0	0,104	0,104	
E5 Treib- und Betriebsstoffe					5,09%																	-0,116
E5.1 Treib- und Hilfsstoffe	1,32 %	1,79 %			3,11%	0	2							0	2		0	-0,072	0	0	-0,072	
E5.2 Betriebsstoffe	0,75 %	1,23 %			1,98%										1	3	-0,008	-0,037	0	0	-0,044	
E6 Reststoffe					7,17%																	0,329
E6.1 Rechen- und Schwemmgut		1,79 %		2,17 %	3,96%					3	1	2	1	2			0	-0,036	0	0,152	0,116	
E6.2 Zivilisationsmüll				2,36 %	2,36%					3		3		3			0	0	0	0,212	0,212	
E6.3 Ausgehobener Boden			0,85 %		0,85%				0								0	0	0	0	0,0	
E7 Transport					3,49%																	-0,012
E7.1 Fuhrpark/Materialversorgung	0,75 %	1,23 %			1,98%										0	1	0	-0,012	0	0	-0,012	
E7.2 Energieableitung		1,51 %			1,51%	0		0									0	0	0	0	0,0	
E8 Personal					3,86%																	0,125
E8.1 Personalstand			1,60 %	2,26 %	3,86%					5	2						0	0	0,08	0,045	0,125	
E9 Schifffahrt					2,55%																	0,0
E9.1 Schifffahrt	0,85 %				0,85%			0									0	0	0	0	0,0	
E9.2 Schiffbarmachung				1,70 %	1,70%					0							0	0	0	0	0,0	
E10 Emissionen					14,72%																	0,005
E10.1 Abwärme	1,32 %	1,79 %			3,11%			1	0		1	0		1	0		-0,04	0	0	0	-0,04	
E10.2 Lärm	1,89 %	2,17 %			4,06%			1	0				2	1			-0,057	-0,022	0	0	-0,078	
E10.3 Erschütterungen	1,51 %	2,17 %			3,68%			1	0				1	0			-0,03	0	0	0	-0,03	
E10.4 Luftschadstoffe	1,32 %			2,55 %	3,87%	0		3							0	3	0	0	0	0,153	0,153	
E11 Energie- und Rohstoffverbrauch					4,34%																	0,038
E11.1 Baumaterialien			1,04 %	1,32 %	2,36%					3	2						0	0	0,031	0,026	0,058	
E11.2 Energieeinsatz	0,75 %	1,23 %			1,98%									1	1		-0,008	-0,012	0	0	-0,02	
E12 Öffentlichkeit					8,03%																	0,129
E12.1 Fachbesucher			1,04 %	1,70 %	2,74%				1	2							0	0	0,01	0,034	0,044	
E12.2 Tourismus/Naherholung			1,04 %	1,70 %	2,74%				0	2							0	0	0	0,034	0,034	
E12.3 Allg. öffentliche Darstellung			0,85 %	1,70 %	2,55%				0	3							0	0	0	0,051	0,051	
E13 Investitionen					4,91%																	0,083
E13.1 Erhöhung der Kaufkraft			1,23 %	1,51 %	2,74%				2	1							0	0	0,025	0,015	0,04	
E13.2 Zusätzlicher Verdienst			0,85 %	1,32 %	2,17%				2	2							0	0	0,017	0,026	0,043	
	Summe: 100,0 %																					0,495
																						-0,982
																						1,476
																						1,504



Institut für Wasserbau Universität Stuttgart

Pfaffenwaldring 61
70569 Stuttgart (Vaihingen)
Telefon (0711) 685 - 64717/64741/64752/64679
Telefax (0711) 685 - 67020 o. 64746 o. 64681
E-Mail: iws@iws.uni-stuttgart.de
<http://www.iws.uni-stuttgart.de>

Direktoren

Prof. Dr. rer. nat. Dr.-Ing. András Bárdossy
Prof. Dr.-Ing. Rainer Helmig
Prof. Dr.-Ing. Silke Wieprecht

Vorstand (Stand 31.01.2006)

Prof. Dr. rer. nat. Dr.-Ing. A. Bárdossy
Prof. Dr.-Ing. R. Helmig
Prof. Dr.-Ing. S. Wieprecht
Prof. Dr.-Ing. habil. B. Westrich
Jürgen Braun, PhD
Dr.-Ing. H. Class
Dr.-Ing. A. Färber
Dr.-Ing. H.-P. Koschitzky
PD Dr.-Ing. W. Marx

Emeriti

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Jürgen Giesecke
Prof. Dr.h.c. Dr.-Ing. E.h. Helmut Kobus, Ph.D.

Lehrstuhl für Wasserbau und Wassermengenwirtschaft

Leiter: Prof. Dr.-Ing. Silke Wieprecht
Stellv.: PD Dr.-Ing. Walter Marx, AOR

Lehrstuhl für Hydrologie und Geohydrologie

Leiter: Prof. Dr. rer. nat. Dr.-Ing. András Bárdossy
Stellv.: Dr.-Ing. Arne Färber

Lehrstuhl für Hydromechanik und Hydrosystemmodellierung

Leiter: Prof. Dr.-Ing. Rainer Helmig
Stellv.: Dr.-Ing. Holger Class, AOR

VEGAS, Versuchseinrichtung zur Grundwasser- und Altlastensanierung

Leitung: Jürgen Braun, PhD
Dr.-Ing. Hans-Peter Koschitzky, AD

Versuchsanstalt

Leiter: apl. Prof. Dr.-Ing. Bernhard Westrich

Verzeichnis der Mitteilungshefte

- 1 Röhnisch, Arthur: *Die Bemühungen um eine Wasserbauliche Versuchsanstalt an der Technischen Hochschule Stuttgart,*
und
Fattah Abouleid, Abdel: *Beitrag zur Berechnung einer in lockeren Sand gerammten, zweifach verankerten Spundwand,* 1963
- 2 Marotz, Günter: *Beitrag zur Frage der Standfestigkeit von dichten Asphaltbelägen im Großwasserbau,* 1964
- 3 Gurr, Siegfried: *Beitrag zur Berechnung zusammengesetzter ebener Flächentragwerke unter besonderer Berücksichtigung ebener Stauwände, mit Hilfe von Randwert- und Lastwertmatrizen,* 1965
- 4 Plica, Peter: *Ein Beitrag zur Anwendung von Schalenkonstruktionen im Stahlwasserbau,*
und Petrikat, Kurt: *Möglichkeiten und Grenzen des wasserbaulichen Versuchswesens,* 1966

- 5 Plate, Erich: *Beitrag zur Bestimmung der Windgeschwindigkeitsverteilung in der durch eine Wand gestörten bodennahen Luftschicht, und*
Röhnisch, Arthur; Marotz, Günter: *Neue Baustoffe und Bauausführungen für den Schutz der Böschungen und der Sohle von Kanälen, Flüssen und Häfen; Gestehungskosten und jeweilige Vorteile, sowie Unny, T.E.: Schwingungsuntersuchungen am Kegelstrahlschieber, 1967*
- 6 Seiler, Erich: *Die Ermittlung des Anlagenwertes der bundeseigenen Binnenschiffahrtsstraßen und Talsperren und des Anteils der Binnenschiffahrt an diesem Wert, 1967*
- 7 *Sonderheft anlässlich des 65. Geburtstages von Prof. Arthur Röhnisch mit Beiträgen von*
Benk, Dieter; Breitling, J.; Gurr, Siegfried; Haberhauer, Robert; Honekamp, Hermann; Kuz, Klaus Dieter; Marotz, Günter; Mayer-Vorfelder, Hans-Jörg; Miller, Rudolf; Plate, Erich J.; Radomski, Helge; Schwarz, Helmut; Vollmer, Ernst; Wildenhahn, Eberhard; 1967
- 8 Jumikis, Alfred: *Beitrag zur experimentellen Untersuchung des Wassernachschubs in einem gefrierenden Boden und die Beurteilung der Ergebnisse, 1968*
- 9 Marotz, Günter: *Technische Grundlagen einer Wasserspeicherung im natürlichen Untergrund, 1968*
- 10 Radomski, Helge: *Untersuchungen über den Einfluß der Querschnittsform wellenförmiger Spundwände auf die statischen und rammtechnischen Eigenschaften, 1968*
- 11 Schwarz, Helmut: *Die Grenztragfähigkeit des Baugrundes bei Einwirkung vertikal gezogener Ankerplatten als zweidimensionales Bruchproblem, 1969*
- 12 Erbel, Klaus: *Ein Beitrag zur Untersuchung der Metamorphose von Mittelgebirgsschneedecken unter besonderer Berücksichtigung eines Verfahrens zur Bestimmung der thermischen Schneequalität, 1969*
- 13 Westhaus, Karl-Heinz: *Der Strukturwandel in der Binnenschiffahrt und sein Einfluß auf den Ausbau der Binnenschiffskanäle, 1969*
- 14 Mayer-Vorfelder, Hans-Jörg: *Ein Beitrag zur Berechnung des Erdwiderstandes unter Ansatz der logarithmischen Spirale als Gleitflächenfunktion, 1970*
- 15 Schulz, Manfred: *Berechnung des räumlichen Erddruckes auf die Wandung kreiszylindrischer Körper, 1970*
- 16 Mobasseri, Manoutschehr: *Die Rippenstützmauer. Konstruktion und Grenzen ihrer Standsicherheit, 1970*
- 17 Benk, Dieter: *Ein Beitrag zum Betrieb und zur Bemessung von Hochwasserrückhaltebecken, 1970*

- 18 Gál, Attila: *Bestimmung der mitschwingenden Wassermasse bei überströmten Fischbauchklappen mit kreiszylindrischem Staublech*, 1971, vergriffen
- 19 Kuz, Klaus Dieter: *Ein Beitrag zur Frage des Einsetzens von Kavitationserscheinungen in einer Düsenströmung bei Berücksichtigung der im Wasser gelösten Gase*, 1971, vergriffen
- 20 Schaak, Hartmut: *Verteilleitungen von Wasserkraftanlagen*, 1971
- 21 *Sonderheft zur Eröffnung der neuen Versuchsanstalt des Instituts für Wasserbau der Universität Stuttgart mit Beiträgen von*
Brombach, Hansjörg; Dirksen, Wolfram; Gál, Attila; Gerlach, Reinhard; Giesecke, Jürgen; Holthoff, Franz-Josef; Kuz, Klaus Dieter; Marotz, Günter; Minor, Hans-Erwin; Petrikat, Kurt; Röhnisch, Arthur; Rueff, Helge; Schwarz, Helmut; Vollmer, Ernst; Wildenhahn, Eberhard; 1972
- 22 Wang, Chung-su: *Ein Beitrag zur Berechnung der Schwingungen an Kegelstrahlschiebern*, 1972
- 23 Mayer-Vorfelder, Hans-Jörg: *Erdwiderstandsbeiwerte nach dem Ohde-Variationsverfahren*, 1972
- 24 Minor, Hans-Erwin: *Beitrag zur Bestimmung der Schwingungsanfachungsfunktionen überströmter Stauklappen*, 1972, vergriffen
- 25 Brombach, Hansjörg: *Untersuchung strömungsmechanischer Elemente (Fluidik) und die Möglichkeit der Anwendung von Wirbelkammerelementen im Wasserbau*, 1972, vergriffen
- 26 Wildenhahn, Eberhard: *Beitrag zur Berechnung von Horizontalfilterbrunnen*, 1972
- 27 Steinlein, Helmut: *Die Eliminierung der Schwebstoffe aus Flußwasser zum Zweck der unterirdischen Wasserspeicherung, gezeigt am Beispiel der Iller*, 1972
- 28 Holthoff, Franz Josef: *Die Überwindung großer Hubhöhen in der Binnenschifffahrt durch Schwimmerhebewerke*, 1973
- 29 Röder, Karl: *Einwirkungen aus Baugrundbewegungen auf trog- und kastenförmige Konstruktionen des Wasser- und Tunnelbaues*, 1973
- 30 Kretschmer, Heinz: *Die Bemessung von Bogenstaumauern in Abhängigkeit von der Talform*, 1973
- 31 Honekamp, Hermann: *Beitrag zur Berechnung der Montage von Unterwasserpipelines*, 1973
- 32 Giesecke, Jürgen: *Die Wirbelkammertriode als neuartiges Steuerorgan im Wasserbau*, und Brombach, Hansjörg: *Entwicklung, Bauformen, Wirkungsweise und Steuereigenschaften von Wirbelkammerverstärkern*, 1974

- 33 Rueff, Helge: *Untersuchung der schwingungserregenden Kräfte an zwei hintereinander angeordneten Tiefschützen unter besonderer Berücksichtigung von Kavitation*, 1974
- 34 Röhnisch, Arthur: *Einpreßversuche mit Zementmörtel für Spannbeton - Vergleich der Ergebnisse von Modellversuchen mit Ausführungen in Hüllwellrohren*, 1975
- 35 *Sonderheft anlässlich des 65. Geburtstages von Prof. Dr.-Ing. Kurt Petrikat mit Beiträgen von:* Brombach, Hansjörg; Erbel, Klaus; Flinspach, Dieter; Fischer jr., Richard; Gál, Attila; Gerlach, Reinhard; Giesecke, Jürgen; Haberhauer, Robert; Hafner Edzard; Hausenblas, Bernhard; Horlacher, Hans-Burkhard; Hutarew, Andreas; Knoll, Manfred; Krummet, Ralph; Marotz, Günter; Merkle, Theodor; Miller, Christoph; Minor, Hans-Erwin; Neumayer, Hans; Rao, Syamala; Rath, Paul; Rueff, Helge; Ruppert, Jürgen; Schwarz, Wolfgang; Topal-Gökceli, Mehmet; Vollmer, Ernst; Wang, Chung-su; Weber, Hans-Georg; 1975
- 36 Berger, Jochum: *Beitrag zur Berechnung des Spannungszustandes in rotationssymmetrisch belasteten Kugelschalen veränderlicher Wandstärke unter Gas- und Flüssigkeitsdruck durch Integration schwach singulärer Differentialgleichungen*, 1975
- 37 Dirksen, Wolfram: *Berechnung instationärer Abflußvorgänge in gestauten Gerinnen mittels Differenzenverfahren und die Anwendung auf Hochwasserrückhaltebecken*, 1976
- 38 Horlacher, Hans-Burkhard: *Berechnung instationärer Temperatur- und Wärmespannungsfelder in langen mehrschichtigen Hohlzylindern*, 1976
- 39 Hafner, Edzard: *Untersuchung der hydrodynamischen Kräfte auf Baukörper im Tiefwasserbereich des Meeres*, 1977, ISBN 3-921694-39-6
- 40 Ruppert, Jürgen: *Über den Axialwirbelkammerverstärker für den Einsatz im Wasserbau*, 1977, ISBN 3-921694-40-X
- 41 Hutarew, Andreas: *Beitrag zur Beeinflußbarkeit des Sauerstoffgehalts in Fließgewässern an Abstürzen und Wehren*, 1977, ISBN 3-921694-41-8, vergriffen
- 42 Miller, Christoph: *Ein Beitrag zur Bestimmung der schwingungserregenden Kräfte an unterströmten Wehren*, 1977, ISBN 3-921694-42-6
- 43 Schwarz, Wolfgang: *Druckstoßberechnung unter Berücksichtigung der Radial- und Längsverschiebungen der Rohrwandung*, 1978, ISBN 3-921694-43-4
- 44 Kinzelbach, Wolfgang: *Numerische Untersuchungen über den optimalen Einsatz variabler Kühlsysteme einer Kraftwerkskette am Beispiel Oberrhein*, 1978, ISBN 3-921694-44-2
- 45 Barczewski, Baldur: *Neue Meßmethoden für Wasser-Luftgemische und deren Anwendung auf zweiphasige Auftriebsstrahlen*, 1979, ISBN 3-921694-45-0

- 46 Neumayer, Hans: *Untersuchung der Strömungsvorgänge in radialen Wirbelkammerverstärkern*, 1979, ISBN 3-921694-46-9
- 47 Elalfy, Youssef-Elhassan: *Untersuchung der Strömungsvorgänge in Wirbelkammerdiolen und -drosseln*, 1979, ISBN 3-921694-47-7
- 48 Brombach, Hansjörg: *Automatisierung der Bewirtschaftung von Wasserspeichern*, 1981, ISBN 3-921694-48-5
- 49 Geldner, Peter: *Deterministische und stochastische Methoden zur Bestimmung der Selbstdichtung von Gewässern*, 1981, ISBN 3-921694-49-3, vergriffen
- 50 Mehlhorn, Hans: *Temperaturveränderungen im Grundwasser durch Brauchwassereinleitungen*, 1982, ISBN 3-921694-50-7, vergriffen
- 51 Hafner, Edzard: *Rohrleitungen und Behälter im Meer*, 1983, ISBN 3-921694-51-5
- 52 Rinnert, Bernd: *Hydrodynamische Dispersion in porösen Medien: Einfluß von Dichteunterschieden auf die Vertikalvermischung in horizontaler Strömung*, 1983, ISBN 3-921694-52-3, vergriffen
- 53 Lindner, Wulf: *Steuerung von Grundwasserentnahmen unter Einhaltung ökologischer Kriterien*, 1983, ISBN 3-921694-53-1, vergriffen
- 54 Herr, Michael; Herzer, Jörg; Kinzelbach, Wolfgang; Kobus, Helmut; Rinnert, Bernd: *Methoden zur rechnerischen Erfassung und hydraulischen Sanierung von Grundwasserkontaminationen*, 1983, ISBN 3-921694-54-X
- 55 Schmitt, Paul: *Wege zur Automatisierung der Niederschlagsermittlung*, 1984, ISBN 3-921694-55-8, vergriffen
- 56 Müller, Peter: *Transport und selektive Sedimentation von Schwebstoffen bei gestau tem Abfluß*, 1985, ISBN 3-921694-56-6
- 57 El-Qawasmeh, Fuad: *Möglichkeiten und Grenzen der Tropfbewässerung unter besonderer Berücksichtigung der Verstopfungsanfälligkeit der Tropfelemente*, 1985, ISBN 3-921694-57-4, vergriffen
- 58 Kirchenbaur, Klaus: *Mikroprozessorgesteuerte Erfassung instationärer Druckfelder am Beispiel seegangbelasteter Baukörper*, 1985, ISBN 3-921694-58-2
- 59 Kobus, Helmut (Hrsg.): *Modellierung des großräumigen Wärme- und Schadstofftransports im Grundwasser*, Tätigkeitsbericht 1984/85 (DFG-Forschergruppe an den Universitäten Hohenheim, Karlsruhe und Stuttgart), 1985, ISBN 3-921694-59-0, vergriffen
- 60 Spitz, Karlheinz: *Dispersion in porösen Medien: Einfluß von Inhomogenitäten und Dichteunterschieden*, 1985, ISBN 3-921694-60-4, vergriffen

- 61 Kobus, Helmut: *An Introduction to Air-Water Flows in Hydraulics*, 1985, ISBN 3-921694-61-2
- 62 Kaleris, Vassilios: *Erfassung des Austausches von Oberflächen- und Grundwasser in horizontalebenen Grundwassermodellen*, 1986, ISBN 3-921694-62-0
- 63 Herr, Michael: *Grundlagen der hydraulischen Sanierung verunreinigter Porengrundwasserleiter*, 1987, ISBN 3-921694-63-9
- 64 Marx, Walter: *Berechnung von Temperatur und Spannung in Massenbeton infolge Hydratation*, 1987, ISBN 3-921694-64-7
- 65 Koschitzky, Hans-Peter: *Dimensionierungskonzept für Sohlbelüfter in Schußrinnen zur Vermeidung von Kavitationsschäden*, 1987, ISBN 3-921694-65-5
- 66 Kobus, Helmut (Hrsg.): *Modellierung des großräumigen Wärme- und Schadstofftransports im Grundwasser*, Tätigkeitsbericht 1986/87 (DFG-Forschergruppe an den Universitäten Hohenheim, Karlsruhe und Stuttgart) 1987, ISBN 3-921694-66-3
- 67 Söll, Thomas: *Berechnungsverfahren zur Abschätzung anthropogener Temperaturanomalien im Grundwasser*, 1988, ISBN 3-921694-67-1
- 68 Dittrich, Andreas; Westrich, Bernd: *Bodenseeufererosion, Bestandsaufnahme und Bewertung*, 1988, ISBN 3-921694-68-X, vergriffen
- 69 Huwe, Bernd; van der Ploeg, Rienk R.: *Modelle zur Simulation des Stickstoffhaushaltes von Standorten mit unterschiedlicher landwirtschaftlicher Nutzung*, 1988, ISBN 3-921694-69-8, vergriffen
- 70 Stephan, Karl: *Integration elliptischer Funktionen*, 1988, ISBN 3-921694-70-1
- 71 Kobus, Helmut; Zilliox, Lothaire (Hrsg.): *Nitratbelastung des Grundwassers, Auswirkungen der Landwirtschaft auf die Grundwasser- und Rohwasserbeschaffenheit und Maßnahmen zum Schutz des Grundwassers*. Vorträge des deutsch-französischen Kolloquiums am 6. Oktober 1988, Universitäten Stuttgart und Louis Pasteur Strasbourg (Vorträge in deutsch oder französisch, Kurzfassungen zweisprachig), 1988, ISBN 3-921694-71-X
- 72 Soyeaux, Renald: *Unterströmung von Stauanlagen auf klüftigem Untergrund unter Berücksichtigung laminarer und turbulenter Fließzustände*, 1991, ISBN 3-921694-72-8
- 73 Kohane, Roberto: *Berechnungsmethoden für Hochwasserabfluß in Fließgewässern mit überströmten Vorländern*, 1991, ISBN 3-921694-73-6
- 74 Hassinger, Reinhard: *Beitrag zur Hydraulik und Bemessung von Blocksteinrampen in flexibler Bauweise*, 1991, ISBN 3-921694-74-4, vergriffen
- 75 Schäfer, Gerhard: *Einfluß von Schichtenstrukturen und lokalen Einlagerungen auf die Längsdispersion in Porengrundwasserleitern*, 1991, ISBN 3-921694-75-2

- 76 Giesecke, Jürgen: *Vorträge, Wasserwirtschaft in stark besiedelten Regionen; Umweltforschung mit Schwerpunkt Wasserwirtschaft*, 1991, ISBN 3-921694-76-0
- 77 Huwe, Bernd: *Deterministische und stochastische Ansätze zur Modellierung des Stickstoffhaushalts landwirtschaftlich genutzter Flächen auf unterschiedlichem Skalenniveau*, 1992, ISBN 3-921694-77-9, vergriffen
- 78 Rommel, Michael: *Verwendung von Kluftdaten zur realitätsnahen Generierung von Kluftnetzen mit anschließender laminar-turbulenter Strömungsberechnung*, 1993, ISBN 3-92 1694-78-7
- 79 Marschall, Paul: *Die Ermittlung lokaler Stofffrachten im Grundwasser mit Hilfe von Einbohrloch-Meßverfahren*, 1993, ISBN 3-921694-79-5, vergriffen
- 80 Ptak, Thomas: *Stofftransport in heterogenen Porenaquiferen: Felduntersuchungen und stochastische Modellierung*, 1993, ISBN 3-921694-80-9, vergriffen
- 81 Haakh, Frieder: *Transientes Strömungsverhalten in Wirbelkammern*, 1993, ISBN 3-921694-81-7
- 82 Kobus, Helmut; Cirpka, Olaf; Barczewski, Baldur; Koschitzky, Hans-Peter: *Versucheinrichtung zur Grundwasser und Altlastensanierung VEGAS, Konzeption und Programmrahmen*, 1993, ISBN 3-921694-82-5
- 83 Zang, Weidong: *Optimaler Echtzeit-Betrieb eines Speichers mit aktueller Abflußregenerierung*, 1994, ISBN 3-921694-83-3, vergriffen
- 84 Franke, Hans-Jörg: *Stochastische Modellierung eines flächenhaften Stoffeintrages und Transports in Grundwasser am Beispiel der Pflanzenschutzmittelproblematik*, 1995, ISBN 3-921694-84-1
- 85 Lang, Ulrich: *Simulation regionaler Strömungs- und Transportvorgänge in Karstaquiferen mit Hilfe des Doppelkontinuum-Ansatzes: Methodenentwicklung und Parameteridentifikation*, 1995, ISBN 3-921694-85-X, vergriffen
- 86 Helmig, Rainer: *Einführung in die Numerischen Methoden der Hydromechanik*, 1996, ISBN 3-921694-86-8, vergriffen
- 87 Cirpka, Olaf: *CONTRACT: A Numerical Tool for Contaminant Transport and Chemical Transformations - Theory and Program Documentation -*, 1996, ISBN 3-921694-87-6
- 88 Haberlandt, Uwe: *Stochastische Synthese und Regionalisierung des Niederschlages für Schmutzfrachtberechnungen*, 1996, ISBN 3-921694-88-4
- 89 Croisé, Jean: *Extraktion von flüchtigen Chemikalien aus natürlichen Lockergesteinen mittels erzwungener Luftströmung*, 1996, ISBN 3-921694-89-2, vergriffen

- 90 Jorde, Klaus: *Ökologisch begründete, dynamische Mindestwasserregelungen bei Ausleitungskraftwerken*, 1997, ISBN 3-921694-90-6, vergriffen
- 91 Helmig, Rainer: *Gekoppelte Strömungs- und Transportprozesse im Untergrund - Ein Beitrag zur Hydrosystemmodellierung-*, 1998, ISBN 3-921694-91-4
- 92 Emmert, Martin: *Numerische Modellierung nichtisothermer Gas-Wasser Systeme in porösen Medien*, 1997, ISBN 3-921694-92-2
- 93 Kern, Ulrich: *Transport von Schweb- und Schadstoffen in staugeregelten Fließgewässern am Beispiel des Neckars*, 1997, ISBN 3-921694-93-0, vergriffen
- 94 Förster, Georg: *Druckstoßdämpfung durch große Luftblasen in Hochpunkten von Rohrleitungen* 1997, ISBN 3-921694-94-9
- 95 Cirpka, Olaf: *Numerische Methoden zur Simulation des reaktiven Mehrkomponententransports im Grundwasser*, 1997, ISBN 3-921694-95-7, vergriffen
- 96 Färber, Arne: *Wärmetransport in der ungesättigten Bodenzone: Entwicklung einer thermischen In-situ-Sanierungstechnologie*, 1997, ISBN 3-921694-96-5
- 97 Betz, Christoph: *Wasserdampfdestillation von Schadstoffen im porösen Medium: Entwicklung einer thermischen In-situ-Sanierungstechnologie*, 1998, ISBN 3-921694-97-3
- 98 Xu, Yichun: *Numerical Modeling of Suspended Sediment Transport in Rivers*, 1998, ISBN 3-921694-98-1, vergriffen
- 99 Wüst, Wolfgang: *Geochemische Untersuchungen zur Sanierung CKW-kontaminierter Aquifere mit Fe(0)-Reaktionswänden*, 2000, ISBN 3-933761-02-2
- 100 Sheta, Hussam: *Simulation von Mehrphasenvorgängen in porösen Medien unter Einbeziehung von Hysterese-Effekten*, 2000, ISBN 3-933761-03-4
- 101 Ayros, Edwin: *Regionalisierung extremer Abflüsse auf der Grundlage statistischer Verfahren*, 2000, ISBN 3-933761-04-2, vergriffen
- 102 Huber, Ralf: *Compositional Multiphase Flow and Transport in Heterogeneous Porous Media*, 2000, ISBN 3-933761-05-0
- 103 Braun, Christopherus: *Ein Upscaling-Verfahren für Mehrphasenströmungen in porösen Medien*, 2000, ISBN 3-933761-06-9
- 104 Hofmann, Bernd: *Entwicklung eines rechnergestützten Managementsystems zur Beurteilung von Grundwasserschadensfällen*, 2000, ISBN 3-933761-07-7
- 105 Class, Holger: *Theorie und numerische Modellierung nichtisothermer Mehrphasenprozesse in NAPL-kontaminierten porösen Medien*, 2001, ISBN 3-933761-08-5

- 106 Schmidt, Reinhard: *Wasserdampf- und Heißluftinjektion zur thermischen Sanierung kontaminierter Standorte*, 2001, ISBN 3-933761-09-3
- 107 Reinhold Josef.: *Schadstoffextraktion mit hydraulischen Sanierungsverfahren unter Anwendung von grenzflächenaktiven Stoffen*, 2001, ISBN 3-933761-10-7
- 108 Schneider, Matthias: *Habitat- und Abflussmodellierung für Fließgewässer mit unscharfen Berechnungsansätzen*, 2001, ISBN 3-933761-11-5
- 109 Rathgeb, Andreas: *Hydrodynamische Bemessungsgrundlagen für Lockerdeckwerke an überströmbaren Erddämmen*, 2001, ISBN 3-933761-12-3
- 110 Lang, Stefan: *Parallele numerische Simulation instationärer Probleme mit adaptiven Methoden auf unstrukturierten Gittern*, 2001, ISBN 3-933761-13-1
- 111 Appt, Jochen; Stumpp Simone: *Die Bodensee-Messkampagne 2001, IWS/CWR Lake Constance Measurement Program 2001*, 2002, ISBN 3-933761-14-X
- 112 Heimerl, Stephan: *Systematische Beurteilung von Wasserkraftprojekten*, 2002, ISBN 3-933761-15-8
- 113 Iqbal, Amin: *On the Management and Salinity Control of Drip Irrigation*, 2002, ISBN 3-933761-16-6
- 114 Silberhorn-Hemminger, Annette: *Modellierung von Kluftaquifersystemen: Geostatistische Analyse und deterministisch-stochastische Kluftgenerierung*, 2002, ISBN 3-933761-17-4
- 115 Winkler, Angela: *Prozesse des Wärme- und Stofftransports bei der In-situ-Sanierung mit festen Wärmequellen*, 2003, ISBN 3-933761-18-2
- 116 Marx, Walter: *Wasserkraft, Bewässerung, Umwelt - Planungs- und Bewertungsschwerpunkte der Wasserbewirtschaftung*, 2003, ISBN 3-933761-19-0
- 117 Hinkelmann, Reinhard: *Efficient Numerical Methods and Information-Processing Techniques in Environment Water*, 2003, ISBN 3-933761-20-4
- 118 Samaniego-Eguiguren, Luis Eduardo: *Hydrological Consequences of Land Use / Land Cover and Climatic Changes in Mesoscale Catchments*, 2003, ISBN 3-933761-21-2
- 119 Neunhäuserer, Lina: *Diskretisierungsansätze zur Modellierung von Strömungs- und Transportprozessen in geklüftet-porösen Medien*, 2003, ISBN 3-933761-22-0
- 120 Paul, Maren: *Simulation of Two-Phase Flow in Heterogeneous Poros Media with Adaptive Methods*, 2003, ISBN 3-933761-23-9
- 121 Ehret, Uwe: *Rainfall and Flood Nowcasting in Small Catchments using Weather Radar*, 2003, ISBN 3-933761-24-7

- 122 Haag, Ingo: *Der Sauerstoffhaushalt staugeregelter Flüsse am Beispiel des Neckars - Analysen, Experimente, Simulationen* -, 2003, ISBN 3-933761-25-5
- 123 Appt, Jochen: *Analysis of Basin-Scale Internal Waves in Upper Lake Constance*, 2003, ISBN 3-933761-26-3
- 124 Hrsg.: Schrenk, Volker; Batereau, Katrin; Barczewski, Baldur; Weber, Karolin und Koschitzky, Hans-Peter: *Symposium Ressource Fläche und VEGAS - Statuskolloquium 2003, 30. September und 1. Oktober 2003*, 2003, ISBN 3-933761-27-1
- 125 Omar Khalil Ouda: *Optimisation of Agricultural Water Use: A Decision Support System for the Gaza Strip*, 2003, ISBN 3-933761-28-0
- 126 Batereau, Katrin: *Sensorbasierte Bodenluftmessung zur Vor-Ort-Erkundung von Schadensherden im Untergrund*, 2004, ISBN 3-933761-29-8
- 127 Witt, Oliver: *Erosionsstabilität von Gewässersedimenten mit Auswirkung auf den Stofftransport bei Hochwasser am Beispiel ausgewählter Stauhaltungen des Oberrheins*, 2004, ISBN 3-933761-30-1
- 128 Jakobs, Hartmut: *Simulation nicht-isothermer Gas-Wasser-Prozesse in komplexen Kluft-Matrix-Systemen*, 2004, ISBN 3-933761-31-X
- 129 Li, Chen-Chien: *Deterministisch-stochastisches Berechnungskonzept zur Beurteilung der Auswirkungen erosiver Hochwasserereignisse in Flusstauhaltungen*, 2004, ISBN 3-933761-32-8
- 130 Reichenberger, Volker; Helmig, Rainer; Jakobs, Hartmut; Bastian, Peter; Niessner, Jennifer: *Complex Gas-Water Processes in Discrete Fracture-Matrix Systems: Upscaling, Mass-Conservative Discretization and Efficient Multilevel Solution*, 2004, ISBN 3-933761-33-6
- 131 Hrsg.: Barczewski, Baldur; Koschitzky, Hans-Peter; Weber, Karolin; Wege, Ralf: *VEGAS - Statuskolloquium 2004*, Tagungsband zur Veranstaltung am 05. Oktober 2004 an der Universität Stuttgart, Campus Stuttgart-Vaihingen, 2004, ISBN 3-933761-34-4
- 132 Asie, Kemal Jabir: *Finite Volume Models for Multiphase Multicomponent Flow through Porous Media*. 2005, ISBN 3-933761-35-2
- 133 Jacoub, George: *Development of a 2-D Numerical Module for Particulate Contaminant Transport in Flood Retention Reservoirs and Impounded Rivers*, 2004, ISBN 3-933761-36-0
- 134 Nowak, Wolfgang: *Geostatistical Methods for the Identification of Flow and Transport Parameters in the Subsurface*, 2005, ISBN 3-933761-37-9
- 135 Süß, Mia: *Analysis of the influence of structures and boundaries on flow and transport processes in fractured porous media*, 2005, ISBN 3-933761-38-7

- 136 Jose, Surabhin Chackiath: *Experimental Investigations on Longitudinal Dispersive Mixing in Heterogeneous Aquifers*, 2005, ISBN: 3-933761-39-5
- 137 Filiz, Fulya: *Linking Large-Scale Meteorological Conditions to Floods in Mesoscale Catchments*, 2005, ISBN 3-933761-40-9
- 138 Qin, Minghao: *Wirklichkeitsnahe und recheneffiziente Ermittlung von Temperatur und Spannungen bei großen RCC-Staumauern*, 2005, ISBN 3-933761-41-7
- 139 Kobayashi, Kenichiro: *Optimization Methods for Multiphase Systems in the Subsurface - Application to Methane Migration in Coal Mining Areas*, 2005, ISBN 3-933761-42-5
- 140 Rahman, Md. Arifur: *Experimental Investigations on Transverse Dispersive Mixing in Heterogeneous Porous Media*, 2005, ISBN 3-933761-43-3
- 141 Schrenk, Volker: *Ökobilanzen zur Bewertung von Altlastensanierungsmaßnahmen*, 2005, ISBN 3-933761-44-1
- 142 Hundecha, Hirpa Yeshewatesfa: *Regionalization of Parameters of a Conceptual Rainfall-Runoff Model*, 2005, ISBN: 3-933761-45-X
- 143 Wege, Ralf: *Untersuchungs- und Überwachungsmethoden für die Beurteilung natürlicher Selbstreinigungsprozesse im Grundwasser*, 2005, ISBN 3-933761-46-8
- 144 Breiting, Thomas: *Techniken und Methoden der Hydroinformatik - Modellierung von komplexen Hydrosystemen im Untergrund*, 2006, 3-933761-47-6
- 145 Hrsg.: Braun, Jürgen; Koschitzky, Hans-Peter; Müller, Martin: *Ressource Untergrund: 10 Jahre VEGAS: Forschung und Technologieentwicklung zum Schutz von Grundwasser und Boden*, Tagungsband zur Veranstaltung am 28. und 29. September 2005 an der Universität Stuttgart, Campus Stuttgart-Vaihingen, 2005, ISBN 3-933761-48-4
- 146 Rojanschi, Vlad: *Abflusskonzentration in mesoskaligen Einzugsgebieten unter Berücksichtigung des Sickerraumes*, 2006, ISBN 3-933761-49-2
- 147 Winkler, Nina Simone: *Optimierung der Steuerung von Hochwasserrückhaltebeckensystemen*, 2006, ISBN 3-933761-50-6
- 148 Wolf, Jens: *Räumlich differenzierte Modellierung der Grundwasserströmung alluvialer Aquifere für mesoskalige Einzugsgebiete*, 2006, ISBN: 3-933761-51-4
- 149 Kohler, Beate: *Externe Effekte der Laufwasserkraftnutzung*, 2006, ISBN: 3-933761-52-2

Die Mitteilungshefte ab dem Jahr 2005 stehen auch als pdf-Datei über die Homepage des Instituts: www.iws.uni-stuttgart.de zur Verfügung.