

Teilbericht 4 a

Die externen Kosten der Stromerzeugung aus Wasserkraft

**Teilstudie zum Gesamtvorhaben
"Externalitäten der Wärme- und
Stromversorgung und Ermittlung
von Energiepreiszuschlägen"**

im Auftrag des
Bundesamtes für Konjunkturfragen
Bundesamtes für Energiewirtschaft
Amtes für Bundesbauten

Klaus P. Masuhr
Inge Weidig
Wolfgang Tautschnig

Basel, November 1993
561-3950/bü/be

INHALT	Seite
1. Einführung und methodisches Vorgehen	1
2. Identifizierung von Externalitäten	4
2.1 Externe Effekte in der Bauphase	4
2.2 Externe Effekte in der Normalbetriebsphase	6
2.2.1 Beanspruchung des Naturraumes	7
2.2.2 Wirkungen infolge veränderter Flächennutzung	10
2.2.3 Wirkungen auf den gesellschaftspolitischen und menschlichen Bereich	11
2.3 Externe Effekte im Störfall	13
3. Quantifizierung und Monetarisierung der externen Effekte der Wasserkraftnutzung	15
3.1 Strukturierung	15
3.2 Quantifizierung und Monetarisierung externer Effekte von Speicherkraftwerken	18
3.2.1 Bau- und Normalbetriebsphase	18
3.2.1.1 Vorgehensweise	18
3.2.1.2 Quantifizierung und Monetarisierung	22
3.2.2 Stör- bzw. Grossunfall	33
3.3 Quantifizierung und Monetarisierung externer Effekte von Laufkraftwerken	38
3.3.1 Bau- und Normalbetriebsphase	38
3.3.2 Stör- bzw. Grossunfall	39
4. Ergebnisübersicht und zusammenfassende Bewertung	42
Literatur	44

1. EINFÜHRUNG UND METHODISCHES VORGEHEN

(1) Energieverfügbarkeit zu einem günstigen Preis ist im internationalen Wettbewerb ein zentraler Standortfaktor und Grundlage für die Prosperität einer Gesellschaft. Die Bestrebung geht dahin, die Energieversorgung auf eigenen natürlichen Ressourcen aufzubauen. Für einige Länder bietet sich die natürliche Ressource Wasserkraft als Energieträger an. In der Schweiz betrug der Anteil der aus Wasserkraft erzeugten elektrischen Energie 1991 mit 33.100 GWh rund 59% der gesamten Stromproduktion (1990 rund 57%).

(2) Im Kontext der Umweltdiskussion wurde das Problem kostenadäquater Energiepreise aufgeworfen, mit der Folge eine Neubewertung der bestehenden Energiepreise unter Berücksichtigung der jeweils auftretenden "externen Kosten" vorzunehmen.

Jede Form der Energieproduktion bewirkt eine Beeinflussung/Beeinträchtigung des natürlichen Lebensumfeldes und des Menschen selbst. Seien es die Emissionen aus der Stromerzeugung in konventionell-thermischen Anlagen mit gleichzeitigem Verbrauch nicht erneuerbarer Ressourcen, oder die technische Beherrschung der Kernenergie mit deren nicht endgültig geklärten Folgewirkungen auf die Umwelt und die menschliche Gesundheit.

(3) Die Nutzung der Wasserkraft zur Energieerzeugung galt unter Umweltgesichtspunkten immer als ideale, weil unverfängliche Technologie:

- im Vergleich zur Kernenergie risikoarm
- im Vergleich zur thermischen Energie emissionsarm und
- kein irreversibler Verbrauch von Primärenergieträgern.

Im Vergleich zu den übrigen Energieerzeugungsformen bestehen diese Vorteile der Wasserkraft auch weiterhin. Dennoch sind mit der Wasserkraftnutzung Beeinträchtigungen der Umwelt verbunden, welche direkt in den menschlichen Lebensraum eingreifen und damit den Menschen direkt oder über Folgewirkungen indirekt betreffen.

(4) Hinsichtlich der Ermittlung externer Effekte (Kosten) allerdings steht und stand die Wasserkraft - auch aus den vorgenannten Gründen- nicht im Vordergrund. Nicht zuletzt deshalb, weil die Entwicklung und Errichtung von Anlagen zur Wasserkraftnutzung in vielen Ländern

eine lange Tradition besitzt, Wasserkraftanlagen als technische Meisterleistung zur Nutzung natürlicher Ressourcen eher bewundert denn abgelehnt wurden und der Eingriff in den Naturhaushalt aufgrund der natürlichen Regenerationsfähigkeit als gering betrachtet wurde.

In der Zwischenzeit ist jedoch eine vermehrte Sensibilisierung gegenüber der Wasserkraft deutlich erkennbar. Sie gilt unter den regenerativen Energiesystemen als das am stärksten die Umwelt belastende, in erster Linie wegen des irreversiblen Verbrauchs der Ressource "naturbelassene Gebiete".

Vorgehensweise

(5) Im methodischen Ablauf zur Ermittlung und Erfassung externer Kosten der Stromerzeugung aus Wasserkraft sind mehrere Bearbeitungsstufen erforderlich:

- die Identifizierung externer Effekte,
- die Quantifizierung dieser Effekte und
- die Monetarisierung und Umsetzung in Kostenkategorien.

Die Identifizierung der externen Effekte der Wasserkraftnutzung stellt die analytische Vorstufe zur technisch/physikalischen Quantifizierung und Monetarisierung dieser Effekte dar. Die Identifizierung ist in erster Linie qualitativ orientiert, daher wird in diesem Schritt noch nicht von Kosten, sondern vorerst von Effekten gesprochen. Die Identifizierung der externen Effekte erfolgt im ersten Abschnitt der Untersuchung, die Überführung in Kostenkategorien auf Basis der Quantifizierung und Monetarisierung der identifizierten Effekte erfolgt im zweiten Abschnitt der Untersuchung.

(6) Bei der Wasserkraftnutzung zur Stromerzeugung wird in der Regel zwischen zwei Haupttypen von Kraftwerken unterschieden, den Laufkraftwerken und den Speicherkraftwerken. Aus rein technischer Sicht wäre es leicht möglich für jeden Typ eine Reihe von anlagenspezifischen Charakteristiken für eine verfeinerte Untergliederung heranzuziehen. Für die vorliegende Untersuchung erscheint u.E. die Grobgliederung in die zwei Haupttypen jedoch als zweckgemäss und ausreichend.

Im Rahmen der Identifizierung wird allerdings vorläufig auch auf diese Untergliederung verzichtet. Dies erscheint vertretbar, weil der der Nutzung der Wasserkraft zur Energieerzeugung zugrundeliegende Prozess für beide Kraftwerkstypen auf einem grundsätzlich einheitlichen Prinzip beruht, und in der Folge auch das Spektrum beeinflusster, umweltrelevanter oder sonstiger Faktoren für beide Haupttypen weitgehend identisch ist.

Wenn es allerdings um die Quantifizierung und Monetarisierung der Effekte geht, ist eine Differenzierung in die zwei Kraftwerkshaupttypen jedoch notwendig, da die Intensität der identifizierten Effekte unterschiedlich ausfallen kann.

(7) Als Gliederungselement für die Identifizierung der externen Effekte der Wasserkraftnutzung bieten sich einzelne "Betriebsphasen" einer Wasserkraftanlage mit deren speziellen Ursache-Wirkungsbeziehungen an. Im Rahmen dieser Untersuchung wird von folgenden drei Betriebszuständen einer Wasserkraftanlage ausgegangen:

- Phase der Anlagenerrichtung
- Normalbetrieb und
- Störfall.

(8) Bereits mit der Entscheidung zur Errichtung einer Wasserkraftanlage werden, neben den im Zuge der Errichtung zu erwarteten Wirkungen auch alle Folgewirkungen, welche ursächlich mit dem Bestand der Anlage zusammenhängen, initiiert. D.h. bereits zu diesem Zeitpunkt kommen Eingriffe in den Naturhaushalt oder die Tangierung gesellschaftspolitischer Wertvorstellungen zum Tragen.

In der Normalbetriebsphase werden die Beeinträchtigungen (Eingriffe in den Naturhaushalt, Tangierung gesellschaftspolitischer Wertvorstellungen, Eingriffe in die wirtschaftlichen Existenzbedingungen) wirksam. Weiterhin führen die laufend oder periodisch durchzuführenden Arbeiten (Wartung, Kontrolle, usw.) zur Sicherstellung des reibungslosen Betriebes zu Beeinträchtigungen.

Der Störfall (Katastrophenereignis) wird als dritter "Betriebszustand" untersucht. Im Gegensatz zu den beiden vorgenannten Betriebszuständen ist hier von einem unkontrollierbaren Vorgang auszugehen, welcher kurzfristig schwerwiegende und teils irreversible Schäden verursacht.

2. IDENTIFIZIERUNG VON EXTERNALITÄTEN

(1) Analog den anderen Möglichkeiten zur Energieerzeugung (konventionell-thermisch, Kernkraft) kann auch bei der Wasserkraft mehr oder weniger von einer Prozesskette bei der Energieerzeugung gesprochen werden. Allerdings erfolgt hier keine Änderung des Primärenergieträgers selbst. Die Wasserkraft bedient sich des "natürlichen" Primärenergieträgers Wasser, wobei für dessen Nutzung, je nach Auslegungszweck, bestimmte Anlagen erforderlich sind.

Der Betrieb einer Wasserkraftanlage bedingt, neben dem erwarteten Nutzen (Stromerzeugung), auch negative Effekte (Flächenverbrauch, Eingriff in den Wasserhaushalt, usw.). Sofern sie als direkte Folge der Anlagenerrichtung oder des Betriebes auftreten, werden sie überwiegend durch Entschädigungsleistungen des Betreibers abgedeckt, also internalisiert, wobei allerdings zu berücksichtigen ist, dass langfristige Auswirkungen auf den (Grund-) Wasserhaushalt sich als Belastungen für die Gemeinde erweisen, mithin nicht internalisiert sind. Darüber hinaus verbleibt aber ein nicht unwesentlicher Teil nicht internalisierter (externer) Effekte, welche der Energieerzeugung durch Wasserkraft angerechnet werden müssen.

2.1 Externe Effekte in der Bauphase

(1) Bei der Identifizierung der Einfluss-Wirkungsbeziehungen für diese erste Phase werden alle Ereignisse berücksichtigt, welche im Zusammenhang mit der Errichtung der Anlage selbst stehen (Bautätigkeit).

Grundsätzlich muss davon ausgegangen werden, dass bereits mit einer Entscheidung zur Errichtung einer Wasserkraftanlage Folgewirkungen initiiert werden, welche über die reine Errichtung der Anlagen (Bautätigkeit) hinausgehen.

(2) Die im Zusammenhang mit der Anlagenerrichtung stehenden Aktivitäten können grob untergliedert werden in:

- Baustelleneinrichtungen und Baustellenbetrieb sowie
- Baumaterialgewinnung/-deponierung.

Die genannten Aktivitäten stellen in erster Linie Eingriffe und Folgewirkungen mit überwiegend temporärem Charakter dar. Diese können zwar gleichfalls über mehrere Jahre andauern, und in diesem Zeitraum entsprechend massive Beeinträchtigungen verursachen, die Aktivitäten an sich treten jedoch nach Abschluss der Errichtungsphase in dieser Form nicht mehr auf.

(3) Wirkungen, die allein der Bauphase zugerechnet werden müssen, sind einmal in Bezug auf Flächennutzung gegeben. Überwiegend temporär wird Fläche anderen Nutzungsformen entzogen und zwar für Deponien, Nebenanlagen zum Baubetrieb (inkl. Wohngebäude für die Bauarbeiter) und Verkehrsstrassen für den Transport von Baumaterial.

Hinzu kommen Emissionen (Lärm, Staub, CO₂-Belastungen etc.), die hohe gesundheitliche Belastungen der betroffenen Bewohner des Gebiets mit sich bringen und potentiell die wirtschaftlichen Erwerbsmöglichkeiten (Tourismus) in dem betroffenen Gebiet einschränken können. Dass durch die Emissionen auch die Fauna und Flora negativ beeinträchtigt wird, gilt es gleichfalls zu erwähnen.

2.2 Externe Effekte in der Normalbetriebsphase

(1) Die bedeutenden Auswirkungen einer Wasserkraftanlage sind dem Normalbetrieb zuzuordnen. Zur Normalbetriebsphase werden zunächst einmal all jene Aktivitäten im Zusammenhang mit einer Wasserkraftanlage betrachtet, welche zur Aufrechterhaltung des störungsfreien Betriebes, also Kontroll- und Unterhaltsarbeiten am technischen Anlagenteil oder damit im Zusammenhang stehen, und laufend oder periodisch durchzuführen sind. Dies sind:

- Wartungs- und Inspektionsvorgänge
- Stauraumspülungen

Die wesentlichsten Effekte werden durch Emissionen bei Betriebszufahrten zur Speicheranlage verursacht. Bei Laufkraftwerken ist diese Problematik geringer, da sich die Anlagen in zivilisatorisch stärker geprägten Gegenden befinden.

(2) Spülungen des Stauraumes zur Sicherstellung des notwendigen Nutzvolumens sind in der Regel erst nach längeren Betriebszeiten notwendig, stellen insofern also ein eher einmaliges Ereignis dar. Ausserordentliche Stauraumentleerungen sind bei Auftreten eines Schadens am Dammbauwerk erforderlich, laufen jedoch kontrolliert ab.

Bei Flussstauanlagen ist es auf Grund des geringeren Nutzvolumens häufiger notwendig Spülungen des Stauraumes durchzuführen. Diese erfolgen jedoch meist zu Zeitpunkten, wo von Natur aus eine grössere Wasserführung vorhanden ist. Die entstehenden Wirkungen betreffen in erster Linie das Gewässer als Lebensraum für Tiere.

(3) Folgeschäden am Naturraum sind in Form von Emissionen durch den Betriebsverkehr zur Anlage zu erwarten, diese sind jedoch als geringfügig einzustufen. Speicherstauraumspülungen stellen massivere Eingriffe in den aquatischen Lebensraum dar und können den Verlust des Lebensraumes für aquatische Tiere und Pflanzen durch Verschlammung der Gewässer-sole bewirken.

Hinsichtlich des Landschaftsbildes können sich Beeinträchtigungen durch im und entlang des Flussbettes abgelagertes Feinmaterial ergeben. Im Talbereich eines Flusslaufes kann sich daraus eine Beeinträchtigung der Erholungs- und Freizeitfunktion der Gewässer für die Bevölkerung ergeben.

(4) Die umfangreichsten Wirkungen, die auf den Bestand und auf die Funktion der Anlage zurückzuführen sind, beruhen auf den im folgenden grob strukturierten Anlageteilen mit ihren jeweiligen Funktionen:

- Speichersee bzw. Flusstauraum
- Fassungsanlagen und Zuleitungen
- Dotationswasserstrecken
- Infrastrukturanlagen.

Sie besitzen permanenten Charakter. Das bedeutet, die davon ausgehenden Beeinträchtigungen bleiben, einmal initiiert, auch weiterhin bestehen. Im folgenden wird versucht, für die einzelnen Aktivitäten anhand von Ursachen-Wirkungsbeziehungen die Art der davon ausgehenden Beeinträchtigungen darzustellen. Es gilt allerdings zu bedenken, dass die Wirkungen (Effekte) aufgrund ihrer gegenseitigen Vernetzung im seltensten Fall nur einer Ursache zugeordnet werden können.

(5) Der überwiegende Teil der in der Folge identifizierten Wirkungen hängt in der Hauptsache direkt mit der Beanspruchung und der Beeinträchtigung des Naturraumes und der mit der Anlage veränderten Nutzungsformen zusammen. Als sekundäre Folgen davon ergeben sich Beeinträchtigungen der Wirtschafts- und Gesellschaftsstruktur.

2.2.1 Beanspruchung des Naturraumes

(1) Die Errichtung bzw. der Betrieb einer Wasserkraftanlage stellt sich für einen grundsätzlichen Eingriff in den Naturraum dar. "Naturraum" stellt einen Sammelbegriff dar. Er umfasst die Gewässerläufe mit ihrer aquatischen Flora und Fauna, die Fläche als Lebensraum für die terrestrische Flora und Fauna, das gesamte Landschaftsbild in seiner durch Menschen unberührten Ursprünglichkeit. Eingriffe in den Naturraum bedeuten Naturraumverluste. Dahinter stehen konkrete Einbussen an der Artenvielfalt in Flora und Fauna sowie Veränderung des grundsätzlichen Landschaftsbildes. Im Gegensatz zu anderen Möglichkeiten der Energieerzeugung erfolgt hier die Nutzung einer natürlichen Ressource unmittelbar vor Ort.

- Besonders die Errichtung von Speichieranlagen in alpinen (Hoch-)Gebirgstälern stellt durch den prinzipiellen Eingriff einen unwiederbringlichen Verlust von naturbelassenem Gebiet dar. Die am Standort gegebene Situation verliert ihren ursprünglichen Charakter. Wenngleich sich durch das natürliche Regenerationsvermögen auch ein neues, ange-

passtes Gleichgewicht nach bestimmter Zeit wieder einstellen wird, so entfernen sich die Gegebenheiten mit jedem Schritt weiter von einer naturbelassenen Situation.

- Beim Betrieb einer Laufkraftanlage im Talbereich ist die Situation ähnlich, wenn dadurch ein schützenswertes Landschaftselement mit ökologischer Funktion (Auenwälder, Biotopzellen) beansprucht wird. Diese Anlagen befinden sich allerdings in bereits menschlich stärker geprägtem und genutztem Raum.

Die Frage nach der Bewertung von Naturraumverlusten generell und in anthropogen schon vorgeprägtem Gebiet speziell bleibt einem späteren Teil dieses Berichtes vorbehalten.

- (2) Neben dem grundsätzlichen Aspekt ergeben sich im Naturraum Wirkungen, welche verschiedene Teilbereiche besonders treffen. Wird eine Wasserkraftanlage betrieben, so stellt dies in erster Linie einen Eingriff in das gesamte Abflussgeschehen des betroffenen Gebietes dar.

Mit dem Eingriff in den Wasserhaushalt und dem Abflussverhalten eng verknüpft sind die Auswirkungen auf die Grundwassergegebenheiten. Der Wasserentzug zwischen dem Speicher und der Rückgabe des Wassers nach der Abarbeitung bewirkt eine nachhaltige Beeinträchtigung der Grundwasserneubildung im betroffenen Gewässerabschnitt. Bei Ableitung des Wassers in ein benachbartes Flussgebiet wird die gesamte Wassermenge dem Gebiet entzogen. Mit dem Trockenfall der Gebiete verändern sich die Lebensbedingungen für die terrestrische Fauna und Flora es kann zu land- und forstwirtschaftlichen Ertragseinbussen kommen.

Neben der Beeinträchtigung der Grundwassersituation muss auch die mögliche Verminderung der Grundwasserqualität gesehen werden. Durch das unterbundene Austauschverhalten mit dem fliessgewässer kann eine unerwünschte, höhere Konzentration von Schadstoffen im Grundwasser auftreten.

- (3) Mit dem Eingriff in das Abflussverhalten untrennbar verbunden ist der Verlust von Lebensraum für aquatische Flora und Fauna. Nicht nur durch den Flächenverbrauch des Speichers selbst, auch durch den Entzug von fliessendem Wasser können gefährdete Pflanzen- und Tierarten ihren Lebensraum verlieren.

Beeinträchtigungen können sich auch daraus ergeben, dass der Abfluss gleichmässiger erfolgt und sich Abflussverschiebungen vom Sommer- auf das Winterhalbjahr ergeben.

Die Abflussverminderung von Fassungsanlagen oder Entnahmestellen in den betroffenen Bächen vermindert die Geschiebetransportfähigkeit. Dadurch kann es im Hochwasserfall zu einem verstärkten Geschiebetrieb kommen. Andererseits kann durch die fehlende Geschiebemenge im Ausleitungsbereich eines Laufkraftwerkes bzw. unterhalb der Wehranlage die Sohlerosion verstärkt werden, ein Effekt, der jedoch i.d.R. von den Betreibern durch entsprechende Massnahmen ausgeglichen wird.

(5) Bei Laufkraftanlagen sind die anlagenbedingten Beeinträchtigungen auf die Grundwassersituation durch die Abdichtung des Stauraumes und die Absenkung des Wasserspiegels in Ausleitungsstrecken (zwischen Wehranlage und Rückgabe) noch stärker ausgeprägt. Die Stauraumabdichtung unterbindet allerdings gleichzeitig auch das Nachströmen von Grundwasser von der Landseite in das Fließgewässer und kann in der Folge zu Bodenvernässungen führen. Um die landwirtschaftliche Ertragsfähigkeit des Bodens (Bodenwasserhaushalt) aufrechterhalten zu können, kann es im Bereich unterhalb der Wehranlage notwendig sein, Bewässerungen zu installieren.

(6) Ein weiterer Aspekt des Flächenverlustes kann in der Bauweise eines Laufkraftwerkes gesehen werden. Wenn die Anlage in "Trockenbauweise" errichtet wird, muss ein neues Flussbett gelegt werden. Der Altlauf bleibt zwar meist bestehen, jedoch kaum mehr als fließendes Gewässer. Der neue Flusslauf beansprucht grosse Flächen, welche entweder anderweitigen Nutzungen entzogen werden oder für sich einen Naturraumverlust darstellen.

(7) Für die Betriebsphase sind noch weitere Belastungen des Gewässerregimes bzw. des Abflussverhaltens vorstellbar:

- erhöhte Belastung des Wassers mit Feinanteilen (Geschiebeteile)
- Beeinträchtigung der Wasserqualität durch erhöhte Schadstoffkonzentration und eine stärkere Kontaminierung der Schlämme.

Durch die Errichtung und den Betrieb von Zuleitungsstrecken (Zuleitungstollen) für eine Speicheranlage werden im Gestein oft wasserführende Schichten angeschnitten und das vorhandene Wasser zum Speicher abgeleitet. Oftmals wird dabei bei unterliegenden Quelfassungen die Schüttung vermindert bis gänzlich reduziert. Für diesen Fall sind allerdings Entschädigungsleistungen vorgesehen.

(8) Neben dem prinzipiellen Verlust von Lebensraum für verschiedene terrestrische Lebewesen durch den Bestand der Anlage wird darüberhinaus durch verschiedene Anlageteile (bleibende Strassen und Betriebsanlagen) deren Lebensraum zerschnitten.

Ein auf den Bestand einer Wasserkraftanlage zurückzuführender Einfluss auf das Mikroklima wird vielfach bestätigt, die Ausprägungen sind jedoch im jeweiligen Fall sehr stark von den topographischen Gegebenheiten abhängig.

2.2.2 Wirkungen infolge veränderter Flächennutzung

(1) Unmittelbar mit den direkten Veränderungen im Flächenbestand durch die Wasserkraftanlage sind Einflüsse auf die Wirtschaftsstruktur zu erwarten. Diese Beeinflussungen umfassen die regionale Struktur, sowie auch die Ertrags- und Einkommenssituation Einzelner.

Die Flächenbeanspruchung einer Stauanlage bedingt, sofern diese Flächen bisher alpwirtschaftlich genutzt wurden, zum einen die Aufgabe dieser Nutzung und damit den Verlust der Einkommensgrundlage Einzelner, andererseits wird durch Ausgleichsmaßnahmen für den Weiterbestand alpwirtschaftlicher Nutzungen gesorgt. Allerdings werden dafür weitere Flächen in der Gebirgsregion beansprucht.

Die mit der Wasserkraftanlage verbundene Errichtung von Zufahrtsstrassen bringt einerseits Erleichterungen für die alpwirtschaftliche Nutzung, andererseits erfolgt dadurch zumeist eine Nutzungsintensivierung zu Lasten des Naturraumes.

(2) Eine weitere Folge der geänderten Flächennutzung stellt die Initialisierung von Ausflugsverkehr und Tagestourismus dar. Die im Zuge der Anlagenerrichtung vorgenommene Erschliessung des Gebietes eröffnet Möglichkeiten für eine verstärkte touristische Nutzung des Gebietes mit allen seinen positiven, jedoch mehr und mehr auch negativen Auswirkungen. In jüngster Zeit wird allerdings diese Nutzungsform durch Beschränkungen der Zufahrtserlaubnis zugunsten des Erhalts von Naturraum bereits von Beginn an unterbunden.

(3) Die Bereitstellung und das Vorhandensein von "billiger" Energie kann zur Neuansiedlung von Betrieben und der Verdrängung von bisher traditionellen Berufen führen. Mit dieser Ände-

rung der Einkommensgrundlage sind untrennbar Auswirkungen auf die ansässige Bevölkerungsstruktur (sozio-ökonomische und demographische Schichtung) verbunden.

Die bereits im vorangehenden Abschnitt angeführten Grundwasserbeeinflussungen im Talbereich können durch Beeinträchtigung der Bodenqualität sowie erhöhter Bodenerosion auf Grund des veränderten Bodenwasserhaushaltes direkt zu Ertragseinbussen bei landwirtschaftlich genutzten Flächen führen.

2.2.3 Wirkungen auf den gesellschaftspolitischen und menschlichen Bereich

(1) Der Betrieb einer Wasserkraftanlage beansprucht im extremsten Fall nicht nur unberührtes Gebiet sondern auch bewohnte Siedlungsräume. Die Folge sind Umsiedlung von ansässiger Bevölkerung mit Neuerrichtung von Wohngebäuden einschliesslich aller sozialen Einrichtungen. Über die materiellen Folgen hinaus, welche weitgehend internalisiert werden können, wird der bislang gewachsene menschliche Lebensraum, die gewachsene Struktur von Siedlungen unwiederbringlich zerstört.

Es stellt sich die Frage nach dem Wert der gewachsenen Strukturen durch Aufgabe von seit Generationen bewohnter Siedlungen. Hier kann eine Entschädigungsleistung durch die Neuerrichtung einer geschlossenen Siedlung oft nur einen begrenzten Ersatz bieten. Sehr oft zerfallen mit dem Eingriff in den Lebensraum die entstandenen Gemeinschaften und unterstützen gesellschaftliche Segregationsprozesse.

(2) Die Änderung der Einkommensgrundlage der Bevölkerung (zu Lasten der Landwirtschaft) und die damit einhergehende Änderung in der Bevölkerungsstruktur haben weitere Folgen:

- Aufgabe traditioneller Berufe mit den damit verbundenen Eigenheiten des Berufsstandes
- Verlust von gelebtem Brauchtum als Kulturwert und soziale Orientierungsgrösse
- Veränderungen im Freizeitverhalten
- Geldbesitz aus Entschädigungsleistungen versus Realbesitz

Mit der Veränderung der Flächenutzungen - Stausee statt Landwirtschaft, Änderungen in Abflussgebieten - ist ein Rückgang oder eine Umstrukturierung der hier bisher tätigen Bevölkerung verbunden. Mit den verschiedenen Berufsständen unzertrennlich verbundene Traditionen werden von einem kleiner werdenden Bevölkerungskreis gewahrt, verlieren aber über längere Sicht an Bedeutung und können verloren gehen.

(3) Ein besonderes Problem stellt die Entstehung einer in dieser Form vor dem Bau nicht vorhandenen Risikosituation dar. Ein Speichersee birgt, je nach Grösse des gespeicherten Volumens, in sich ein Risikopotential. Allerdings tritt dieses Risikopotential gegenüber einer früher bestandenen Hochwassergefahr für den Talraum nun mehr oder weniger sichtbar in Form der Stauanlage auf. Mit der Sicherheit vor Hochwasser und einer damit einhergehenden Ausdehnung von Siedlungsgebieten vergrössert sich zugleich das Schadensausmass im Schadensfall. Von der Bevölkerung wird ein erhöhtes Vertrauen in die Technik gefordert. Dies erfordert die Vorhaltung von Sicherheitseinrichtungen und die Vorbereitung von Vorsorgemassnahmen, die - soweit vom Betreiber getragen - zwar internalisiert sind, soweit sie aber bei der Gemeinde anfallen, als externe Kosten auftreten.

(4) Über die Risikoeinstellung der direkt betroffenen Bevölkerung hinaus wirft diese Situation die gesellschaftspolitische Frage auf, welches Risiko die Bevölkerung zu ertragen bereit ist. Im politischen Sinn ist diese Fragestellung nicht nur für den direkt betroffenen Bevölkerungsteil, sondern für die Allgemeinheit von Belang, zumal die blosse Existenz der Stauanlage ein Ziel für Sabotageakte oder militärische Einwirkungen ist und sich entsprechend für Erpressungsversuche eignet.

2.3 Externe Effekte im Störfall

(1) Externe Effekte eines Störfalles besitzen gegenüber den bisher angeführten Wirkungen der Bauphase und der Normalbetriebsphase eine andere Dimension. Sie enthalten gegenüber den bisher beschriebenen Effekten mit einer bestimmten Eintrittswahrscheinlichkeit behaftete Risikoelemente. Im Eintrittsfall entstehen Schädigungen erheblichen Ausmasses.

Als Störfall oder Katastrophenfall bei einer Wasserkraftanlage wird das Versagen der Stau- einrichtung mit anschliessender Flutwelle und plötzlicher Entleerung des Speicherraumes betrachtet. Wesentlichstes Element des Störfalles ist im Gegensatz zu (kalkulierten) Hochwasserereignissen dessen Unkontrollierbarkeit.

(2) Die Schädigungen am Naturraum nach dem Durchgang einer Flutwelle sind offensichtlich. Durch den Abfluss der Wassermassen mit mittransportiertem Geröll im Flusslauf, verbunden mit massiven Ausuferungen, wird im gesamten Flussbett sowie in den betroffenen Uferbereichen der Lebensraum für die aquatische Fauna und Vegetation zerstört.

Überflutungen und Ausuferungen im Talbereich führen, sofern nicht auch hier die Bodenoberfläche abgetragen wird, nach dem Durchgang der Flutwelle zu grossflächiger Anlandung des Bodens mit Geröll, Sand und kontaminierten Schlämmen. Landwirtschaftlich genutzte Flächen werden zerstört.

Die Schädigungen nach einem Störfall in einer Laufkraftanlage sind im allgemeinen auf Grund des geringeren Staurauminhaltes gegenüber Speicheranlagen geringer. Schädigungen am Naturraum sind jedoch in der gleichen Art zu erwarten.

(3) In besiedelten Räumen muss bei Durchgang einer Flutwelle mit Zerstörungen an Wohngebäuden, Betriebsanlagen und Infrastruktureinrichtungen gerechnet werden, gleichbedeutend mit dem Verlust der Lebensgrundlage für die dort ansässige Bevölkerung.

Die Zerstörung von Betriebsanlagen, die potentiell bei einer Überschwemmung freigesetzten Gefahrenquellen speziell chemischer Natur (Tank- bzw. Lagerstätten von Triebstoffen, Mineralöl und weiteren Chemikalien), die Verluste an landwirtschaftlichen Flächen stellen für sich schwerwiegende Schädigungen dar, welche allerdings nicht als irreversibel betrachtet werden können. Die damit verbundenen Kosten für die Wiedererrichtung sowie die Einkommensverluste durch den Produktionsausfall über längere Zeiträume stellen die wesentlichsten materiel-

len Folgewirkungen dar. Daneben werden öffentliche Institutionen für den Katastropheneinsatz (Zivilschutz, Militär) und Hilfsbereitstellungen beansprucht.

Diese materiellen Schäden können jedoch nur insoweit zu den externen Kosten gerechnet werden, als sie nicht durch entsprechend ausreichende Haftungssummen gedeckt sind oder unwiederbringliche Kulturgüter betreffen.

(4) Wesentlich schwerwiegender als die materiellen Schäden sind die Folgewirkungen auf das Leben und die Gesundheit der ansässigen Bevölkerung. Je nach Schwere des Unfalls muss mit einer erheblichen Zahl von Toten und Verletzten gerechnet werden. Zusätzlich sind weitergehende gesamtgesellschaftliche Effekte zu beachten. Der Verlust von Menschenleben verursacht kaum erfassbare psychische Beeinträchtigungen wie Trauer, Leid oder Angst vor weiteren ähnlichen Katastrophen.

Der Verlust des "Vertrauens" in die Technik und die damit verbundenen politischen Auseinandersetzungen wurden bisher ausschliesslich im Zusammenhang mit der Kerntechnologie aufgegriffen. Ein kapitaler Unfall bei einer grossen Wasserkraftanlage kann aber auch den unangefochtenen Vertrauensvorschuss in die Wasserkrafttechnologie unterminieren und tendenziell zu den der Kerntechnologie vergleichbaren Folgeeffekten Anlass geben.

3. QUANTIFIZIERUNG UND MONETARISIERUNG DER EXTERNEN EFFEKTE DER WASSERKRAFTNUTZUNG

3.1 Strukturierung

(1) Die Ausführungen zur (qualitativen) Identifizierung von externen Effekten belegen nachhaltig, dass für die Stromerzeugung aus der Nutzung der Wasserkraft ein breites Spektrum an externen Effekten belegbar ist. Sie lassen sich grob dem Naturraum, der menschlichen Gesundheit, dem Bereich gesellschaftspolitischer-kultureller Wertvorstellungen sowie dem wirtschaftlicher Existenzbedingungen zuordnen.

(2) Unter dem Gesichtspunkt der Quantifizierung und letztlich Monetarisierung der externen Effekte ist zunächst zu bemerken, dass das Volumen der Beeinträchtigungen z.B. des Naturraums sicherlich von der Dimensionierung der Anlage (Klein-, Mittel-, Grossanlagen) abhängt. Eine Strukturierung nach derartigen Kriterien erscheint allerdings nicht zielführend.

(3) Sinnvoller für die Quantifizierung der externen Effekte ist eine Differenzierung nach dem Betriebstypus, d.h. nach Laufkraftwerken einerseits und Speicherkraftwerken andererseits. Für eine betriebstypenspezifische Differenzierung spricht einmal, dass das objektive Volumen der Beeinträchtigungen (externen Effekte) von Laufkraftwerken in der Regel weniger gross ist als von Speicherkraftwerken. Man denke hier beispielsweise an die Folgewirkungen eines Wehrbruchs von Laufkraftwerken und die eines Staudamm-/mauerbruchs eines grossen Speicherkraftwerks. Ähnliche Unterschiede lassen sich auch für den Normalbetrieb anführen.

(4) Für eine betriebstypenspezifische Differenzierung hinsichtlich der Quantifizierung und Monetarisierung spricht aber insbesondere folgende Überlegung. Die mit der Wasserkraftnutzung einhergehenden externen Effekte konzentrieren sich in grossem Ausmass auf Beeinträchtigungen des Naturraums.

Folgt man dem Grundgedanken, dass die Verfügbarkeit von unberührten, naturbelassenen Gebieten - und darunter subsumiert die Artenvielfalt bei Fauna und Flora, zivilisatorisch nicht berührte Landschaften - einen Wert an sich darstellt, ist die Verbindung zu einer betriebstypenspezifischen Differenzierung schnell hergestellt.

(5) Die Standorte von Wasserkraftanlagen in der Schweiz sind zwar "flächendeckend" verteilt. Vom Charakter der Landschaft her betrachtet besteht jedoch eine ausgeprägt betriebstypenspezifische Standortverteilung der Anlagen. Der typische Standort für Laufkraftwerke ist die Ebene und das Hügelland, Gebiete die in einem hochentwickelten Land wie der Schweiz traditionell bevorzugte Siedlungs- und Wirtschaftsräume darstellen. Für Speicherkraftwerke liegt der typische Standort in höheren Mittelgebirgslagen sowie in hochalpinen Landesregionen, Gebieten also, die noch relativ ausgeprägt als naturbelassene Räume eingestuft werden können.

(6) In der Konsequenz heisst das: Beeinträchtigungen durch eine Wasserkraftanlage in noch relativ naturbelassenen Räumen, also hier von Speicherkraftwerken, sind anders zu bewerten als die von Anlagen (Laufkraftwerken) in schon weitgehend zivilisatorisch geprägten Räumen.

(7) Betrachtet man die Wasserkraftnutzung und ihre externen Effekte unter prozessuellem Gesichtspunkt, fällt nur ein geringer Teil der Beeinträchtigungen (externen Effekte) in der Bauphase an. Der Grossteil konzentriert sich auf die Betriebsphase. Dieses gilt sowohl für Lauf- als auch Speicherkraftwerke.

(8) Beeinträchtigungen des Naturraumes etc., die ausschliesslich im Zusammenhang mit der Erstellung der Anlage auftreten, sind ohne Einschränkung und eindeutig der Bauphase zuzuordnen. Als typische Beispiele sind zu nennen: Lärmemissionen, Flächenverbrauch für Nebenanlagen im Rahmen des Baubetriebs mit ihren entsprechenden Rückwirkungen auf den Naturraum, die psychische und physische Gesundheit des Menschen etc. Sie sind weitgehend reversibel und weniger umfassend.

(9) Im Gegensatz dazu stehen die externen Effekte bzw. Beeinträchtigungen im Zusammenhang mit Massnahmen, die den Betrieb von Wasserkraftanlagen (Speicher- und Laufkraftwerken) erst ermöglichen.

Abgesehen von den Spülungen, die regelmässig zur Aufrechterhaltung des Anlagenbetriebes durchgeführt werden, schlagen insbesondere die folgenden Beeinträchtigungen zu Buche:

- die Überstauung von Bodenfläche (Anlage von Speicherseen)
- die Etablierung der baulichen Infrastruktur (technische Anlage)
- Eingriffe im Abflussregime des berührten Gewässernetzes mit entsprechenden Folgeeffekten z.B. für den Naturraum und/oder für Komponenten des gesellschaftspolitisch-kulturellen Wertgefüges.

Diese Beeinträchtigungen sind oft irreversibel und stellen damit eine Veränderung der Rahmenbedingungen während des gesamten Lebenszyklus der Wasserkraftanlage (Betriebsphase) und potentiell darüber hinaus dar.

(10) Bei der Quantifizierung und Monetarisierung der externen Effekte (Laufkraftwerke einerseits und Speicherkraftwerke andererseits) kann angesichts der Gewichtung der Beeinträchtigungen auf eine jeweils in sich geschlossene Behandlung der Beeinträchtigungen für die Bau-phase und Betriebsphase (Normalbetrieb) verzichtet werden.

(11) Grundsätzlich zu trennen ist jedoch zwischen den Beeinträchtigungen im Zusammenhang mit der Bau-/Betriebsphase (Normalbetrieb) und Stör- bzw. Grossunfällen (Wehrbruch bei Laufkraftwerken, Staudamm-/mauerbruch bei Speicherkraftwerken).

Zwischen der Bewertung von externen Effekten der Bau-/Betriebsphase (Normalbetrieb) und denen des Ereignisses eines Stör- bzw. Grossunfalls besteht ein "qualitativer Sprung". Ein Stör- bzw. Grossunfall ist nicht nur mit einem spezifischen Schädigungsprofil und einem potentiell höheren Schadensvolumen verknüpft. Er unterliegt als Ereignis insbesondere einem sehr spezifischen Risikokalkül bezüglich der Eintrittswahrscheinlichkeit und des Schadensablaufs.

3.2 Quantifizierung und Monetarisierung externer Effekte von Speicherkraftwerken

3.2.1 Bau- und Normalbetriebsphase

3.2.1.1 Vorgehensweise

(1) Mit der Implementation von Speicherkraftwerken sind mehr oder minder grosse Beeinträchtigungen des Naturraums verbunden, ergeben sich Schädigungseffekte für die physische und psychische Gesundheit des einzelnen menschlichen Individuums, werden gesellschafts-politisch-kulturelle Wertvorstellungen berührt.

(2) Bei der Bearbeitung der Effekte im Zusammenhang mit der Wasserkraftnutzung generell und im Hinblick auf Speicherkraftwerke speziell bietet sich ein ungeheuer grosser Fundus an Literatur. Die Zahl beispielsweise von Umweltverträglichkeitsanalysen für einzelne Wasserkraftanlagen und auch gesondert für Speicherkraftwerke ist auf internationaler Ebene und auch in der Schweiz kaum noch überschaubar. Weiterhin steht ein relativ breites Literaturangebot grundlegender Art zu Beeinträchtigungen im Kontext der Wasserkraftnutzung zur Verfügung.

(3) Die Verwertbarkeit der vorhandenen Literatur beschränkt sich allerdings weitgehend auf die Identifizierung von Wirkungszusammenhängen in qualitativer Form. Schon für die Beurteilung, ob es sich bei den Wirkungszusammenhängen um externe Effekte oder um internalisierte Effekte handelt, stösst man sehr schnell an Grenzen der Aussagefähigkeit der vorhandenen Literatur. Als Grundlage für Quantifizierungen bietet die vorhandene Literatur nur geringe Möglichkeiten.

(4) In der Vielzahl von Umweltverträglichkeitsanalysen für Wasserkraftanlagen, nicht nur international, sondern auch für die Schweiz, finden sich zum Teil zwar recht differenzierte Angaben zu den mit der Anlage (Neubau, Ausbau) voraussichtlich verbundenen Beeinträchtigungen. Ausgewiesen werden bis ins Detail Art und Umfang einzelner Schädigungen (z.B. artenspezifische Schädigungen aquatischer und terrestrischer Fauna und Flora).

Ausgewiesen werden in manchen Umweltverträglichkeitsanalysen auch Massnahmen (inkl. des monetären Aufwands), die zu erfüllen wären, um die mit der Installierung der Anlage verbundenen Schädigungen entweder ganz zu vermeiden oder auf ein "akzeptables" Mass zu begrenzen.

zen. Neben baulichen Massnahmen (z.B. Fischtrepfen), Massnahmen für Aufforstungen und Umsetzungen von betroffenen Faunapopulationen sind hier gerade auch die Restwasserauflagen von Belang. Restwasserauflagen bedeuten für die Betreiber eine Reduktion der Wassermenge zur Stromerzeugung. Die durch Minderproduktion entgangenen monetären Erträge sind ein Kostenäquivalent für vermiedene Folgeschäden.

In der Diskussion gibt es Vorschläge, diese Chiffren - im Umkehrschluss - zumindest näherungsweise als Quantifizierungs- und Monetarisierungsmaassstab für die Bewertung der externen Effekte zu nutzen.

(5) Wir haben diesen gedanklichen Ansatz hier aus mehreren Gründen nicht weiter verfolgt. Einmal davon abgesehen, dass damit nur ein Teil des Gesamtspektrums der externen Effekte abgedeckt wäre (Beeinträchtigungen der physischen und psychischen Gesundheit menschlicher Individuen sowie Folgeeffekte bezüglich des gesellschaftspolitisch-kulturellen Wertgefüges werden nicht berücksichtigt) scheitert die Verwendung dieser Chiffren auch aus folgenden Gründen.

(6) Zunächst einmal handelt es sich um Massnahmen, die der Betreiber durchzuführen hat und deren finanzieller Aufwand schon vom Betreiber internalisiert worden ist.

Insbesondere handelt es sich aber bei den Umweltverträglichkeitsanalysen um Einzelfälle. Sie beziehen sich jeweils auf die Überprüfung der Umweltverträglichkeit eines einzelnen Anlagenprojekts und seiner spezifischen Bedingungen. Eine Hochrechnung auf den Gesamtanlagenbestand der Speicherkraftwerke in der Schweiz wäre nur unter der Bedingung statthaft, dass mit dem Spektrum der verfügbaren Fallbeispiele das Spektrum des Gesamtbestandes der schweizerischen Speicherkraftwerke hinsichtlich Grösse und Umfeldbedingungen wenigstens näherungsweise abgedeckt werden könnte. Dazu bedürfte es einer sehr detaillierten Analyse verbunden mit eigenständigen Primärevaluationen des Bestandes von Speicherkraftwerken der Schweiz. Dies war in der hier durchzuführenden Untersuchung nicht leistbar, und es sprechen u.E. auch forschungsökonomische Gründe gegen einen derartigen Ansatz. Es ist zweifelsohne von Interesse, Kenntnis über Schädigungen einer einzelnen Tier- und Pflanzenspezies zu haben. Für die hier anstehende Quantifizierung und Monetarisierung der Schädigungen allerdings steht der Kostenaufwand für eine Analyse über die Einzelspezies in keinem Verhältnis mehr zur gewünschten Präzision des Ergebnisses.

(7) Für die Quantifizierung und Monetarisierung der externen Effekte im Kontext der Speicherkraftwerke gilt es daher einen pragmatischen Weg einzuschlagen.

Es ist evident, dass in der Bau- und Betriebsphase die Beeinträchtigungen (externen Effekte) schwergewichtig im Naturraum, d.h. in den einzelnen Komponenten der terrestrischen sowie aquatischen Flora und Fauna anfallen. Hinzu kommen Beeinträchtigungen des Landschaftsbildes durch die Installierung der technischen Anlage selbst und der benötigten Versorgungsinfrastruktur (Verkehrstrassen etc.). Während diese Beeinträchtigungen überwiegend irreversibel (dauerhafte externe Effekte) sind, treten zusätzlich temporäre externe Effekte auf, die ausschliesslich auf Beeinträchtigungen (Staub- und Lärmemissionen etc.) während des Baubetriebs beruhen.

(8) Fragen wir zunächst nach der Quantifizierung von Beeinträchtigungen im Naturraum:

1. Die von der Anlage benötigte Fläche (Gebäude, überstaute Fläche, Fläche für die Versorgungsinfrastruktur) bedeutet einen Verlust an Lebensraum für die terrestrische Flora und Fauna. Dieses gilt einmal generell, gilt aber auch speziell für einzelne Arten, deren Existenz auf die betroffene Fläche beschränkt ist.
2. Die Implementierung der Anlage verändert die Wasserverhältnisse in dem gesamten Unterlauf von in der Regel einer Vielzahl von Flüssen, Bächen etc., deren Wasser zur Speisung des Speichersees dient.

Zwar geht von Speichieranlagen auch eine positive Wirkung in Form einer Stabilisierung im Gewässernetz aus (Abwehr von Hochwasserereignissen) und die Wasserversorgung und Fliessgeschwindigkeit im Unterlauf des betroffenen Gewässernetzes wird bis zu einem bestimmten Grad durch Restwasserauflagen gewährleistet.

Gleichwohl bleiben die Eingriffe in die Wasserverhältnisse nicht ohne Folgen auf die terrestrische und aquatische Flora und Fauna.

- Direkt beeinträchtigt werden die Existenzbedingungen von aquatischer Flora und Fauna im Unterlauf des Gewässernetzes, mit negativen Rückwirkungen auf die Artenvielfalt.
- Indirekt beeinträchtigt werden auch die terrestrische Flora und Fauna in den angrenzenden Gebieten des betroffenen Gewässernetzes. Hier verändert sich die Bodenfeuchtigkeit durch Reduktion von Oberflächenwasser und Absenkung des Grundwasserspiegels. Folgen (externe Effekte) entstehen in Form von Ertrags-einbussen land- und forstwirtschaftlich genutzter Kulturlächen sowie grundsätzlich in Form von Reduktionen der Artenvielfalt terrestrischer Flora und Fauna.

(9) Aus dem Umfang der Flächeninanspruchnahme **allein** ist allerdings noch nicht auf das Ausmass der Beeinträchtigungen der Artenvielfalt zu schliessen. In der Fachdiskussion wird hier häufig folgende Argumentationskette benutzt, die dann auch als allein zielführender methodischer Ansatz vorgeschlagen wird: Jede Speicherkraftwerksanlage besitzt in Abhängigkeit von ihren spezifischen Standortbedingungen (Ausgangsbedingungen in der Artenvielfalt von Fauna und Flora) ein eigenständiges Beeinträchtigungsprofil bezüglich einzelner Arten terrestrischer und aquatischer Flora und Fauna. Diese können als "Einzelergebnisse" /Hampicke et al., 1991/ in Form von Studien zu den konkreten Auswirkungen einzelner Anlagen ermittelt werden, woraufhin dann Abschätzungen einer Gefährdungswirkung sowohl im konkreten Fall als auch in der Beziehung zur Gesamtausstattung mit Speicherkraftwerken in der Schweiz erfolgen könnten. Als Entscheidungshilfen böten sich sowohl Biotopkartierungen als auch die "Roten Listen" an.

Eine Quantifizierung der Beeinträchtigungen auf diesem Wege scheitert allerdings, da operationale Erklärungs- und Simulationsmodelle fehlen und darüber hinaus eine Einzelfallanalyse für den gesamten schweizerischen Anlagenbestand nicht mehr zu vertretbaren Kosten durchführbar wäre.

(10) Insgesamt muss hervorgehoben werden, dass das quantitative Material für eine Bewertung des Gesamtbestandes an Wasserkraftanlagen bisher äusserst dürftig ist. Die im folgenden vorgestellten Schätzungen können daher lediglich als erster Versuch einer Quantifizierung gelten. Weitere empirische Untersuchungen sind dringend erforderlich.

Unseres Erachtens lässt sich ein erstes **Näherungsergebnis** mit einem Ansatz in Form der "**Globalbetrachtung**" erzielen. Grundgedanke ist, dass Artenvielfalt in kausaler Beziehung zum naturbelassenen Raum steht, der naturbelassene Raum Voraussetzung für die Existenz von Artenvielfalt ist. Jeder Eingriff in den naturbelassenen Raum ist folglich gleichzusetzen mit einer Verminderung der Existenzgrundlage der Artenvielfalt. Die Dimension Raum wird hier in die Dimension Fläche transformiert, wobei die Fläche sowohl den Lebensraum für die terrestrische als auch den für die aquatische Fauna und Flora einschliesst. Der auf die Wasserkraftnutzung zurückzuführende Schaden für die Artenvielfalt steigt also mit der "Naturnähe" der beanspruchten bzw. berührten Fläche.

Für die hier anstehende Quantifizierung heisst das, dass aus unserer Sicht die quantitativ von Speicherkraftwerksanlagen berührte Fläche, spezifiziert nach "naturbelassenem Raum" und "zivilisatorisch vorgeprägtem Raum" als Bemessungsgrundlage herangezogen werden kann. Dazu ist zu bemerken: Eine differenzierte Typologisierung nach mehr als zwei Kategorien könnte erwogen werden. Im Rahmen der hier durchgeführten Untersuchung liess sich - angesichts des begrenzten Forschungsbudgets - dieser Gedanke nicht empirisch umsetzen und auf seinen Beitrag zu einer substantiellen Verbesserung des Ergebnisses überprüfen.

Letztlich gilt es auch zu betonen, dass neben dem vorgeschlagenen Ansatz, die Beeinträchtigungen über die Fläche zu quantifizieren, auch Überlegungen bestehen, die Beeinträchtigungen an der Länge der Gewässerstrecke quantitativ festzumachen. Die Quantifizierung über die Fläche stellt u.E. jedoch den umfassenden, die Komplexität der Beeinträchtigungen eher berücksichtigenden Ansatz dar.

3.2.1.2 Quantifizierung und Monetarisierung

(1) Fragen wir im ersten Schritt nach der in der Schweiz von Speicherkraftwerken insgesamt **dauerhaft** genutzten bzw. beeinträchtigten Fläche (Lebensraum für terrestrische und aquatische Flora und Fauna), bezogen auf die Betriebsphase. Angaben darüber z.B. in Form eines Flächenkatasters existieren laut Aussage der zuständigen amtlichen Stellen für die Schweiz nicht. Folglich muss mit eigenständigen Schätzungen gearbeitet werden.

(2) Schätzgrundlage bildet die **Länge** des in spürbarer Weise von der Wasserkraftnutzung beeinträchtigten **Gewässernetzes**. Die Standorte der Speicherkraftwerke der Schweiz konzentrieren sich zum Grossteil auf Quellgebiete (den Oberlauf) des nationalen Gewässernetzes. Speicherkraftwerke beeinträchtigen damit jeweils die Abflussverhältnisse des **gesamten** Unterlaufs der für die Speisung ihrer Speicherseen eingebundenen Flüsse und Bäche. Veränderungen der Abflussverhältnisse im gesamten Unterlauf des Gewässernetzes treten auch bei vorwiegend in den Flussniederungen angesiedelten Laufkraftwerken auf. Hier ist eine quantitative Eingrenzung auf ins Gewicht fallende Beeinträchtigungen erforderlich.

Bei der Bestimmung der Länge des relevanten Gewässernetzes stehen hilfsweise zwei Werte zur Verfügung.

(3) Ergebnis einer schon länger zurückliegenden Untersuchung des Bundesamtes für Wasserwirtschaft war, dass von der gesamten Länge des schweizerischen Gewässernetzes von total 42.000 km gut **2.000 km** in **spürbarer** Weise von der Wasserkraftnutzung **beeinträchtigt** werden /Vischer, 1980/.

Mit dem Hydrologischen Atlas für die Schweiz (1992) bietet sich eine zweite Informationsquelle /Buwal, 1992/. Die kartographische Darstellung ermöglicht zwar unmittelbar keine kilometermässige Längenbestimmung. Anlässlich der Vorstellung des Hydrologischen Atlas in der Öffentlichkeit (Pressekonferenz) wurde jedoch die kilometermässige Beeinträchtigung des Ge-

wässernetzes in einer Höhe von 10-20 % angegeben /Weingartner, 1992/. Legt man den Mittelwert dieses Schätzkorridors von 15 % zugrunde und überträgt ihn auf die gesamte Länge des schweizerischen Gewässernetzes von 42.000 km, ergibt sich eine beeinflusste Gewässerstrecke von rund **6.000 km**.

Bei den Werten der beiden Informationsquellen zur beeinflussten Gewässerstrecke handelt es sich um **wasserwirtschaftliche** Angaben, d.h. es werden Gewässerstrecken ausgewiesen, für die Beeinträchtigungen im natürlichen Abflussregime als Folge der Wasserkraftnutzung gegeben sind. Die Festlegung der Beeinträchtigung im natürlichen Abflussregime wurde auch im Hydrologischen Atlas nicht unter ökologischen Gesichtspunkten vorgenommen. Damit erlauben beide Informationsquellen flächendeckend keine direkten Rückschlüsse auf das Ausmass der **ökologischen** Beeinträchtigungen. Letztere können potentiell den angegebenen Werten entsprechen, können aber auch höher liegen.

Angesichts der Tatsache, dass im Rahmen des Gesamtprojekts dieses grundlegende Informationsdefizit nicht beseitigt werden konnte, erscheint es angemessen, beide Angaben in Form von Alternativrechnungen zu berücksichtigen. Festzuhalten bleibt aber, dass zu dieser Fragestellung dringender Forschungsbedarf besteht.

(4) Flächendeckende empirische Daten über die Dimension der Bodenareale, die durch eine Veränderung der Abflussverhältnisse der beeinflussten Gewässernetzstrecken beeinträchtigt werden, stehen nach Aussage des Bundesamtes für Wasserwirtschaft für die Schweiz nicht zur Verfügung. Nach Diskussionen mit Experten erscheint die Annahme, dass im Durchschnitt pro km Länge des Gewässernetzes eine berührte Fläche (Bodenareal) von 0,5 km² besteht, nicht unrealistisch. Dieses schliesst einzelfallspezifische erhebliche Abweichungen nach oben oder unten keineswegs aus. Der Durchschnittswert von 0,5 km² berührte Fläche pro Laufkilometer entspricht 250 Meter pro Uferseite. Von diesem Durchschnittswert weicht z.B. das Walliser Rhonetal, wo das Grundwasser bis 600 m vom Wirken des Flusses abhängt, deutlich nach oben ab. Auch für das KW-Projekt Landquart/Küblis wird eine Einzugsgebiet angegeben, das fast vierzigmal so gross ist, wie es sich bei Zugrundelegung des Durchschnittswertes ergeben würde. Diesen Fällen werden aber auch solche mit Abweichungen vom Durchschnitt nach unten gegenüberstehen. Erneut spielt auch die Frage eine Rolle, inwieweit die "berührte" Fläche auch eine ökologische Beeinträchtigung aufweist. Auch hier ist erheblicher Forschungsbedarf erkennbar.

(5) Aufbauend auf dem Durchschnittswert von 0,5 km² berührte Fläche (Bodenareal) pro Laufkilometer und verknüpft mit den beiden Schätzwerten für die beeinflusste Gewässerstrecke, beläuft sich die insgesamt beeinträchtigte Fläche auf 1.000 km². bzw. 3.000 km².

(6) Zu den im Unterlauf von Wasserkraftwerken beeinträchtigten Flächen kommen die durch Überstauung verlorenen Flächen hinzu. Bei Laufkraftwerken handelt es sich um eine "quantité négligable". Aber auch bei Speicherkraftwerken ist das Volumen vergleichsweise gering. Für die knapp 100 Speicherkraftwerke ab 300 kW Leistung der Schweiz /Bundesamt für Wasserwirtschaft, 1987/ dürfte die überstaute Fläche - hochgerechnet anhand der 50 grössten Speicherseen der Schweiz /INFEL, 1983/ - maximal 240 bis 260 km² insgesamt betragen. Angenommen wurde: Die überstaute Fläche ist aufgrund der Lage von Taleinschnitten deutlich grösser als die Seefläche. Angesichts der überwiegenden Lage Schweizer Stauseen in steilen Berglagen kann davon ausgegangen werden, dass im Durchschnitt aller Speicherseen die überstaute Fläche der mit dem Faktor 2 multiplizierten Seefläche entspricht (Querschnitt: gleichseitiges Dreieck).

(7) Zu ermitteln ist nun, wie sich die durch Wasserkraftanlagen beeinträchtigte Fläche von 1.000 km² bzw. 3.000 km² zuzüglich der durch Speicherkraftwerke überstauten Fläche von 240 km² nach Kategorien "naturbelassener Raum" und "zivilisatorisch vorgreprägtem Raum" differenzieren und dem jeweiligen Betriebstypus (Lauf- bzw. Speicherkraftwerke) zuordnen lässt.

(8) Standorte von Speicherkraftwerken befinden sich in der Schweiz schwergewichtig im Alpenraum und zu einem erheblichen Teil in hochalpinen Regionen. Die jeweils berührten Gewässer (Unterlauf) und angrenzend beeinträchtigten Bodenareale befinden sich zum Teil in Gebieten mit einem Charakter "relativer Naturbelassenheit", zum Teil aber auch in "zivilisatorisch" geprägten Gebieten. Für Laufkraftwerke gilt, dass ihre beeinträchtigten Bodenareale aufgrund des Standortes weitgehend auf "zivilisatorisch" geprägte Gebiete entfallen. "Zivilisatorisch" bedeutet, dass das Gebiet einen spürbaren Besitz an Siedlungs- und Verkehrsinfrastruktur aufweist, erkennbar **intensiv** land- und forstwirtschaftlich genutzt wird.

(9) Gemäss dieser Definition dürfte sich laut Arealstatistik 1975/8525 /Statistisches Jahrbuch Schweiz 1993/ der Gebietsanteil mit "relativer Naturbelassenheit" am Gesamtgebiet der Schweiz schätzungsweise auf 40 % belaufen. Der Gebietsanteil mit erkennbar intensiver land- und forstwirtschaftlicher Nutzung am Gesamtgebiet der Schweiz beträgt danach rund 35%.

Angesichts der Standortverteilung der Wasserkraftanlagen, der berührten Gewässernetze und in der Folge der beeinträchtigten Bodenareale ist es statthaft, das auf gesamtschweizerischer Ebene gegebene Verhältnis von "Gebieten mit relativer Naturbelassenheit" zu "Gebieten mit erkennbar land- und forstwirtschaftlicher Nutzung" (40 %:35 %) auf die durch Wasserkraftanlagen beeinträchtigte Fläche zu übertragen.

Auf denkbare Verfeinerungen, hier mit mehr als zwei Raumkategorien und einer dementsprechend differenzierten Aufbrechung der Bodenarealstatistik zu arbeiten, wurde schon aufmerksam gemacht.

(10) Im Ergebnis können gut 53 % (657 km² bzw. 1.717 km²) der von Wasserkraftanlagen beeinträchtigten Fläche als "Naturraum" und knapp 47% (583 km² bzw. 1.523 km²) als "intensiv land- und forstwirtschaftlich genutztes Gebiet" charakterisiert werden.

Angesichts der Standortverteilung von Speicher- und Laufkraftwerken und damit einhergehenden Beeinträchtigungsintensitäten ist grob geschätzt von folgender Aufteilung nach Betriebstypen auszugehen.

1. Die als "Naturraum" ständig und irreversibel beeinträchtigte Fläche von 657 km² bzw. 1.717 km² ist vollumfänglich den Speicherkraftwerken zuzuordnen. Der "Naturraum" ist allerdings für weitere Betrachtungen insofern zu reduzieren, als er nicht gänzlich Lebensraum für Fauna und Flora darstellt, sondern auch vegetationslose Fels- und Eisflächen einschließt. Als Lebensraum für Fauna und Flora gehen wir von ca. 80%, d.h. von 526 km² bzw. 1.374 km² aus.
2. Das ständig und irreversibel beeinträchtigte "intensiv land- und forstwirtschaftlich genutzte" Gebiet von 583 km² bzw. 1.523 km² verteilt sich zu 40 % (233 km² bzw. 609 km²) auf die Speicherkraftwerke und zu 60 % (350 km² bzw. 914 km²) auf die Laufkraftwerke.

(11) Bevor wir uns der konkreten **Monetarisierung** zuwenden, ist kurz auf generelle Aspekte der Bewertungsdiskussion von Wasserkraftanlagen im Zusammenhang mit ihrer Umgebung einzugehen.

Es besteht weitgehender Konsens, dass naturbelassener Raum einen immateriellen Wert in unserer Gesellschaft darstellt und schützenswert ist. Schwieriger und auf den ersten Blick kontroverser wird die Bewertungsfrage, wenn man in den von uns verwendeten Raumtypisierungen denkt.

Bei der Bewertung einer Wasserkraftanlage in einer naturnahen Landschaft und demgegenüber in einer von Menschenhand schon weitgehend bestimmten Landschaft kann gedanklich zugrundegelegt werden, dass sich in ein anthropogen geprägtes Gebiet ein "weiteres Menschenwerk wohl leichter einfügen lässt"... sich die "in einer von Menschenhand geschaffenen Umge-

bung betroffenen Bürger die Interessen dieser Umgebung zu eigen gemacht haben" /Spreng, 1992/. Beeinträchtigungen durch eine Wasserkraftanlage in anthropogen geprägten Gebieten würden danach von der Gesellschaft eher toleriert als in noch weitgehend intakten Naturräumen mit entsprechenden Rückwirkungen auf das Verhältnis in der Schadensbewertung.

Demgegenüber steht jedoch auch die Auffassung, dass - angesichts der Knappheit naturbelassener Gebiete in den anthropogen geprägten Räumen - der Verlust der gleichsam "letzten" nahegelegenen Naturgebietsinseln weitaus höher zu bewerten wäre als ein punktueller Verlust in entfernten grossräumigen Naturräumen.

(12) Es ist unbestritten, dass in anthropogen geprägten Räumen noch schützenswerte "Naturgebietsinseln" existieren, die durch Wasserkraftanlagen (Laufkraftwerke) verlorengehen können. Und so wäre es sicherlich von Interesse, den Gesichtspunkt der Bewertung dieser Räume in weiterführenden Arbeiten zu vertiefen.

Da damit aber tendenziell wieder umfangreichere Einzelanalysen notwendig werden, kann dieser Aspekt im Rahmen des vorliegenden Projekts nicht näher geprüft werden.

(13) Für die Beeinträchtigung der Artenvielfalt und letztlich den "naturbelassenen Raum" gilt ebenso wie für die einzelne Art von Fauna und Flora, dass sie sich einer **einfachen Bewertung in Geldeinheiten** entziehen. Eine Monetarisierung z.B. in Form einer schlichten Schadenskostenrechnung aus Reparaturaufwendungen gibt es nicht. Gleiches gilt im übrigen auch für den externen Effekt der optischen Beeinträchtigung des Landschaftsbildes durch die technische Anlage des Speicherkraftwerkes und weiterer baulicher Einrichtungen (z.B. Lawinenverbauungen, Leitungsinfrastruktur für den Elektrizitätstransport).

Artenvielfalt, naturbelassene Landschaft bzw. ein unzerstörtes Landschaftsbild sind Bestandteil des gesellschaftlich-kulturellen Wertgefüges. Sie besitzen durchaus funktionalen Stellenwert in einer Gesellschaft sowohl als Orientierungsbasis für traditionelles Brauchtum, als auch als individueller Erlebniswert. Schon die reine Existenz stellt einen Wert an sich dar. In seiner Nutzung als Erholungs- und Regenerationsfaktor manifestiert sich der individuelle Erlebniswert.

Die Anforderungen an die Erholungslandschaften begründen sich in den menschlichen Bedürfnissen nach Schönheit, Heimat und dem Bedürfnis nach der Nutzungsmöglichkeit für gewünschte Erholungsaktivitäten. Untersuchungen haben gezeigt, dass die Beurteilung von Landschaften eng an die Elemente Vielfalt, Eigenart und Naturnähe geknüpft ist /Nohl, 1985/.

(14) Wie schon angedeutet stehen hier "konventionelle" Monetarisierungsansätze nicht mehr zur Verfügung. Im Zusammenhang mit ökonomischen Monetarisierungs- und letztlich Internationalisierungsstrategien können hier jedoch Zahlungsbereitschaftskonzepte eingesetzt werden. Methodisch wird auf der Grundlage von Befragungen die Zahlungsbereitschaft der Gesellschaft zur Erhaltung von Artenvielfalt, naturbelassener Landschaft bzw. eines unzerstörten Landschaftsbildes ermittelt.

Die Nutzenbewertung immaterieller Werte in der Gesellschaft mit Hilfe der Erfragung der Zahlungsbereitschaft ist in der Literatur intensiv diskutiert worden. Probleme können bestehen

- in der Unwissenheit der Befragten
- im hypothetischen Charakter der Fragen ("... wieviel **wären** Sie bereit, zu zahlen?")
- im strategischen Verhalten der Befragten.

Auch wenn der Genauigkeitsgrad der Ergebnisse aufgrund der angedeuteten Probleme zweifelsohne leidet, haben die gerade in den letzten Jahren auch im deutschsprachigen Raum in wachsender Zahl durchgeführten Untersuchungen die Praktikabilität dieser Monetarisierungsmethode nachhaltig unterstrichen. Dass dabei die zunehmenden methodischen Verfeinerungen /Holm-Müller, 1991 sowie Nielsen, 1991/ eine wichtige Rolle gespielt haben, sei besonders vermerkt.

(15) Die Untersuchungen, von denen exemplarisch einige in der Übersicht 1 aufgeführt sind, thematisieren den "Naturraum" nicht direkt. Evaluiert werden allerdings Zahlungsbereitschaften für Kriterien, die als Komponenten des "Naturraums" anzusehen sind, begrifflich als deckungsgleich interpretierbar sind und/oder unter dem funktionalen Aspekt den Wert des "Naturraums" abzubilden vermögen.

(16) Setzt man die Zahlungsbereitschaft für den Arten- und Biotopschutz gleich mit dem Wert, den eine Gesellschaft der Artenvielfalt und den Biotopen als Existenzgrundlage von Artenvielfalt beimisst, liefert eine Untersuchung von Hampicke /Hampicke, 1991/ folgende Ergebnisse: Allein die Existenz von Artenvielfalt, respektive Biotopen ist der Bevölkerung der Bundesrepublik Deutschland 6,6 Mrd DM wert. Vom Erlebniswert her gesehen verdoppelt sich dieser Betrag sogar annähernd.

Eine Befragung von Klockow /Klockow 1990/ in der Bundesrepublik Deutschland nach dem Wert, den bundesdeutsche Bürger einer intakten Erholungslandschaft beimessen, ergab folgendes: Unterstellt, für intakte Erholungslandschaften müssten Eintrittspreise entrichtet werden, läge die durchschnittliche Zahlungsbereitschaft pro Familie und Jahr bei rund 85 DM. Um-

gerechnet auf die Gesamtzahl bundesdeutscher Familien ergäbe das einen Betrag von 1,43 Mrd DM pro Jahr (siehe Übersicht 1).

Die Untersuchung von Nielsen /Nielsen 1991/, in der anhand der Zahlungsbereitschaften der Bürger von Lugano der Wert eines speziellen stadtnahen Waldes von Lugano monetär bestimmt wurde, zeigt: Der Existenzwert dieses stadtnahen Waldes beläuft sich pro Person und Jahr auf SFr 420,-, sein Erlebniszutzen für die Waldbesucher ist pro Person mit SFr 1.500,- anzusetzen.

(17) Die ausgewählten Untersuchungen vermitteln ein recht heterogenes Bild, wobei die Divergenzen in den monetären Beträgen zum Teil auf unterschiedliche Erhebungstatbestände, zum Teil aber wohl auch auf nationalspezifische Unterschiede in der Wertschätzung von Natur bzw. ihrer einzelnen Komponenten zurückzuführen sind.

Die Nutzung der von Nielsen /Nielsen 1991/ ermittelten Zahlungsbereitschaften hätte den Vorteil, dass auf potentiell spezifischen Werthaltungen der Bevölkerung der Schweiz aufgebaut werden könnte. Darüber hinaus wäre eine approximative Bewertung der Naturraumbeeinträchtigungen im Zusammenhang mit der Wasserkraftnutzung anhand von Zahlungsbereitschaften für die Existenz und den Erlebniswert von "Wald" zumindest auf den ersten Blick gesehen möglich. "Wald" wird in der Gefühlswelt des Menschen assoziativ auch mit intakter Ökologie respektive "Naturraum" verknüpft.

(18) Gleichwohl muss die Verwendung der Ergebnisse der Nielsen-Untersuchung /Nielsen 1991/ für unsere Belange verworfen werden, da Zahlungsbereitschaften für einen **stadtnahen** Wald vermutlich zu hoch angesetzt wären. Unserer Fragestellung entspricht dagegen eher die Untersuchung von Hampicke /Hampicke 1991/. Hier wird mit dem unspezifischeren Kriterium "Artenvielfalt und Biotopschutz" gearbeitet, das dem gleichfalls unspezifizierten Begriff "Naturraum" näherkommt. Da auch in der bundesdeutschen Bevölkerung das Umweltbewusstsein recht stark ausgeprägt ist und ein relativ hoher Grad an Naturverbundenheit vorliegt, dürfte ein "nationalspezifischer bias" nicht allzu stark ins Gewicht fallen.

Übersicht 1: Nutzenbewertung intakte Umwelt und Naturraum - Ergebnisse ausgewählter Untersuchungen

Autor/Jahr/Land	Ansatz	Quantifizierung
Hampicke, U. et al. 1991 BRD	Zahlungsbereitschaft für den Arten- und Biotopschutz	a) Existenzwert:

Autor/Jahr/Land

Ansatz

Quantifizierung

Hampicke, U. et al.

1991

BRD

(19) Überträgt man die von Hampicke für die Bundesrepublik Deutschland ermittelten Werte bezüglich "Arten- und Biotopschutz", d.h. Werte bezüglich des "Naturraums" auf die Schweiz, wäre jeder Einwohner "bereit", pro Jahr

- für die Existenz SFr 130,-- und
- für die Nutzung als Erlebnis SFr 260,--

zu zahlen. Auf das vielfach diskutierte Problem, dass mit Hilfe von Befragungen ermittelte "Zahlungsbereitschaften" dann, wenn es in der Realität um die effektive Zahlung dieser Beträge geht, auf Verweigerungstendenzen stossen können, soll hier hingewiesen werden.

(20) Hochgerechnet auf die Gesamtbevölkerung der Schweiz (6,75 Mio) und umgelegt auf den gesamten Naturraum der Schweiz von schätzungsweise 16.514 km² ergibt sich pro km² Naturraum ein **Existenzwert** in Höhe von **SFr 53.000** und ein **Erlebniswert** von **SFr 106.000**.

1. Bezogen auf die von Speicherkraftwerken beeinträchtigte Naturraumfläche von 526 km² bzw. 1.374 km² (vgl. Kap. 3.2.1.2, Abs. 10) beläuft sich damit der
 - Existenzwert auf ca. 27,8 Mio SFr bzw. 72,8 Mio SFr und der
 - Erlebniswert auf rund 55,8 Mio SFr bzw. 145,7 Mio SFr.
2. Insgesamt beträgt damit der im Zusammenhang mit Speicherkraftwerken entstehende Schaden des "Naturraums" also 83,6 Mio SFr pro Jahr bzw. 218,5 Mio SFr pro Jahr.
3. Umgelegt auf die Arbeit der Speicherkraftwerke pro Jahr (Durchschnitt der letzten 5 Jahre 1987-1991) von 18.944 GWh ergäbe sich damit ein Betrag von 0,4 Rappen bzw. 1,2 Rappen pro kWh.

(21) Über die Naturraumschädigung hinaus verursacht der Betrieb von Speicherkraftwerken zusätzliche Schäden in Form von **Ertragseinbussen "intensiv land- und forstwirtschaftlich genutzter" Bodenareale**. Wie weiter oben (vgl. Kap. 3.2.1.2, Abs. 10) dargelegt, beläuft sich diese Fläche auf 233 km² bzw. 609 km².

Prognos hat sich sowohl im Inland als auch im Ausland sehr intensiv bemüht, Informationen zur Quantifizierung und Monetarisierung für derartige Ertragsminderungen zu beschaffen. Die Recherchen bei Experten aus Praxis und Wissenschaft (Agrarökonomische Forschungsinstitute, Institute für Bodenkunde/Kulturtechnik/Hydrrotechnik) sowie amtliche Stellen haben keine Hinweise geliefert, so dass erneut mit Schätzungen operiert werden muss. Hierbei dürfte die Annahme, dass die Ertragseinbussen pro km² beeinträchtigte Fläche nicht niedriger liegen als der für die "Naturraumschädigungen" pro km² (Durchschnitt Existenz-/Erlebniswert) ermittelte monetäre Betrag nicht unrealistisch sein.

Danach läge die Ertragseinbusse pro km² bei rund 79.500 SFr, was bei einer insgesamt beeinträchtigten Fläche von 233 km² bzw. 609 km² einem Volumen von 18,5 Mio SFr bzw. 48,4 Mio SFr entspricht. Wiederum umgelegt auf die Arbeit der Speicherkraftwerke von 18.944 GWh pro Jahr ergibt sich ein Betrag von **0,1 Rappen bzw. 0,2 Rappen pro kWh**.

(22) Die bisherigen Quantifizierungen und Monetarisierungen haben sich ausschliesslich auf Schäden der Speicherkraftwerke im Normalbetrieb bezogen.

Fragen wir nun noch nach den Beeinträchtigungen im Zusammenhang mit der **Bauphase**. Sie treten mit Ende der Anlagenimplementation nicht mehr auf und sind weitgehend reversibel.

(23) Für die mit dem Baubetrieb verbundenen Belastungen durch Lärm, Staub etc. (und ihren Effekten auf den Naturraum, die menschliche Gesundheit, die Wirtschaft [Tourismus]) lässt sich mangels geeigneter Informationen eine Quantifizierung und Monetarisierung nicht durchführen.

Ansatzweise geschätzt werden können dagegen die Beeinträchtigungen des spezifisch mit dem Bau verbundenen Flächenbedarfs.

Ausgegangen wird davon, dass die zusätzlich im Baubetrieb beeinträchtigte Fläche etwa 25% der überstauten Fläche (Normalbetrieb), also ca. 60 km² beträgt. Davon dürften schätzungsweise 70 % (42 km²) auf Flächen für Deponien, Ver- und Entsorgungseinrichtungen der Baustelle, Wohngebäude für Baustellenarbeiter entfallen. Sie sind i.d.R. Teil der Baustelle und aufgrund der typischen Standorte der Speicherkraftwerkanlagen (höhere Mittelgebirgslage, hochalpine Regionen) der Kategorie "Naturraum" zuzuordnen. Die restlichen 30 % (18 km²), die wir für die talorientierte Verkehrsinfrastruktur ansetzen, wären der Kategorie "intensiv genutzter land- und forstwirtschaftlicher Fläche" zuzuschlagen.

Die beeinträchtigten Flächen, monetarisiert mit den entsprechenden Beträgen für "Naturraumschäden" und Ertragseinbussen "intensiv genutzter land- und forstwirtschaftlicher Bodenareale", wie sie in der Betriebsphase verwendet wurden, ergibt pro Jahr des Baubetriebes ein Schadensvolumen von 8,1 Mio SFr. Bei einer durchschnittlichen Bauzeit von 10 Jahren (Erfahrungswert) ergibt sich damit ein gesamtes Schadensvolumen von 81 Mio SFr.

Bei der Internalisierung dieser Kosten ist eine Umlegung auf die Arbeit während der gesamten Lebenszeit der Anlagen erforderlich. Sie beträgt bei einer Lebenszeit von 50 Jahren 947.200 GWh. Hieraus errechnet sich mit 0,0086 Rappen/kWh ein **vernachlässigbarer Strompreisaufschlag**.

3.2.2 Stör- bzw. Grossunfall

(1) Die möglichen Schäden eines Grossunfalls bei Speicherkraftwerken, d.h. eines Staudamm-/mauerbruchs sind vielfältig und unabsehbar. In Abhängigkeit von der Grösse der Anlage, dem Standort und den topographischen Gegebenheiten der Anlage können die Schadenswirkungen ein erhebliches Ausmass annehmen. Die in der Fachliteratur für Europa und weltweit dokumentierten Grossunfälle /Fritzsche 1988/ belegen nachhaltig die zum Teil hohen Verluste an Menschenleben und materieller Werte. Die Schädigungen immaterieller Werte wie Naturraumbeeinträchtigungen (Fauna und Flora), Baudenkmälern etc. werden in der Literatur zwar nicht explizit aufgeführt, dürften aber auch ein erhebliches Volumen haben.

(2) Bei den genannten Folgewirkungen von Grossunfällen - auf die wir uns in der vorliegenden Untersuchung beschränken werden - stossen die Quantifizierung und Monetarisierung erneut auf Schwierigkeiten.

Ein gravierendes Problem liegt darin, dass für die Bedingungen der Speicherkraftwerksanlagen der Schweiz kein ausreichendes Grundlagenmaterial verfügbar gemacht werden kann. Wie oben angemerkt, wird das Schadensausmass eines Grossunfalls von den Rahmenbedingungen der Anlagen, Grösse, Standort und Topographie determiniert. Für eine Quantifizierung und Monetarisierung potentieller Schadensvolumina von Grossunfällen ist es wichtig, diese Rahmenbedingungen der Speicherkraftwerksanlagen in der Schweiz zu kennen. Im Kontext des Zivilschutzes (Katastrophenschutzes) sind exakte Pläne über die wahrscheinlichen geographischen Auswirkungsradien von Staudamm-/mauerbrüchen für die einzelnen Speicherkraftwerksanlagen der Schweiz erstellt worden. Laut Aussage des Bundesamtes für Wasserwirt-

schaft verfügt nur jede einzelne Gemeinde für sich selbst über die Kenntnis, ob und in welcher Dimension sie betroffen würde. Aggregierte Pläne (alle betroffenen Gemeinden pro Wasserkraftanlage) sind jedoch aus sicherheitspolitischen Erwägungen der Öffentlichkeit nicht zugänglich.

(3) Ein weiteres Problem stellt sich im Zusammenhang mit der Risikoabschätzung von Stör- bzw. Grossunfällen. Folgt man der Expertendiskussion in der Schweiz, wird die Eintrittswahrscheinlichkeit eines Grossunfalls als äusserst gering eingestuft, zum Teil sogar ganz ausgeschlossen. Wahrscheinlichkeitsberechnungen respektive Risikofaktoren, beispielsweise der ICOLD oder von der deutschen Kernforschungsanlage Jülich /Kallenbach 1989/, die anhand der international beobachteten Fälle von Staudamm-/mauerbrüchen abgeleitet wurden, werden als auf die Schweiz nicht übertragbar angesehen.

(4) Seitens der Schweizer Experten wie u.a. des Bundesamtes für Wasserwirtschaft und der Versicherungsträger wird zwar von einem Restrisiko bei den nationalen Speicherkraftwerken ausgegangen. Wie das Restrisiko bzw. die Eintrittswahrscheinlichkeit von Grossunfällen allerdings eingeschätzt wird, bleibt weitgehend intransparent. Entweder steht wie beim Bundesamt für Wasserwirtschaft /Biedermann 1991 u. 1993/ das Restrisiko nicht im Vordergrund des konzeptionell strategischen Ansatzes oder aber man lässt sich wie bei den Versicherungsträgern ungern "in die Karten" sehen.

Im Rahmen dieser Untersuchung muss folglich auf der vorhandenen Literatur, verfügbaren Informationen aufgebaut und mit Schätzungen gearbeitet werden.

(5) Bei Grossunfällen von Speicherkraftwerken ist ein mehr oder minder grosser Verlust an **Menschenleben** zu beklagen. Berechnungen auf der Grundlage von international aufgetretenen Staudamm-/mauerbrüchen und dabei zu beklagenden Todesfällen ergab, bezogen auf die weltweit vorhandene Leistung von Speicherkraftanlagen, eine Quote von 1,3 Todesfällen pro GWA/Fritzsche 1988/. Dieser Quote ist eine bestimmte, mittlere Eintrittswahrscheinlichkeit immanent, ohne dass sie explizit beziffert ist.

(6) Die Sicherheit der Speicherkraftwerksanlagen gilt in der Schweiz, gemessen an den weltweiten Bedingungen, als ausgesprochen hoch. Einen wesentlichen Beitrag leistet einmal ein Höchstmass an technischer Sorgfalt in der Projektierungsphase. Wichtige Beiträge liefern

aber auch die besonders strengen baulichen Auflagen sowie die intensiven technischen Kontrollen, die kontinuierlich während der Lebenszeit der Anlage vorgenommen werden. Diese Konditionen erlauben u.E. eine Reduktion des international ermittelten Todesfallrisikos von 1,3 Todesfälle pro GWa auf schätzungsweise 0,65 Todesfälle pro GWa.

(7) Die, wenn überhaupt, durch Versicherungsleistungen abgedeckten Kosten von Todesfällen sind - wie im Teilbericht der Prognos AG zu den externen Kosten der Stromerzeugung aus Kernenergie dargestellt - deutlich zu gering angesetzt.

Bei der Monetarisierung der Todesfälle wird analog zu dem im Teilbericht "Kernenergie" verfolgten Ansatz verfahren. Gestützt auf Ansätze der hedonistischen Preisanalyse beziffert sich hier der Wert eines Menschenlebens - gestützt auf amerikanische Untersuchungen - auf 5,5 Mio SFr.¹⁾

Damit besteht für die Schweiz ein Schadensvolumen von 3,58 Mio SFr pro GWa (1 GWa entspricht 8'760 GWh).

Die Internalisierung des oben genannten Schadensvolumens für das Todesfallrisiko ergibt damit einen Risikoaufschlag auf den von Speicherkraftwerken erzeugten Strom in Höhe von **0,0408 Rappen** pro kWh.

(8) Eine zweite Kostenkategorie bilden die **materiellen Schäden** im Zusammenhang mit Grossunfällen von Speicherkraftwerken.

Im Zuge des im Wallis eingeführten Versicherungsobligatorismus für die Betreiber von Talsperren und der Diskussion um eine bundesweite obligatorische Haftpflichtversicherung für Stauanlagen ergab eine Schätzung, dass bei einer Ausdehnung des Walliser Obligatoriums auf die gesamte Schweiz ein jährliches Prämienvolumen für die Betreiber von Talsperren in Höhe von 6 Mio SFr anfallen würde /Cerutti 1992/. Bei der Berechnung des Prämienvolumens ist seitens der Versicherungsträger eine bestimmte Annahme zur Eintrittswahrscheinlichkeit eingegangen. Über diese wollte man aber keine expliziten Angaben gegenüber der Öffentlichkeit machen.

1) Zu den methodischen Aspekten der hedonistischen Preisanalyse und den hierbei auftretenden Komplikationen siehe Teilbericht 2: Die externen Kosten der Stromerzeugung aus Kernenergie.

(9) In Diskussionen mit Experten dominierte die Auffassung, dass die diesem Prämienvolumen zugrundegelegten Deckungssummen dem effektiven Schadensvolumen bei weitem nicht entsprechen. Bei der Frage nach dem Verhältnis von zugrundegelegten Deckungssummen und effektivem Schadensvolumen bestand die Bereitschaft zu einer enumerativen Angabe zwar nicht. Die qualitativen Hinweise von Experten (nicht nur bezogen auf das vielzitierte Beispiel des Sihlsees in Verbindung mit Zürich) zu Schadenskategorien von baulicher Infrastruktur (Wohnhäuser, Wirtschaftsbauten, öffentliche Infrastruktur), zu Freisetzungsfolgen von Gefahrenquellen (insbesondere chemischer Natur) und zu Produktionsausfällen bei betroffenen Wirtschaftsbetrieben lassen eine Verhältnisquote von 4 nicht unplausibel erscheinen. Während die durch die Haftpflichtversicherung abgedeckten Schäden in Form der von den Anlagenbetreibern entrichteten Prämien internalisiert wären, müssen die zusätzlichen nicht durch die Deckungssumme abgedeckten materiellen Schäden als externe Kosten definiert werden.

Unterstellt man, das effektive Schadensvolumen gemessen an dem versicherten Schaden (Deckungssumme) läge um den Faktor 4 höher, wäre eine Versicherungsprämie pro Jahr von 24 Mio SFr fällig. Nach Abzug der 6 Mio SFr als Prämie für die obligatorische Versicherung verblieben 18 Mio SFr Versicherungsprämie pro Jahr für nicht abgedeckte materielle Schäden. Dieser Wert soll als Chiffre pro Jahr für die externen Kosten von Grossunfällen im Anlagenpark der Speicherkraftwerke der Schweiz angesetzt werden.

Umgelegt auf die jährliche Arbeit der Speicherkraftwerke der Schweiz ergäben sich **0,095 Rappen**, die dem Strompreis pro kWh in Zusammenhang mit den **materiellen Schäden** zuzuschlagen wären.

(10) Einzugehen ist nun noch auf die **immateriellen Schäden**, die mit einem Grossunfall verbunden sind. Darunter sind insbesondere Naturraumschäden (Flora und Fauna) zu verstehen. Hier kann im Gegensatz zur Berechnung der Schadenskategorien "Todesfälle" und "materielle Schäden" nicht auf Grundinformationen "mit integriertem Faktor zur Eintrittswahrscheinlichkeit" aufgebaut werden. Folglich lässt sich für die Schadenskategorie der immateriellen Schäden speziell der Naturraumschäden (Flora und Fauna) ein dem Strompreis pro kWh zurechenbarer monetärer Betrag auch nicht ermitteln. Gleichwohl soll eine ungefähre Schadensdimensionierung durchgeführt werden, um die Relevanz dieser Schadenskategorie überprüfbar zu machen.

Ausgangspunkt bildet die Fläche. Da aber die Auswirkungsradien von Staudamm-/mauerbrüchen der Schweizer Speicherkraftwerke, wie schon angemerkt, der Öffentlichkeit nicht zur Verfügung stehen, muss wiederum mit Schätzwerten gearbeitet werden.

(11) Grundgerüst für die Schätzung bildet der im Normalbetrieb (vgl. Kap. 3.2.1.2) verwendete Flächenansatz. Unterstellt wird, dass bei einem Grossunfall 10% der von den Speicherkraftwerken insgesamt beeinträchtigten "Naturraumfläche" (526 km² bzw. 1.374 km²) in Mitleidenschaft gezogen werden. Die Berechnungen konzentrieren sich damit auf die Fläche, die durch die Flutwelle überschwemmt wird. Angrenzende Bodenareale des nur im Zusammenhang mit der Speisung des Speichersees beeinträchtigten Gewässernetzes werden nicht berücksichtigt.

Die Regenerationszeit der Fauna und Flora im betroffenen Naturraum von gut 52 km² bzw. 137 km² kann anhand von Erfahrungswerten im Durchschnitt auf 10 Jahre begrenzt werden. Abweichungen vom Durchschnitt nach oben (z.B. Arvenwälder ca. 50 Jahre; Auenformationen ca. 300 bis 500 Jahre) sowie nach unten sind durchaus gegeben. Unter Ansatz des Existenzwertes von Naturraum in Höhe von 53.000 SFr/km² und des Erlebniswertes von Naturraum in Höhe von 106.000 SFr/km² ergibt sich ein Schädigungsvolumen von rund 8,3 Mio SFr bzw. 21,8 Mio SFr.

Die Internalisierung dieser Schäden ist nicht durchführbar, da keine ausreichenden Informationen zur Eintrittswahrscheinlichkeit vorliegen. Unabhängig davon ist allerdings schnell evident, dass ein kaum noch messbarer bzw. vernachlässigbarer monetärer Betrag entsteht, der dem Strompreis pro kWh zuzuschlagen wäre.

3.3 Quantifizierung und Monetarisierung externer Effekte von Laufkraftwerken

3.3.1 Bau- und Normalbetriebsphase

(1) Zwischen Lauf- und Speicherkraftwerken besteht eine gewisse Deckungsgleichheit im Spektrum von beeinträchtigten Komponenten. Die Installation und der Betrieb von Laufkraftwerken sind mit Flächenverbrauch, Eingriffen in das Gewässernetz und damit den Lebensraum von aquatischer respektive terrestrischer Fauna und Flora verbunden. Die technische Anlage stellt eine Veränderung im Landschaftsbild dar.

(2) Gemessen an den Speicherkraftwerken sind allerdings bei Laufkraftwerken die Folgeeffekte vielfach weniger gravierend und anders zu bewerten. So fällt beispielsweise der irreversible Flächenverbrauch durch überstaute Flächen relativ gering aus. Insbesondere schlägt aber folgender Aspekt zu Buche.

Zwar treten auch bei Laufkraftwerken erhebliche Veränderungen in den Abflussverhältnissen im Unter- und Oberlauf des berührten Gewässernetzes auf. Trotz Restwasserauflagen etc. vermindert sich die Fließgeschwindigkeit, es kommt zu einer mehr oder weniger ständigen Grundwasserabsenkung und damit zu Reduktionen der Bodenfeuchtigkeit in den angrenzenden Bodenarealen. Rückwirkungen auf die aquatische und terrestrische Flora und Fauna und auf die Ertragskraft tangierter "land- und forstwirtschaftlich genutzter Flächen" entstehen zwangsläufig.

Die Standorte von Laufkraftwerken konzentrieren sich dabei allerdings auf die Ebene und das Hügelland der Schweiz, Gebiete also, die traditionell bevorzugte Siedlungs- und Wirtschaftsräume sind. Beeinträchtigungen im Sinne von Schädigungen "naturbelassener Räume" sind somit für Laufkraftwerke weitgehend auszuschliessen. Die Beeinträchtigungen beziehen sich auf die "zivilisatorisch geprägte Fläche", für die in einem ersten Ansatz als externe Kosten lediglich landwirtschaftliche Ertragseinbussen berücksichtigt werden.¹⁾

(3) Unter Verwendung des in Kap. 3.2.1.2 vorgestellten Schätzansatzes ist davon auszugehen, dass rund 60 % also 350 km² bzw. 914 km² der von Wasserkraftanlagen insgesamt be-

1) Dass ein Verlust an einzelnen "Naturrauminseln" besteht, wurde schon an anderer Stelle angemerkt (vgl. Kap. 3.2.1.2 [11]). Die Bewertung dieses Gesichtspunkts sollte Gegenstand weiterer Forschungen sein.

rührten "zivilisatorisch geprägten Fläche" (583 km² bzw. 1.523 km²) auf Laufkraftwerke entfallen.

(4) Valide Informationen zu irreversiblen Ertragseinbussen, die durch Laufkraftwerke in "intensiv land- und forstwirtschaftlich genutzten" Bodenarealen verursacht werden, gibt es nicht. Auch hier sind Schätzungen erforderlich. Den Berechnungen liegt ein Durchschnittsbeitrag von 79.500 SFr/ km² (vgl. Kap. 3.2.1.2, Abs. 19) zugrunde.

1. Hochgerechnet beliefen sich damit die dauerhaften Ertragseinbussen "land- und forstwirtschaftlich genutzter Flächen" durch den Betrieb von Laufkraftwerken auf rund 27,8 bzw. 72,7 Mio SFr pro Jahr.
2. Umgelegt auf die jährliche Arbeit der Laufkraftwerke der Schweiz von 14.274 GWh (Durchschnitt 1987 bis 1991) ergäbe sich ein Aufschlag auf den Strompreis pro kWh von 0,20 bzw. 0,51 Rappen

(5) Für die mit dem **Baubetrieb** verbundenen Belastungen (Lärm, Staub etc.) und den temporären Flächenbedarf der Laufkraftwerke gelten die im Kontext der Speicherkraftwerke angestellten Überlegungen analog. Die monetären Beträge fallen allerdings so gering aus, dass sich eine differenzierte Berechnung erübrigt (vgl. dazu Kap. 3.2.1.2, Abs. 23).

3.3.2 Stör- bzw. Grossunfall

(1) Wie bei den Speicherkraftwerken richtet sich auch bei den Grossunfällen der Laufkraftwerke das Hauptaugenmerk auf die Quantifizierung und Monetarisierung von Verlusten an Menschenleben sowie auf materielle Schäden. Schädigungen des "Naturraumes" können bei Laufkraftwerken infolge der spezifischen Standortbedingungen vernachlässigt werden.

(2) Die verfügbaren Informationen zu den Schadensvolumina und dem Restrisiko von Grossunfällen (Wehrbrüchen) bei Laufkraftwerken sind noch rudimentärer als für den Betriebstypus Speicherkraftwerke. In Ermangelung spezifischen Materials werden deshalb die für die

Speicherkraftwerke vorhandenen Informationen unter Berücksichtigung von Plausibilitätsüberlegungen genutzt.

(3) Mit Wehrbrüchen von Laufkraftwerken ist ein mehr oder minder grosser Verlust an **Menschenleben** verbunden. Selbst wenn man unterstellt, dass das Restrisiko von Wehrbrüchen niedriger liegt als das von Staudamm-/mauerbrüchen spricht die Lage der Laufkraftwerke in vielfach dicht besiedelten Gebieten für ein annähernd gleiches Todesfallrisiko, also 0,65 Todesfälle pro Gwa.

Legt man den mit Hilfe der hedonistischen Preisanalyse bezifferten "Wert eines Menschenlebens" mit 5,5 Mio SFr zugrunde, ergibt sich für die Schweiz ein Schadensvolumen von 3,58 Mio SFr. pro Gwa bzw. pro 8.760 GWh (1 Gwa entsprechen 8.760 GWh).

Die Internalisierung des genannten Schadensvolumens für das **Todesfallrisiko** ergibt damit einen Preisaufschlag auf den von Laufkraftwerken erzeugten Strom in Höhe von **0,0408 Rappen pro kWh**.

(4) Die Quantifizierung und Monetarisierung **materieller Schäden** als Folge von Wehrbrüchen gestaltet sich ebenso schwierig. Ein Berechnungsansatz über die Versicherungsprämien wie er bei den Speicherkraftwerken vorgenommen wurde, scheidet zunächst daran, dass für Laufkraftwerke eine Globalangabe (Schätzung) des Prämienvolumens für die von der Haftpflichtversicherung gedeckte Schadenssumme nicht vorliegt.

(5) Nach Aussagen der Versicherungswirtschaft kann approximativ angenommen werden, dass die von der Haftpflicht gedeckten Schadensvolumina bei Laufkraftwerken etwa ein Viertel der bei Speicherkraftwerken gedeckten Schadensvolumina ausmachen. Bezieht man diese Quote auf die für die Speicherkraftwerke geschätzte Gesamtversicherungsprämie von 6 Mio SFr pro Jahr, ergibt sich ein Äquivalent für die Laufkraftwerke in Höhe von 1,5 Mio SFr.

(6) Unterstellt man, dass das effektive Schadensvolumen gemessen an dem versicherten Schaden (Deckungssumme) bei Laufkraftwerken analog zu den Speicherkraftwerken um den

Faktor 4 höher liegt (vgl. Kap. 3.2.2), wäre für Laufkraftwerke eine Versicherungsprämie pro Jahr von 6 Mio SFr zu entrichten. Nach Abzug der Versicherungsprämie für die obligatorische Haftpflichtversicherung (internalisiert) verblieben 4,5 Mio SFr pro Jahr für nicht abgedeckte materielle Schäden, d.h. externe Kosten.

Legt man diese jährlichen externen Kosten für **materielle Schäden** eines Wehrbruchs auf die jährliche Arbeit der Laufkraftwerke der Schweiz von 14.274 GWh (Durchschnitt der Jahre 1987 bis 1991) um, ergäbe sich ein Zuschlag von **0,032 Rappen** pro kWh auf den Strompreis.

4. ERGEBNISÜBERSICHT UND ZUSAMMENFASSENDER BEWERTUNG

(1) Die nachfolgende Übersicht fasst die Einzelschätzungen zu den externen Kosten der Wasserkraftnutzung zusammen. Aus den Erläuterungen insbesondere des dritten Kapitels ist dabei unübersehbar, dass es sich bei diesen Zahlenangaben um sehr grobe, erste Schätzungen handelt. Weder gibt es genauere - und vor allem flächendeckende - Angaben zu den Naturraumschäden im Normalbetrieb, noch ist die Frage der monetären Bewertung dieser Schäden (mit Hilfe von Zahlungsbereitschaftskonzepten) geklärt. Auch die Untersuchungen über den Ablauf und die Eintrittswahrscheinlichkeit von Grossunfällen sind rudimentär.

(2) Das Unterfangen einer Quantifizierung und Monetarisierung der externen Kosten im Zusammenhang mit der Wasserkraftnutzung zur Stromerzeugung für den gesamten Anlagenpark eines Landes ist ein Novum. Die vorliegende Untersuchung ist daher nur als erster Versuch zu werten.

Aber: Selbst wenn man berücksichtigt, dass bei der Quantifizierung und Monetarisierung die Schadenskategorien nicht flächendeckend erfasst werden konnten, zudem mit zahlreichen Schätzungen gearbeitet werden musste, die noch viele Wünsche nach wissenschaftlich abgesicherter Genauigkeit offenlassen, bleibt festzuhalten:

- Die Nutzung der Wasserkraft zur Energieerzeugung gilt bis heute speziell unter Umweltsichtspunkten als ideale weil unverfängliche Technologie. Sie wird im Vergleich zur Kernenergie als risikoarm und im Vergleich zur thermischen Energie als emissionsarm eingestuft. Sie verursacht keinen irreversiblen Verbrauch von Primärenergieträgern.
- Erst in neuester Zeit wächst die Sensibilisierung gegenüber der Wasserkraft. Die der Wasserkraft attestierte Eigenschaft einer regenerativen Energie hat teilweise den Blick dafür verstellt, dass mit dieser Technologie ein starker Eingriff in den Naturhaushalt mit zum erheblichen Teil irreversiblen Folgeschäden verbunden ist.
- In der Energiediskussion finden diese Überlegungen zwar zunehmend Eingang, allerdings ohne sich dabei auf eine valide Basis stützen zu können.

Die vorliegende Untersuchung kann vor diesem Hintergrund nicht den Anspruch erheben, definitiv abgesicherte monetäre Beträge bereitzustellen. Der Wert der Untersuchung liegt vielmehr darin, erste methodische Ansätze für eine Monetarisierung aufzuzeigen, die belegen können, dass die externen Kosten der Wasserkraftnutzung eine keinesfalls zu vernachlässigende Grössenordnung darstellen. Zugleich gibt die Untersuchung Hinweise auf den dringenden Forschungsbedarf in verschiedenen Feldern der Quantifizierungs- und Monetarisierungsprozeduren.

Übersicht 2: Externe Kosten der Wasserkraftnutzung

1. Speicherkraftwerke

1.1	Bauphase	vernachlässigbar (0,0086 Rp/kWh)
1.2	Normalbetriebsphase	
	— Naturraumschäden	0,4 bzw. 1,2 Rp/kWh
	— landwirtschaftliche Ertragseinbussen	0,1 bzw. 0,2 Rp/kWh
1.3	Stör- und Grossunfall	
	— Menschenleben	0,0408 Rp/kWh
	— materielle Schäden	0,095 Rp/kWh
	— immaterielle Schäden	nicht internalisierbar, jedoch vernachlässigbar

2. Laufkraftwerke

1.1	Bauphase	vernachlässigbar
1.2	Normalbetriebsphase	
	— Naturraumschäden	nicht vorhanden
	— Landwirtschaftliche Ertragseinbussen	0,20 bzw. 0,51 Rp/kWh
1.3	Stör- / Grossunfall	
	— Menschenleben	0,0408 Rp/kWh
	— materielle Schäden	0,032 Rp/kWh
	— immaterielle Schäden	nicht vorhanden

Literatur

- Biedermann, R. (Bundesamt für Wasserwirtschaft, Bern): Sicherheit der Stauanlagen, Arbeitspapier v. 9. Juli 1991
- Biedermann, R. (Bundesamt für Wasserwirtschaft, Bern): Sicherheit der Stauanlagen - Prinzip des Wasseralarms, Arbeitspapier April 1993
- Bundesamt für Energiewirtschaft: Schweizerische Elektrizitätsstatistik 1991, Bern, 1992
- Bundesamt für Statistik: Statistisches Jahrbuch der Schweiz, 1993
- Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft: Hydrologischer Atlas der Schweiz, 1992
- Bundesamt für Wasserwirtschaft: Statistik der Wasserkraftanlagen der Schweiz, Bern, 1.5.1987
- Cerutti, H.: Wie sicher sind die Schweizer Staudämme?, in: Neue Zürcher Zeitung Nr. 128 v. 4.6.1992
- Eidg. Verkehrs- und Energiewirtschaftsdepartement (Hrsg.): Möglichkeiten des Ausbaus der Wasserkraftnutzung in der Schweiz, Expertengruppe Energieszenarien, Schriftenreihe Nr. 1, Bern, 1987
- Fritzsche, A.F. et al.: Risiken von Energieversorgungssystemen, Studie zu Handen der Expertengruppe Energieszenarien (Bundesamt für Energiewirtschaft, Bern), Schriftenreihe Nr. 21, 1988
- Hampicke, U. et al.: Kosten und Wertschätzung des Arten- und Biotopschutzes, Studie im Auftrag des Umweltbundesamtes, FuE-Vorhaben Nr. 101 03 110-04, Kassel, Hannover, Berlin, 1991
- Holm-Müller, K. et al.: Die Nachfrage nach Umweltqualität in der Bundesrepublik Deutschland, Studie im Auftrag des Umweltbundesamtes, FuE-Vorhaben 101 03 110-11, Berlin 1991
- INFEL-Informationsstelle für Elektrizitätsanwendung (Hrsg.): Strom aus Wasser - Die Nutzung der Wasserkraft in der Schweiz, 4. Auflage, Zürich 1983
- International Commission on large dams: Dams and the environment, Bulletin 35, June 1980
- International Commission on large dams: Dams and the environment, Bulletin 65, 1988

- Kallenbach, U.; Thöne, E.: Gesundheitsrisiken der Stromerzeugung, in: Schriftenreihe Energiesysteme, Energiewirtschaft und Umwelt, Institut für Kernenergetik und Energiesysteme der Universität Stuttgart (Hrsg.), Köln 1989
- Klockow, S. et al.: Volkswirtschaftliche Kosten durch Beeinträchtigung des Freizeit- und Erholungswertes aufgrund der Umweltverschmutzung in der Bundesrepublik Deutschland, Untersuchung der Prognos AG im Auftrag des Umweltbundesamtes der Bundesrepublik Deutschland, FuE-Vorhaben Nr. 101 03 100-06, Basel/Berlin 1990
- National Research Council: Energy and the fate of ecosystems, Study of Nuclear and Alternative Energysystems, Supporting Paper 8, National Academy Press, Washington D.C., 1980
- Nielsen, C.: Der Erholungswert stadtnaher Wälder im Kanton Tessin - Eine ökonomische Analyse am Beispiel Lugano, in: Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft "BUWAL" (Hrsg.), Schriftenreihe Umwelt Nr. 146, Bern, Mai 1991
- Nohl, W.: Konzept zur Erfassung und Bewertung landschaftsästhetisch wirksamer Strukturen, in: W. Harfst/H. Scharf: Landschaftsplanerische Modelluntersuchung Flurbereinigung Dill-Sohrschied, im Auftrag des Ministeriums für Landwirtschaft, Weinbau und Forsten Rheinland-Pfalz, Mainz 1985
- Prognos AG: Identifizierung und Internalisierung externer Kosten der Energieversorgung, Hauptbericht, Stuttgart, 1992
- Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband (Hrsg.): Sicherheit von Schweizer Talsperren, Baden, Dezember 1986
- Spreng D.: Bemerkungen zu externen Effekten durch die Energiegewinnung aus Wasserkraft, in Prognos Schriftenreihe: Identifizierung und Internalisierung externer Kosten der Energieversorgung, Basel, April 1992
- Vischer, D.: Die Auswirkungen alpiner Speicherseen auf die Umwelt, in: Pro Aqua - Pro Vita 80 (Hrsg.), 8. Internationale Fachmesse und Fachtagungen für Umweltschutz Basel 1980, Band 8 C, Fachtagung III, Die Auswirkungen alpiner Speicherseen auf die Umwelt
- Weingartner, R.: Beeinflussung der Fließgewässer durch Kraftwerke und Seen (Atlas-Tafel 5,3), Kurzfassung des Referats anlässlich Pressekonferenz "Hydrologischer Atlas der Schweiz" am 21. August 1992

Berichte zur Umweltverträglichkeit von Wasserkraftanlagen:

EWI AG: Saisonspeicherwerk Curciosa, Misoxer Kraftwerke AG, Bericht zur Umweltverträglichkeitsprüfung, März 1997

EWI AG: Projet de surélévation du barrage de Mauvoisin, Forces Motrices de Mauvoisin S.A., Analyse des effets sur l'environnement, Oct. 1987

MOTOR COLUMBUS: Ausbau der Wasserkräfte im Lugnez mit Speicher Lampertschalp, Kraftwerke Sernf-Niedererbach AG, St. Gallen, Umweltverträglichkeitsbericht, Mai 1988

MOTOR COLUMBUS: Kraftwerk Landquart AG, Bündner Kraftwerke, Klosters, Konzessionsprojekt 1982, Bericht zur Umweltverträglichkeit, Pflichtenheft für die Hauptuntersuchungen, Mai 1987

SIGMAPLAN: Kraftwerke Oberhasli AG (KWO), Umweltverträglichkeitsbericht zum Ausbauprojekt der KWO, Juni 1989

LANG, O.: Neubau und Erweiterung Flusskraftwerk Wynau/Aare, Ökologische Risikoanalyse, Umweltverträglichkeitsprüfung, Kurzbericht, Juni 1987