

Energiebilanzen von Klein- Wasserkraftwerken

Energierückzahldauer - Energieerntefaktor

Autoren: *W. Baumgartner
G. Doka
c/o basics AG, Zürich*

1996 / Bestellnummer EDMZ: 805.760d

Projektleitung DIANE Klein-Wasserkraftwerke:

**Hanspeter Leutwiler
c/o ITECO Ingenieurunternehmung AG
Postfach, 8910 Affoltern am Albis
Tel. 01 - 762 18 18, Fax 01 - 762 18 15**

Impressum

Herausgeber:	Bundesamt für Energiewirtschaft, Bern, unter Mitarbeit des Bundesamtes für Wasserwirtschaft, Bern
Bearbeiter:	W. Baumgartner G. Doka basics AG, Beckenhofstr. 16, 8035 Zürich Tel.: 01 / 362 99 00
Projektbegleitung:	H. Liechti, Bundesamt für Wasserwirtschaft, Bern
Projektleitung DIANE Kleinwasserkraftwerke:	HP. Leutwiler, ITECO Ingenieurunternehmung AG, Affoltern a. Albis
Titelblatt:	F. Hartmann, St. Gallen
Copyright:	Bundesamt für Energiewirtschaft, Bern
Bezugsquellen:	Eidg. Drucksachen- und Materialzentrale, 3003 Bern Bestellnummer: SKAT, Fachstelle der Schweizerischen Entwicklungszusammenarbeit für Technologiemanagement Vadianstr. 42, 9000 St. Gallen INFOENERGIE Mittelland (Adresse siehe unten)

Information und Beratung

Information über die Fördermassnahmen des Bundes, das DIANE-Projekt Klein-Wasserkraftwerke und weitere Belange der Klein-Wasserkraftwerke erteilen die Beratungsstellen von INFOENERGIE oder die Projektleitung DIANE Klein-Wasserkraftwerke:

INFOENERGIE Nordschweiz
c/o FAT
8356 Tänikon
Tel. 052 / 368 34 85, Fax 052 / 368 34 89

INFOENERGIE Mittelland
Kindergartenstr. 1 / Postfach 310
5200 Brugg
Tel. 056 / 441 60 80, Fax 056 / 441 20 15

Raymond Chenal
Fondation MHyLab
1354 Montcherand
Tel./Fax 024 / 41 36 54

INFOENERGIE Ticino
Centrale di consulenza
sezione protezione aria e acqua
6500 Bellinzona
Tel. 091 / 804 37 55/53, Fax 091 / 804 37 36

Vorwort

Welches sind die Energiesysteme der Zukunft? Wie ist der Beitrag der Kleinwasserkraftwerke an die Energieversorgung der Schweiz ökologisch zu werten? Bisher lag zur Beurteilung dieser Fragen das Augenmerk auf dem Themenbereich der Gewässerökologie und der Landschaftspflege. Die Branche der Klein-Wasserkraftwerke argumentierte zwar mit der erneuerbaren Energie, mit der Langlebigkeit ihrer Anlagen und mit den sich daraus ergebenden Pluspunkten in bezug auf Material- und Energiebilanzen, entsprechende Zahlen standen jedoch in keiner Weise zur Verfügung.

In der Studie "Energiebilanzen von Wasserkraftwerken im Vergleich zu andern stromproduzierenden Anlagen" wurden sehr günstige Resultate für grosse Wasserkraftwerke eruiert: Die für verschiedene Kraftwerke ermittelten Energierückzahl-dauern liegen im Bereich von 0.29 bis 0.47 Jahren, die Energieerntefaktoren über die gesamte Anlagenlebensdauer im Bereich von 170 bis 280. Bei Klein-Wasserkraftwerken sind je nach Grösse und Standortgunst die Verhältnisse von Materialeinsatz zu Energieausbeute etwas ungünstiger. Für die drei in der vorliegenden Studie untersuchten Klein-Wasserkraftwerke liegen die Werte für die Energierückzahl-dauern zwischen 0.7 und 1.4 Jahren, die Erntefaktoren zwischen 87 und 188. Ein zusätzlich untersuchtes Trinkwasserkraftwerk schwingt - nicht überraschend - total obenaus: Die Rückzahl-dauer beträgt lediglich 0.08 Jahre, der Erntefaktor 583. Mit der vorliegenden im Rahmen des DIANE-Projektes Klein-Wasserkraftwerke durchgeführten Studie werden diese Verhältnisse mit dem gleichen Rechenmodell untersucht wie für die grossen Werke, um für typisch ausgewählte Anlagen zuverlässige Zahlenwerte zu erhalten.

Die Resultate bilden einen wichtigen Bestandteil der Gesamtumweltbilanz der Kleinwasserkraftwerke. Sie können dieser altbewährten Energiequelle wieder vermehrt Anerkennung verschaffen, damit sie einen Beitrag an die energiepolitischen Ziele liefert. Mit der sorgfältigen Nutzung der verschiedenen einheimischen Energiequellen kann die Schweiz als Modellfall einen nicht unwichtigen Beitrag zur Lösung der Zukunftsprobleme des globalen CO₂-Anstieges und weiterer Luftschadstoffe leisten.

Im Juni 1996

Hanspeter Leutwiler
Projektleiter DIANE
Klein-Wasserkraftwerke
c/o ITECO AG
Affoltern am Albis

Kurzportrait Projekt DIANE

Klein-Wasserkraftwerke

Das Aktionsprogramm Energie 2000 will den Energieverbrauch und den CO₂-Ausstoss stabilisieren und den Anteil erneuerbarer Energien erhöhen. Es setzt auf gemeinsames marktorientiertes Handeln von Staat, Wirtschaft und Privaten. Energie 2000 ist Wegbereiter für freiwillige und innovative Lösungen, welche betriebswirtschaftlich interessant, volkswirtschaftlich sinnvoll und ökologisch vorbildlich sind.

Im Rahmen von Energie 2000 sind sieben Projekte zum Durchbruch Innovativer Anwendungen Neuere Energietechniken mit dem Kürzel DIANE gestartet worden. Das Projekt DIANE Klein-Wasserkraftwerke (DIANE-KWK) hat zum Ziel, die Energieproduktion aus Klein-Wasserkraftwerken (KKW) zu erhalten resp. zu erhöhen, indem stillgelegte und veraltete KWK erneuert und neue Potentiale genutzt werden. Projektziel ist die Verbesserung der Rentabilität, Zunahme der Investitionsbereitschaft für KWK und die Anerkennung als Leistungsträger im nationalen Energiekonzept.

In ausgewählten Bereichen werden Potentiale untersucht und der Nutzung zugeführt:

- **Trinkwasser-Kraftwerke**

Das Potential wurde gesamtschweizerisch erfasst und die betroffenen Gemeinden darauf hingewiesen. Mit einer Dokumentation und einer Reihe gut besuchter regionaler Fachtagungen wird zur Erschliessung dieses namhaftesten aller Potentiale für Klein-Wasserkraftwerke ermutigt.

- **Abwasser-Kraftwerke**

Als weltweites Novum wird das Turbinieren von überschüssigem Druck im Abwasserleitungen systematisch gefördert. Das Vorgehen ist analog zu den Trinkwasser-Kraftwerken.

- **Kleinstkraftwerke**

Der Bau wird mit einer illustrierten Beispielsammlung und Bezeichnung von mehr als 70 über die ganze Schweiz verteilten Demonstrationsanlagen sowie mit Tagungen unterstützt.

- **Stillgelegte und veraltete Kraftwerke**

Mit einer von DIANE ausgearbeiteten Methode kann ein interessierter Bauherr ohne Beizug eines teuren Fachmannes grob abschätzen, wie hoch die Realisierungschancen einer Reaktivierung und Erneuerung sind.

Damit die KWK neue ökologische Auflagen wirtschaftlicher erfüllen können und ihre Akzeptanz im Bewilligungsverfahren steigt, wurden verschiedene ökologische Teilprojekte gestartet:

- **Situationsanalyse**

Eine Arbeitsgruppe aus Fachleuten der Biologie und Limnologie untersucht die gewässerökologischen Probleme und zeigt Lösungswege auf.

- **Schwemmgut**

Bei Anlagen im Mittelland kann die Entsorgungspflicht für Schwemmgut aus den Rechenanlagen zu einer wesentlichen finanziellen Belastung und zu Energieeinküben führen. Dieses Problem wird mit einer Analyse typischer Fälle, mit allgemeinen Hinweisen und mit Verbesserungen an einer Pilotanlage angegangen, wo die Fassung hinsichtlich Geschwemmsel-Abweisung optimiert wurde.

- **Kontinuum**

Mit kostengünstig realisierbaren Verbesserungen an Aufstiegshilfen für Fische und Kleinlebewesen wird das häufigste Gegenargument gegen KWK entschärft, sie würden Lebensräume zerstückeln.

- **Gesamtökologische Bilanz**

In einer Schlusspublikation werden alle positiven und negativen Aspekte der KWK im Spannungsfeld von Umwelt, Energie und Wirtschaft aufgezeigt und Lösungen für Probleme angegeben.

Die Ergebnisse werden systematisch umgesetzt mit:

- breiter Öffentlichkeitsarbeit
- einer Publikationsreihe DIANE-KWK mit einem ansprechenden Erscheinungsbild
- individueller Information, Kurzberatung mit Grobanalysen von Standorten und Anlagen. Dabei werden auch die Ergebnisse anderer Fördermassnahmen des Bundes umgesetzt, wie die Publikationen des Projektes PACER-Kleinkraftwerke und die Projektunterstützung durch Förderbeiträge des Bundes.
- Ausstellungskongress kleine und mittelgrosse Wasserkraftanlagen, 10.-13. Juni 1997, Bern.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	Z-1
1. Einleitung	1
2. Methodische Festlegungen	3
2.1. Energieflüsse	3
2.2. Definitionen von Energiekennzahlen	5
2.3. Zusammenzählen von Energieflüssen	6
2.4. Systemunterscheidungen	8
2.5. Darstellung der Untersuchungsergebnisse	9
3. Hochdruck-KWK Chamapagna Samedan	11
3.1. Anlagenbeschreibung	11
3.2. Anmerkungen zur Bilanzierung	11
3.3. Ergebnisse	12
4. KWK Obermühle Baar	15
4.1. Anlagenbeschreibung	15
4.2. Anmerkungen zur Bilanzierung	16
4.3. Ergebnisse	19
5. KWK Mühlbach Burgdorf	23
5.1. Anlagenbeschreibung	23
5.2. Anmerkungen zur Bilanzierung	23
5.3. Ergebnisse	24
6. Trinkwasserkraftwerk Buechetsmatt-Sarnen	29
6.1. Anlagenbeschreibung	29
6.2. Anmerkungen zur Bilanzierung	29
6.3. Ergebnisse	30
7. Glossar	35
8. Bibliographie	37

Zusammenfassung

In der vorliegenden Studie werden vier Kleinwasserkraftwerke bezüglich ihrer Energiebilanz untersucht. Es handelt dabei sich um eine Ergänzungsstudie zur Untersuchung "Energiebilanzen von Wasserkraftwerken im Vergleich zu andern stromproduzierenden Anlagen" (IBFG 1995). Die Energiebilanz der vier Kleinwasserkraftwerke wurde nach exakt derselben Methodik ermittelt. Hauptsächlich interessieren dabei die folgenden Energieströme:

- Der **indirekte Energieinput** (E_{indirekt}) bezeichnet die Endenergieaufwendungen, die ursächlich mit dem Anlagebau, dem Betrieb und dem Abbruch der Anlage zusammenhängen. Bei anderen, nicht erneuerbaren Energiequellen wäre hierzu noch die kommerziellen Bereitstellung des verarbeiteten Energieträgers dazuzurechnen. Für Wasserkraftwerke entfällt diese Aufwendung.
- Vom indirekten Energieinput unterschieden wird der **direkte Energieinput** (E_{in}), welcher die Energie bezeichnet, die im Energieträger steckt, der in der Anlage verarbeitet wird.
- Die dritte Grösse ist der **Energieoutput** (E_{out}), welcher die von der Anlage bereitgestellte Endenergie bezeichnet.
- Schliesslich wird mit **Energieverlust** (E_{Verlust}), jene Energie bezeichnet, die das System ungenutzt verlässt, etwa die nichtausgenutzte Energie bei der Umwandlung von der potentiellen Energie der Wassers in elektrische Energie (Abwärme) oder jene Energie, die zur Herstellung der verwendeten Baumaterialien aufgewendet werden musste und nicht zurückgewonnen werden kann.

Alle diese Energieströme verstehen sich für den Zeitraum der gesamten Lebensdauer des Kraftwerkes bzw. der Anlage. Aus diesen Energieströmen werden nun drei Energiekennzahlen gebildet:

- Der **Erntefaktor (EF)** berechnet sich als das Verhältnis von Energieoutput zu indirektem Energieinput ($EF = E_{\text{out}} / E_{\text{indirekt}}$). Der Erntefaktor gibt an, wieviel mal mehr Energie von der Anlage produziert wird, als für die Anlage indirekt aufgewendet wurde.
- Der **Gütefaktor (GF)** ist ähnlich wie der Erntefaktor definiert, bezieht aber auf der Inputseite auch den direkten Energieinput mit ein, d. h. jene Energie, die z. B. bei einem fossil-thermischen Kraftwerk im Brennstoff steckt: $GF = E_{\text{out}} / (E_{\text{indirekt}} + E_{\text{in}})$. Der Gütefaktor ist damit eine Art Wirkungsgrad, der wegen der Berücksichtigung des indirekten Energieinputs aber eine umfassendere Kennzeichnung darstellt. Da der direkte Energieinput bei erneuerbaren Energiequellen durch einen nichtkommerziellen Energieträger erfolgt, wird dieser nicht berücksichtigt. Für erneuerbare Energiesysteme gilt daher Erntefaktor = Gütefaktor.
- Die **Energierückzahldauer (RZD)** lehnt sich ebenfalls an den Erntefaktor an und bezeichnet die Zeitdauer in Jahren, während der die Anlage betrieben werden muss, um die indirekt investierte Energie zu amortisieren. Sie berechnet sich wie folgt:
$$RZD = \text{Anlagenlebensdauer} / EF = E_{\text{indirekt}} \times \text{Anlagenlebensdauer} / E_{\text{out}}$$

In Tabelle Z-1 sind die untersuchten Kraftwerke aufgeführt.

Tab. Z-1: Überblick über die untersuchten Anlagen

	Champagna Samedan	Obermühle Baar	Mühlibach Burgdorf	Buechetsmatt Sarnen
Nennleistung (kW)	361	150	70	18.5
Jahresproduktion (kWh)	1'978'000	800'000	547'000	117'700
Gefälle (m)	358	7	ca. 1.7	70
Wasserezuführung	Hochdruck- leitung	Gewerbe- kanal	Gewerbe- kanal	Trinkwasser- leitung
Lebensdauer (Jahre)	80	80	70	30
Anlagentyp	Kleinwasser- kraftwerk	Kleinwasser- kraftwerk	Kleinwas- ser- kraftwerk	Trinkwasser- kraftwerk

Die Tabelle Z-2 und die Figuren Z-1 und Z-2 zeigen die ermittelten Ernte- resp. Gütefaktoren sowie die Energierückzahldauern. Hierbei werden zwei Fälle unterschieden. Im ersten Fall wird die Elektrizität gleich wie die Brennstoffe bewertet (vgl. die mit "Summe 1" überschriebene Kolonne in Tabelle Z-2), im zweiten Fall wird die Elektrizität gegenüber Brennstoffen um den Faktor 2.67 höher bewertet (vgl. die mit "Summe 2" überschriebene Kolonne in Tabelle Z-2). Dieser Faktor entspricht einem typischen Wirkungsgrad von 37.5 % für die fossil-thermische Erzeugung von Elektrizität. Beim quantitativen Vergleich mit anderen Studien ist die Möglichkeit der unterschiedlichen Bewertung der Elektrizität unbedingt zu beachten. Die Figuren Z-1 und Z-2 beziehen sich ausschliesslich auf den Fall, bei dem die Elektrizität um den Faktor 2.67 höher bewertet wird.

Tab. Z-2: Überblick über die Resultate

Anlage		Summe 1	Summe 2
Champagna Samedan	Erntefaktor	113	188
	Gütefaktor	113	188
	Rückzahldauer	0.7	0.4
Obermühle Baar	Erntefaktor	79	130
	Gütefaktor	79	130
	Rückzahldauer	1.0	0.6
Mühlibach Burgdorf	Erntefaktor	48	87
	Gütefaktor	48	87
	Rückzahldauer	1.4	0.8
Buechetsmatt Sarnen	Erntefaktor	364	538
	Gütefaktor	364	538
	Rückzahldauer	0.08	0.06

Fig. Z-1: Erntefaktoren (= Gütefaktoren)
Elektrizität gegenüber Brennstoffen um den Faktor 2.67 höher bewertet

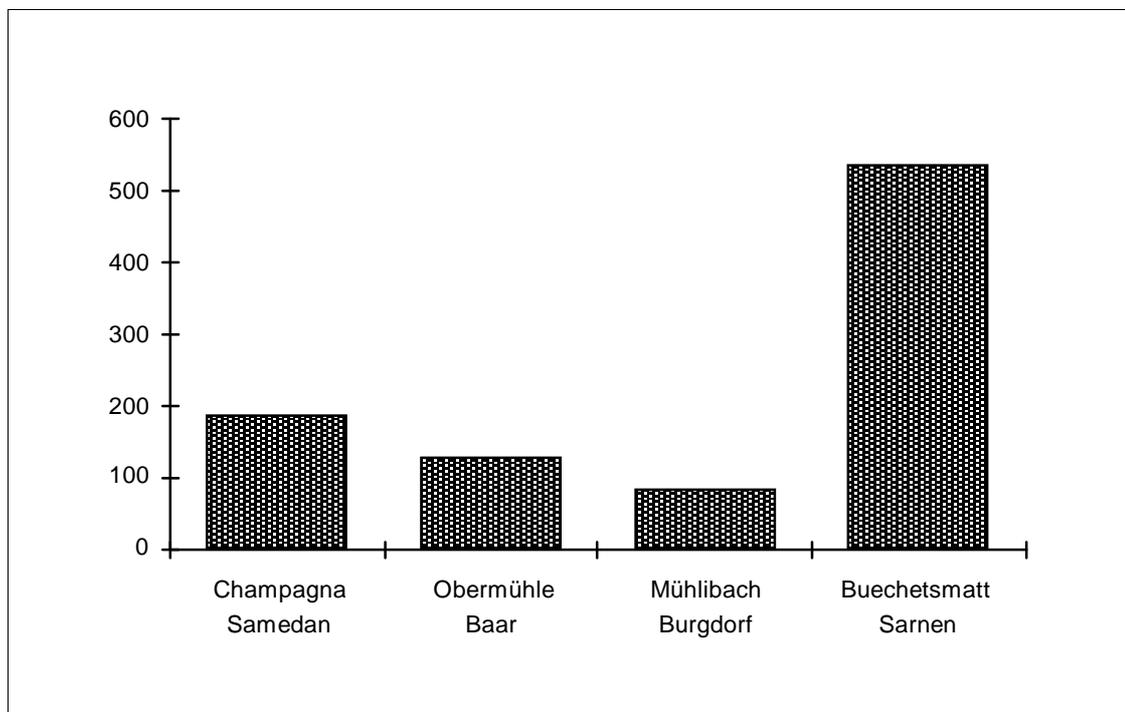
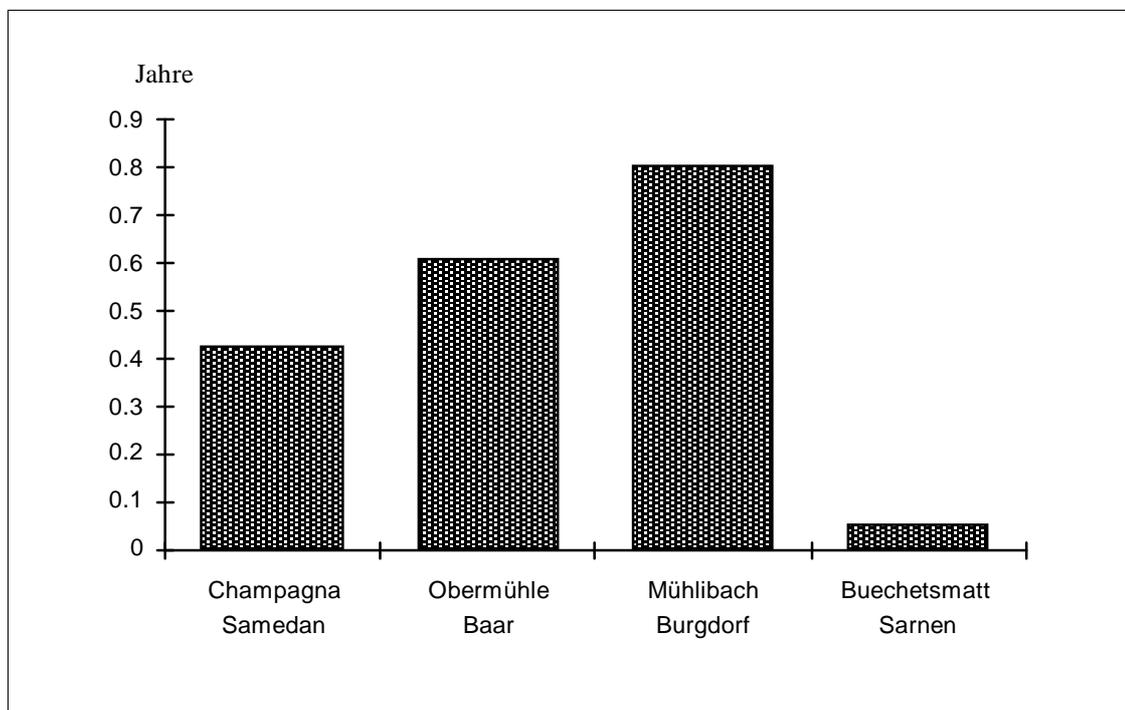


Fig. Z-2: Energierückzahldauern in Jahren
Elektrizität gegenüber Brennstoffen um den Faktor 2.67 höher bewertet



Die Erntefaktoren sind über einen weiten Bereich verteilt. Die Anlagen Obermühle-Baar und Mühlbach-Burgdorf können vom Anlagentyp her noch am ehesten als vergleichbar gelten. Sie sind bachgespiesene Kleinwasserkraftwerke und besitzen relativ niedere Erntefaktoren von gemittelt 110 (± 20). Das andere Kleinwasserkraftwerk, Champagna-Samedan, ist ein Hochdruckkraftwerk und besitzt einen höheren Erntefaktor von 188. Diese Resultate zeigen eine zu erwartende, qualitative Gleichläufigkeit mit den Resultaten der Vorgängerstudie (IBFG 1995). Die dort untersuchten Grosswasserkraftwerke ergaben für Flusskraftwerke gemittelte Erntefaktoren von rund 175; für Speicher- resp. Hochdruckkraftwerke knapp 250.

Der relativ niedrige Erntefaktor des Kleinwasserkraftwerkes Mühlbach-Burgdorf von 87 resultiert aus einem ertragsschwachen Standort und einem Mehraufwand, weil die Anlage als Demonstrationsobjekt genutzt wird. Der Erntefaktor erhöht sich bei einer weniger aufwendigen Anlage auf 96.

Auffällig ist das hervorragende Resultat für das Trinkwasserkraftwerk Buechetsmatt-Sarnen. Der Erntefaktor von 538 beträgt fast das Doppelte des Erntefaktors des Speicherkraftwerks Tinzen. Dieses war mit einem Erntefaktor von 280 die beste Anlage in der Vorgängerstudie (IBFG 1995). Obwohl Buechetsmatt-Sarnen die meiste Zeit suboptimal, d.h. unterhalb des Nennbetriebes läuft, profitiert das Werk von der ohnehin vorhandenen Infrastruktur der Trinkwasserversorgung. Selbst wenn im Rahmen einer Sensitivitätsanalyse den Bauaufwand für die Rohrleitung und das Maschinenhaus der Stromproduktion anlastet, erreicht der Erntefaktor immer noch einen Wert von 339. Das ist noch immer fast das Doppelte des für Champagna-Samedan ermittelten Wertes von 188.

Die Betrachtung von Energierückzahldauern ergibt im Wesentlichen dasselbe Bild wie bei den Erntefaktoren. Obwohl die Lebensdauer von Buechetsmatt-Sarnen weniger als die Hälfte der anderen Anlagen beträgt, schneidet sie im Vergleich mit Abstand am besten ab.

Es scheint im übrigen plausibel, dass Trinkwasserkraftwerke prinzipiell höhere Erntefaktoren aufweisen sollten als herkömmliche Kleinwasserkraftwerke, indem ein grosser Teil der Anlagen-Aufwendungen dem Trinkwasser und nicht der Elektrizität angelastet werden können.

1. Einleitung

In der vorliegenden Studie wird die Energiebilanz von Kleinwasserkraftanlagen untersucht. Es handelt sich um eine Zusatzarbeit zu dem im Auftrag vom Bundesamt für Wasserwirtschaft (BWW) verfassten Studienbericht Nr. 5/95 "Energiebilanzen von Wasserkraftwerken in Vergleich mit anderen stromproduzierenden Anlagen" (IBFG 1995). In diesem vorhergehenden Bericht wurden unter anderem Grosswasserkraftwerke mit Nennleistungen von über 13 MW untersucht. In der vorliegenden Studie geht es nun um vier Beispiele von schweizerischen Kleinwasserkraftwerken mit Nennleistungen unter 0.36 MW.

An dieser Stelle möchten wir den ausführenden Ingenieurbüros bzw. den Bauleitungen der vier Werke einen ganz besonderen Dank aussprechen. Ohne ihre Mithilfe (vor allem bei der Ermittlung der Bauaufwendungen) hätte die vorliegende Arbeit nicht gelingen können. Unser Dank gilt speziell Herrn Burger in Sarnen sowie den Firmen ITECO AG in Affoltern a. A., Markwalder und Partner AG in Burgdorf, Straub AG in Chur.

Der Bericht gliedert sich wie folgt: Kapitel 2 gibt einen knappen methodischen Überblick, die Kapitel 3 bis 6 widmen sich den vier untersuchten Kleinwasserkraftwerken; im Kapitel 7 werden die wichtigsten Begriffe erläutert (Glossar) und Kapitel 8 enthält schliesslich die Biographie.

2. Methodische Festlegungen

Vorgehen und Methodik der vorliegenden Studie decken sich voll und ganz mit denjenigen der Vorgängerstudie (IBFG 1995). Hier werden deshalb lediglich die für ein korrektes Verständnis der Resultate wichtigsten Punkte resümiert. Für eine ausführliche Darstellung ist die Vorgängerstudie heranzuziehen.

2.1 Energieflüsse

Es werden vier Energieflüsse im Zusammenhang mit einem Kraftwerk unterschieden.

- der **direkte Energie-Input**, d. h. der Energiefluss von der "Energiequelle", etwa die einfallende Sonnenenergie, das zu verbrennende Öl oder hier die potentielle Energie des Wassers: E_{in} ,
- der **indirekte Energie-Input**, d. h. der Energieaufwand für die Förderung, die Bereitstellung und den Transport der Energie zum Kraftwerk sowie die für den Bau, den Betrieb, den Abbruch und die Entsorgung des Kraftwerks nötige Energie: $E_{indirekt}$,
- der **Energie-Output**, d. h. der Energiefluss der produzierten Energie: E_{out} ,
- der Energiefluss der **Verluste**, d. h. die nicht ausgenutzte Energie bei der Umwandlung von potentieller in elektrische Energie (Abwärme) oder jene Energie, die zur Herstellung der verwendeten Baumaterialien aufgewendet werden musste und nicht zurückgewonnen werden kann: $E_{Verlust}$.

Alle vier Energieflüsse verstehen sich als Summe der Flüsse während der gesamten Anlagelebensdauer. Diese Energieflüsse werden in Joule (abgekürzt J) oder Kilowattstunden (abgekürzt kWh) gemessen¹.

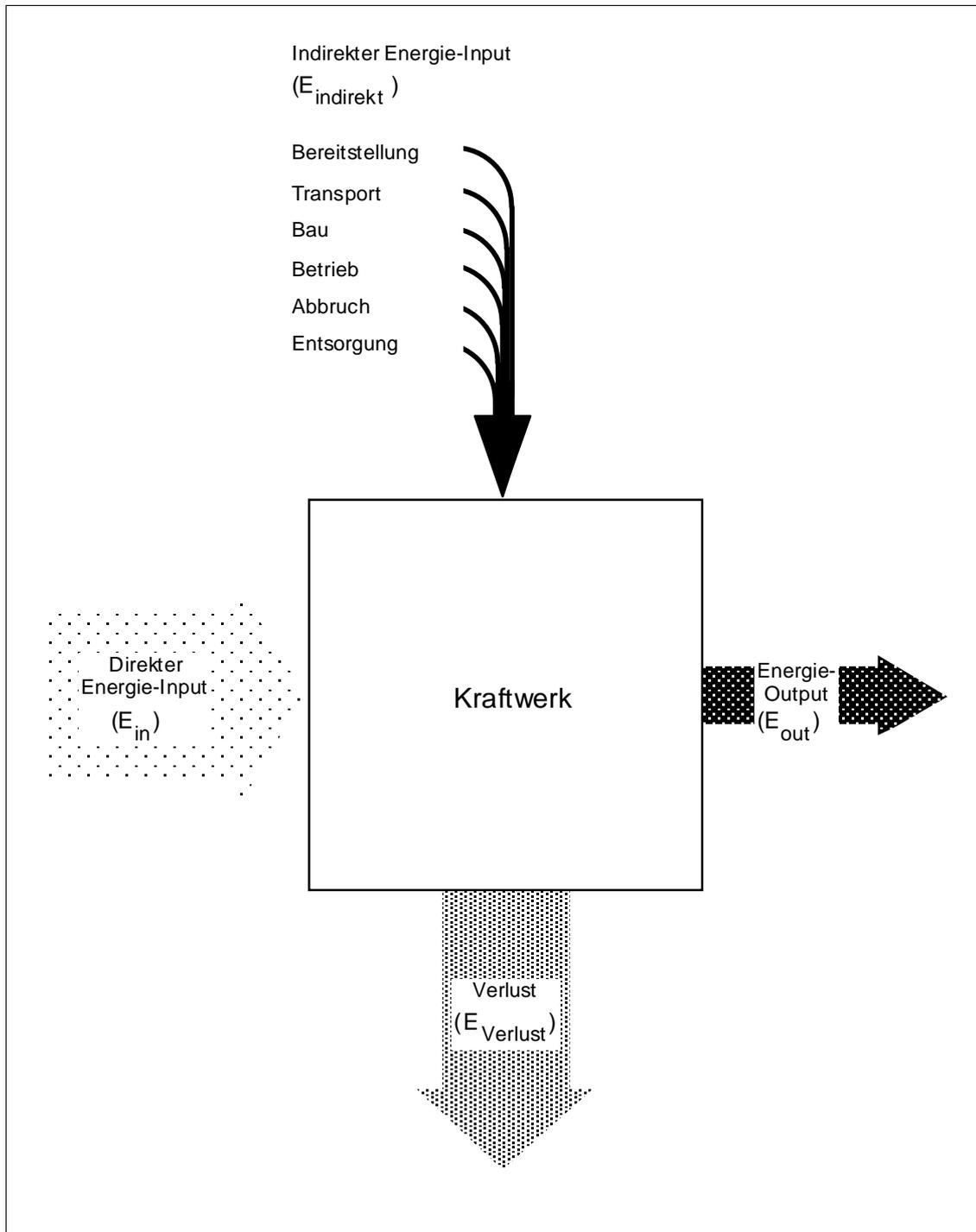
Gemäss dem ersten Hauptsatz der Thermodynamik gilt für ein abgeschlossenes System, dass Energie nicht vernichtet werden kann und – wenn Energiespeicherung ausgeschlossen wird – die Summe der einflussenden Energieströme gleich der Summe der abfliessenden Energieströme sein muss. Im vorliegenden Fall bedeutet das:

$$E_{in} + E_{indirekt} = E_{out} + E_{Verlust}$$

Zur Veranschaulichung wurde für alle Kraftwerke ein Energieflussdiagramm wie in Fig. 21 erstellt. Die Dicke der Pfeile entspricht dabei dem unbewerteten, physikalischen Ausmass der Energieflüsse. Die Darstellung drückt den Energieerhaltungssatz für die Kraftwerkanlage aus.

¹ Es gilt: 1 J = 1 Ws, 1 kWh = 3.6 Mio Ws = 3.6 Mio J, 1 TJ = 277'778 kWh.

Fig. 2-1: Die grundlegenden Energieflüsse in einem energieerzeugenden Prozess
(Erläuterungen im Text)



Die indirekte und die produzierte Energie beziehen sich auf Endenergieflüsse, d.h. auf "kommerzialisierte" Energieformen wie Elektrizität, raffinierte Brenn- und Treibstoffe. Der direkte Energieinput bezieht sich auf die der natürlichen Umwelt entnommene potentielle Energie des Wassers. Die direkte Energie ist hier also eine frei verfügbare, "nicht-kommerzielle" Energieform.

Unter der indirekten Energie werden alle ursächlich durch den Kraftwerksbau, -betrieb und -entsorgung verursachten Energieaufwendungen verstanden. Darin enthalten sind nicht nur die unmittelbar auf der Baustelle eingesetzten Quantitäten an Strom und Brennstoffen, sondern auch die "versteckten" oder "grauen" Energieaufwendungen zur Herstellung von Beton, Stahl etc., die für die Anlage benötigt werden. Die Endenergieaufwendungen für verschiedene Materialien wurden gemäss den Angaben des Ökoinventars für Energiesysteme (ESU 1994) berechnet.

2.2 Definitionen von Energiekennzahlen

Basierend auf den vier Energieflüssen können verschiedene Energiekennzahlen gebildet werden. Die hier wichtigste ist der **Erntefaktor (EF)**. Für die vorliegende Studie wird er wie folgt definiert.

$$EF = \frac{\text{Netto-Energie-Output während der gesamten Anlagenlebensdauer}}{\text{indirekter Energieaufwand für Bereitstellung, Bau, Betrieb, Abbruch, Entsorgung}}$$

$$EF = \frac{E_{\text{out}}}{E_{\text{indirekt}}}$$

Der Erntefaktor sagt aus, wieviel mal mehr Energie ein Kraftwerk im Verhältnis zum investierten Aufwand produziert. Bei der investierten Energie wird der direkte Energieaufwand, d.h. der Energiegehalt der verwerteten Energiequelle, nicht mitgezählt.

Der sogenannte **Gütefaktor (GF)** stellt eine Erweiterung der Definition des Erntefaktors dar, die vor allem für Kraftwerke interessant ist, die mit kommerziellen Energieträgern betrieben werden. Als investierter Aufwand wird danach nicht nur die indirekte, sondern auch die direkte Energie verstanden.

$$GF = \frac{\text{Netto-Energie-Output während der gesamten Anlagenlebensdauer}}{E_{\text{indirekt}} + \text{direkte Endenergie im konvertierten Energieträger}}$$

$$GF = \frac{E_{\text{out}}}{E_{\text{indirekt}} + E_{\text{in}}}$$

Die Idee des Erntefaktors beruht darauf, dass es z.B. keinen energetisch begründbaren Unterschied gibt zwischen dem Erdöl, welches zur Zementherstellung verbrannt wird und dem Erdöl, welches dieses Kraftwerk im Betrieb verbrennt. Der direkte Energieinput für Wasserkraftwerke ist aber, wie oben bemerkt, nicht-kommerziell. Konsequenterweise wird die direkte Energie für die Berechnung des Gütefaktors von Wasserkraftwerken nicht berücksichtigt. Somit gilt für Wasserkraftwerke und für alle erneuerbaren Energiesysteme, dass Gütefaktor und Erntefaktor identisch sind (nämlich gleich $E_{out} / E_{indirekt}$).

Der Gütefaktor wurde in der Vorgängerstudie (IBFG 1995) für alle Kraftwerke berechnet und wird hier der Vollständigkeit halber ebenfalls für alle betrachteten Wasserkraftwerke angegeben, obwohl kein Unterschied zum Erntefaktor besteht.

Die **Energierückzahldauer (ERZ)**, auch Energieamortisationszeit (EAZ) genannt, gibt die Zeit an, die das Kraftwerk in Betrieb sein muss, bis es dieselbe Menge Energie produziert hat, die für Bereitstellung, Bau, Betrieb, Abbruch und Entsorgung während der Lebensdauer investiert werden musste.

$$ERZ = \frac{E_{indirekt} \times \text{Anlagenlebensdauer}}{E_{out}} = \frac{\text{Anlagenlebensdauer}}{EF}$$

Bei Erntefaktoren, die kleiner als eins sind, wird die ERZ grösser als die Anlagenlebensdauer. Das bedeutet, dass die Anlage die investierte Energie nicht amortisieren kann.

2.3 Zusammenzählen von Energieflüssen

Wie oben erwähnt, werden sämtliche Energieflüsse in J (oder äquivalent dazu in kWh) gemessen. Damit kann man verschiedene Energieflüsse numerisch einfach zusammenzählen. Dies ist das Vorgehen der schweizerischen Gesamtenergiestatistik zur Ermittlung des Endenergieverbrauchs². Der Endverbrauch setzt sich aus verschiedenen Rohölprodukten, aus Kohle, aus Elektrizität, aus Fernwärme u. a. zusammen. Diese aus rein energetischer Sicht korrekte "Energiebuchhaltung" hat aber verschiedene Mängel:

- Zum ersten gilt, dass verschiedene Energieformen aus **physikalischen Gründen** nicht "gleichwertig" sind. Am deutlichsten wird dies beim Vergleich einer bestimmten Energiemenge Fernwärme (etwa 3,6 Mio J, was genau einer Kilowattstunde entspricht) und der gleichen Menge Elektrizität. Wenn die Fernwärme beispielsweise auf einer Temperatur von 100 Grad Celsius angeliefert würde, könnte man damit im idealen Fall im Maximum 0,27 kWh Elektrizität erzeugen³. Umgekehrt kann man durch "Verheizen" von 1 kWh Elektrizität in einem Wider-

² Mit Endenergie wird jene Energieform bezeichnet, die dem Konsumenten effektiv zur Verfügung gestellt wird (vgl. Glossar).

³ Hierbei wird eine Umgebungstemperatur von 0 Grad Celsius angenommen. Für die Details der Ueberlegungen sei auf die einschlägige Fachliteratur verwiesen, etwa (Baehr 1990).

standsdraht 1 kWh Wärme bei 100 Grad Celsius erzeugen (mit dem Einsatz von Wärmepumpen noch mehr). Offensichtlich ist Energie in Form von Wärme weniger "wert" als Energie in Form von Elektrizität.

- Zum zweiten gilt, dass verschiedene Energieformen aus **technisch-wirtschaftlichen Gründen** nicht gleichwertig sind. Als Paradebeispiel für diese Ungleichwertigkeit gilt das Verhältnis einer Kilowattstunde eines fossilen Energieträgers (etwa Kohle, Gas, Heizöl oder Treibstoffe) im Vergleich zu einer Kilowattstunde Elektrizität. In physikalischer Hinsicht sind diese verschiedenen Kilowattstunden praktisch gleichwertig⁴, nicht aber in der Praxis der Elektrizitätserzeugung, wie Tabelle 2-1 zeigt. Die Tabelle gibt eine Uebersicht über typische Umwandlungswirkungsgrade von verschiedenen Kraftwerkstypen. Daraus geht hervor, dass man typischerweise fast drei mal mehr an (fossiler) Energie aufwenden muss, als man in Form von Elektrizität gewinnt.

Im Vergleich zu den in Tabelle 2-1 gegebenen Durchschnittswerten erreichen die neusten Gas- und Dampfturbinen-Kraftwerke allerdings Wirkungsgrade von deutlich über 50 Prozent.

- Und zum dritten müssen aus **energiewirtschaftlichen Gründen** sogar beim gleichen Energieträger unterschiedliche Wertigkeiten beachtet werden. Eine Kilowattstunde Elektrizität ist zur Zeit der Spitzenlast wesentlich wertvoller und damit teurer als während der Schwachlastzeit.

Tab. 2-1: Vergleich von typischen Wirkungsgraden für verschiedene Kraftwerkstypen zur Elektrizitätserzeugung
(deutsche Durchschnittswerte, vgl. Covelli 1992).

Kraftwerkstyp	typische Netto-Wirkungsgrade (bezogen auf den thermischen Input)
Erdgas	40 %
Heizöl	39 %
Steinkohle	37 %
Braunkohle	36 %
Kernkraftwerk	34 %

Aus den dargelegten Gründen ergibt sich ein Bewertungsproblem vor allem für die Elektrizität relativ zu den fossilen Energieträgern: Stand der heutigen (wirtschaftlichen!) Technologie ist ein Umwandlungswirkungsgrad von etwas über 30 Prozent bis etwa 50 Prozent. Wenn bei der Quantifizierung des Energieflusses E_{indirekt} (vgl. Figur 2-1) sowohl Elektrizität als auch fossile Energieträger eingehen, stellt sich die Frage,

⁴ Dies mag etwas überraschen: Tatsächlich könnte man mit einer Kilowattstunde Gas etwa eine Kilowattstunde Elektrizität erzeugen, wenn man nur eine geeignete Technologie verwenden würde (Brennstoffzelle). Dass die Aequivalenz nicht exakt ist, hat mit physikalisch-chemischen Details zu tun, die über den Rahmen der vorliegenden Ausführungen hinausgehen (Baehr 1990).

ob man diese einfach zusammenzählen oder ob man hier die Elektrizität mit einem typischen Umwandlungsfaktor stärker gewichten soll.

Eine analoge Frage stellt sich bei der Output-Energie. Es ist grundsätzlich festzulegen, ob die produzierte Elektrizität bezüglich Brennstoffen nicht genauso aufgewertet werden müsste, wie die Elektrizität beim indirekten Energie-Input.

Für die vorliegende Untersuchung wurden die folgenden **Festlegungen** getroffen:

Inputseite: Wir unterscheiden zwei Fälle: Im ersten Fall werden Brennstoffe und Elektrizität gemäss ihrem Energiegehalt (wie in der Energiestatistik) einfach zusammengezählt. Im zweiten Fall wird die Elektrizität gegenüber den Brennstoffen höher bewertet und zwar um den einheitlichen Faktor $1 / 0.375$ (≈ 2.67). Den Faktor 0.375 entnehmen wir Tabelle 2-1 als typischen Durchschnittswert für einen thermischen Kraftwerkspark. In den Sensitivitätsanalysen wird gezeigt, wie sich etwa der Erntefaktor verändern würde, wenn anstelle des genannten Faktors der Faktor 4 genommen würde, wie er beispielsweise in amerikanischen Untersuchungen oft zur Anwendung gelangt.

Outputseite: Auch auf der Outputseite unterscheiden wir die gleichen zwei Fälle. Im ersten Fall wird die Elektrizität gemäss ihrem physikalischen Energiegehalt bewertet. Im zweiten Fall wird die produzierte Elektrizität ebenfalls um den erwähnten Faktor $1 / 0.375$ (≈ 2.67) höher bewertet und wie bei der Inputseite wird eine Sensitivitätsanalyse mit dem Faktor 4 durchgeführt.

Für die auf dieser Basis errechneten Energiegrössen ergeben sich damit zwei verschiedene Resultatformen für die drei errechneten Kenngrössen (Ernte- und Gütefaktor, Energierückzahldauer):

- Im ersten Fall werden Elektrizität und Brennstoffe nicht unterschieden und mit der Elektrizität auf der Outputseite ins Verhältnis gesetzt ("Summe 1"-Kolonne in den Resultattabellen in den Kapiteln 3 bis 6).
- Im zweiten Fall wird auf der Inputseite die Elektrizität gegenüber den Brennstoffen um den erwähnten Faktor höher bewertet und mit der genau gleich höher bewerteten Elektrizität auf der Outputseite ins Verhältnis gesetzt ("Summe 2"-Kolonne in den Resultattabellen in den Kapiteln 3 bis 6).

2.4 Systemunterscheidungen

Die hier betrachteten Kleinwasserkraftwerke müssen in zwei Kategorien eingeteilt werden. Einerseits wurden Anlagen betrachtet, deren Bau und Betrieb durch die Anforderungen der Wasserkraftnutzung dominiert sind. Diese Anlagen wurden speziell und hauptsächlich zur Energieproduktion gebaut. Es handelt sich um die Kleinwasserkraftwerke (KWKW) Obermühle-Baar, Mühlibach-Burgdorf und Champagna-Samedan.

Zusätzlich wurde auch eine Anlage betrachtet, bei der die Stromproduktion als "Nebenprodukt" anfällt. Es handelt sich um das Trinkwasserkraftwerk (TWKW) Bue-

chetsmatt in Sarnen. Die Elektrizitätsproduktionsanlage wurde hier in eine bestehende Trinkwasserversorgung integriert. Der Betrieb ist auf die Bedürfnisse der Trinkwasser

versorgung ausgerichtet, und nicht auf die der Stromproduktion. Dass der Betrieb für die Elektrizitätsproduktion tatsächlich sehr günstig ausfällt, muss z. T. als ein Zufall gewertet werden.

2.5 Darstellung der Untersuchungsergebnisse

In den Kapiteln 3 bis 6 werden die drei Kleinwasserkraftwerke und das Trinkwasserkraftwerk im Detail behandelt. Die Darstellung orientiert sich dabei an folgendem Schema: Zunächst wird die Anlage beschrieben. Anschliessend folgen ergänzende Erläuterungen methodischer Art zum Vorgehen bei der Quantifizierung der Energieflüsse. Schliesslich werden in Form von standardisierten Tabellen und einer Figur (Sankey-Diagramm) die technischen Hauptdaten, die wichtigsten Ausgangsvariablen und schliesslich die Resultate dargestellt.

3. Hochdruck-KWKW Champagna Samedan

3.1 Anlagebeschreibung

Das Kleinwasserkraftwerk Champagna ersetzt, wie auch die anderen untersuchten Kleinwasserkraftwerke, eine alte Anlage. Das KWKW Champagna ist jedoch die einzige Hochdruckanlage in dieser Studie. Das erste KWKW Champagna wurde 1933 im Val Champagna oberhalb von Samedan GR gebaut und 1983 eingestellt. Die neue Anlage wurde 1993 in Betrieb genommen.

Die neue Wasserfassung wurde auf 2060 m.ü.M. etwas oberhalb der alten Wasserfassung erstellt. Eine 1580 m lange Druckleitung führt bis zum Maschinenhaus auf 1700 m.ü.M. Das Wasser wird in eine eindüsige Peltonturbine mit 361 kW Nennleistung geleitet, welche einen Synchrongenerator antreibt. Die erzeugte Elektrizität wird auf 16 kV transformiert und über ein 500 m langes, unterirdisch verlegtes Kabel ins Verteilnetz des EW Samedan eingespielen.

Im Bereich der unteren 1000 m der Druckleitung wurde im gleichen Graben eine zur Bauzeit des Kraftwerks erneuerte Trinkwasserleitung verlegt. Die Trinkwasserleitung speist ein weiteres Kraftwerk (das Trinkwasserkraftwerk Champagna II). In der vorliegenden Studie wird nur das Hochdruckkraftwerk Champagna I bilanziert.

Die technischen Hauptdaten sind in Tabelle 3-1 zusammengefasst.

Tab. 3-1: Technische Hauptdaten

Ausbauwassermenge (total)	m ³ /s	
Gefälle	m	358
Installierte Leistung (total)	kW	361
Mittlere jährliche Produktionserwartung (netto)	GWh	1.98

3.2 Anmerkungen zur Bilanzierung

Die Anlage wurde vollständig neu gebaut und somit wird der ganze Neubau bilanziert. Die Umstände werden lediglich durch die Tatsache kompliziert, dass auf den unteren 1000 m der Druckleitung der ausgehobene Graben durch eine systemfremde Trinkwasserleitung mitbenutzt wird. In diesem Bereich ist der Querschnitt des ausgehobenen Grabens um 35 % grösser. Verglichen mit den Erdarbeiten der gesamten Anlage machen diese Mehraufwendungen nur rund 5 % aus. Die Bauaufwendungen für den Leitungsbau werden gemäss dem Mehraufwand für die Trinkwasserleitung aufgeteilt und nur der entsprechende Teil der Stromproduktion angelastet.

3.3 Resultate

KWKW Champagna 1: Ausgangsvariablen

Installierte Nennleistung in kW	361
Wirkungsgrad	0.84
Auslastung	0.47
Anlagenlebensdauer in Jahren	80
Umrechnungsfaktor Elektrizität in thermische Energie	2.67

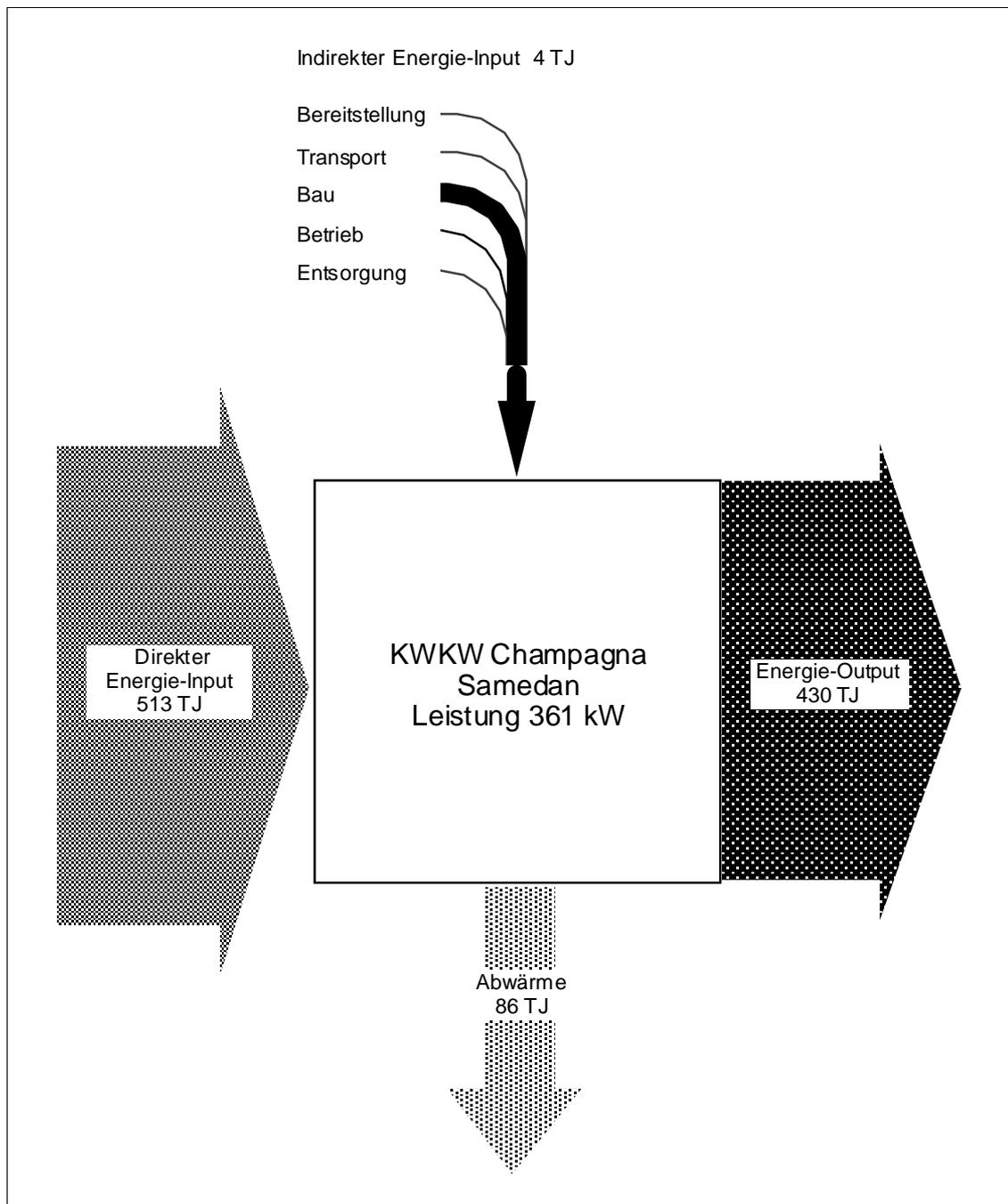
KWKW Champagna 2: Energieflüsse

Output-Energie			TJ gesamthaft		
(produzierte Elektrizität)			430		
Direkte Input-Energie			TJ gesamthaft		
(potentielle Energie im Wasser)			513		
Indirekte Input-Energie	Material	Brennstoff	Elektrizität	Summe 1	Summe 2
(Energie für Aufwendungen)	Tonnen	TJ	TJ	TJ	TJ
Bau					
Konstruktion	—	0.04	0.00	0.04	0.04
Normalbeton	1'740	1.13	0.35	1.47	2.05
Kies	7'500	0.22	0.26	0.49	0.93
Baustahl	66	0.39	0.31	0.70	1.22
Kunststoffe	18	0.11	0.29	0.40	0.89
Sonstige	11	0.55	0.12	0.67	0.88
Summe	9'335	2.40	1.34	3.74	5.97
Streuung		+/- 0.43	+/- 0.24	+/- 0.67	+/- 1.06
Betrieb	2	0.04	0.03	0.07	0.13
Streuung		+/- 0.01	+/- 0.01	+/- 0.01	+/- 0.02
Entsorgung		0	0	0	0
Streuung		+/- 0	+/- 0	+/- 0	+/- 0
Summe		2.44	1.37	3.82	6.10
Streuung		+/- 0.43	+/- 0.24	+/- 0.49	+/- 0.77

KWKW Champagna 3: Ernte- und Gütefaktor, Energierückzahldauer

	Brennstoff	Elektrizität	Summe 1	Summe 2
	TJ	TJ	TJ	TJ
Output-Energie	0.00	430.13	430.13	1147.01
Indirekte Input-Energie	2.44	1.37	3.82	6.10
Direkte Input-Energie	512.57		512.57	512.57
Verlust			86.26	
Erntefaktor			113	188
Streuung			+/- 14	+/- 24
Gütefaktor			113	188
Streuung			+/- 14	+/- 24
Energierückzahldauer in Jahren			0.71	0.43
Streuung			+/- 0.09	+/- 0.05

KWKW Champagna 4: Sensitivitätstest			
Änderung gegenüber Basisfall		Summe1	Summe 2
Auslastung 30 % statt 47 %	Erntefaktor	72	120
	Gütefaktor	72	120
	Rückzahldauer	1.1	0.7
Lebensdauer 50 statt 80 Jahre	Erntefaktor	109	184
	Gütefaktor	109	184
	Rückzahldauer	0.5	0.3
Umrechnungsfaktor elektrische in thermische Energie 4 statt 2.67	Erntefaktor	113	217
	Gütefaktor	113	217
	Rückzahldauer	0.7	0.4

KWKW Champagna 5: Sankey-Diagramm

Brennstoffe und Elektrizität werden gleich bewertet. Der indirekte Input ist fünffach vergrößert dargestellt.

4. KWKW Obermühle Baar

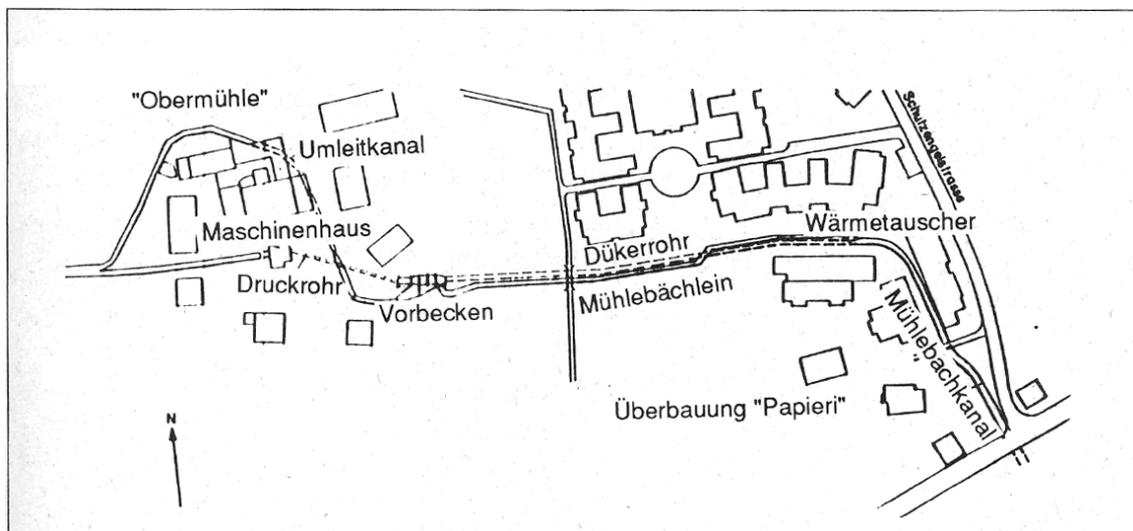
4.1. Anlagenbeschreibung

Der Mühlebach ist ein alter Gewerbekanal der Lorze bei Baar. Der oberirdische Kanal schneidet eine natürliche Flusschlaufe, die Baar umfließt, ab (vgl. Figur 3-1). Der Kanal wurde ursprünglich mehrfach zur Wasserkraftnutzung benutzt. In der jüngsten Gegenwart blieben jedoch nur noch drei Anlagen übrig:

- Kleinkraftwerk "Papieri", Wasserrad mit 17 kW
- Kleinkraftwerk "Obermühle", Francisturbine mit 84 kW
- Kleinkraftwerk "Spulenfabrik Iten"

Wegen einer Neuüberbauung sowie einer Brückenverlegung musste der Kanal verlegt werden. Der Besitzer der Anlagen "Obermühle" und "Papieri" entschied sich, die beiden Wasserkraftanlagen zu einer neuen, beide Gefällstufen nutzenden Anlage zusammenzufassen. Da der Gewerbekanal neben einem Wohngebiet fließt, wurde mit den Anwohnern vereinbart, 5 % des Kanalwassers als "Mühlibächli" oberirdisch zu führenden ohne gesetzliche Auflage, also freiwillig.

Fig. 4-1: Situation des KWKW Obermühle Baar



Die Wasserkraftnutzung am alten Standort "Papieri" wurde aufgegeben. Ein 140 m langes, oberhalb der "Papieri" liegendes Teilstück des Mühlebachkanals wurde auf einem geänderten Trasse neu erstellt. Bei der "Papieri" befindet sich der Wärmetauscher des Wärmepumpensystems, welches die Überbauungen "Schutzengel" und "Papieri" beheizt. Vom Standort "Papieri" führt ein Dückerrohr unterirdisch die Hauptwassermenge. Fünf Prozent des Wassers werden parallel im oberirdischen Dotier-

wasserbach "Mühlibächli" geführt. Beide Wasserführungen münden nach einer Strecke von 180 m in das Vorbecken. Das Vorbecken enthält die Einläufe des Dükerrohrs und des Dotierwasserbachs sowie die Ausläufe zum Druckrohr und zum Umleitkanal. Vor dem Druckrohr sind eine Klappe und eine Rechenanlage angeordnet, daneben eine Rechengutmulde. Vor dem Umleitkanal befindet sich ein Tosbecken. Das rund 50 m lange Druckrohr führt das Wasser vom Vorbecken zum Maschinenhaus "Obermühle".

Das bestehende Maschinenhaus wurde mit einer neuen Kaplanmaschine mit einer Leistung von 147 kW bestückt. Das Maschinenhaus steht unter Denkmalschutz und wurde umgebaut aber an der Fassade nicht verändert. Es wurde aber eine neue Dachlucke erstellt, um den Turbineneinbau und -ausbau zu ermöglichen. Der Unterwasserkanal nach dem Maschinenhaus wurde nicht verändert. Der rund 170 m lange Umleitkanal führt Wasser vom Vorbecken um das Maschinenhaus herum und mündet in den Unterwasserkanal. Der Umleitkanal wurde wie der Unterwasserkanal nicht verändert.

In Tabelle 4-1 sind die technischen Hauptdaten der Anlage zusammengefasst.

Tab. 4-1: Technische Hauptdaten

Ausbauwassermenge (total)	m ³ /s	2.75
Gefälle	m	6.8
Installierte Leistung (total)	kW	0.147
Mittlere jährliche Produktionserwartung (netto)	GWh	0.80

4.2 Anmerkungen zur Bilanzierung

Es können die in Tabelle 4-2 aufgeführten Abschnitte des Mühlebachkanals und der neuen Anlage "Obermühle" unterschieden werden.

Tab. 4-2: Abschnitte des neuen Mühlebachkanals

(1)	Oberwasserkanal	140 m
(2)	Wärmetauscher der Wärmepumpe	beim Standort "Papieri"
(3a)	Dükerrohr	180 m
(3b)	Dotierwasserbach "Mühlibächli"	180 m
(4)	Vorbecken	
(5a)	Druckrohr zum Maschinenhaus	ca. 50 m
(5b)	Umleitkanal vom Vorbecken in den Unterwasserkanal	ca. 170 m
(6)	Maschinenhaus	beim Standort "Obermühle"
(7)	Unterwasserkanal	ca. 50 m

Im Folgenden wird die methodische Beurteilung der verschiedenen Anlageteile vorgenommen. Bei allen bilanzierten Teilen wird die Lebensdauer berücksichtigt.

(1) Oberwasserkanal

Der ursprüngliche Oberwasserkanal wurde verlegt. Dies ist auf eine Verschiebung einer bestehenden Brücke zurückzuführen und nicht auf die Nutzung der Wasserkraft. Der Oberwasserkanal wird daher nicht bilanziert.

(2) Standort "Papieri"

Die alte Anlage Papieri wurde wegen einer Neuüberbauung abgebrochen. Für die Überbauungen "Papieri" und "Schutzengel" wurde ein Wärmepumpenheizsystem eingebaut, welches Wärme aus dem Gewerbekanal bezieht. Die Wärmepumpe wird aus der Bilanzierung ausgeklammert. Der Bauaufwand für den Wärmetauscher wird nicht berücksichtigt.

(3a) Dükerrohr und (3b) "Mühlibächli"

Das Dükerrohr sichert die Wasserzuführung zum Kraftwerk. Der parallel fließende Dotierwasserbach "Mühlibächli" wurde speziell ansprechend ausgestaltet, da er in einem Wohngebiet fließt. Dies entspricht jedoch keiner gesetzlichen Restwasserauflage der Wasserkraftnutzung. Verglichen mit dem alten Betontrog-Kanal wurden mit dem neuen Dotierwasserbach neue Lebensräume - vor allem für Pflanzen und Insekten - geschaffen. Diese externen Nutzen wurden vom Kraftwerkserbauer beabsichtigt und integral realisiert. Diese ökologisch vielfältige Ausgestaltung ist vorbildlich, wurde

jedoch für die Kraftwerksbewilligung nicht vorgeschrieben. Ausserhalb eines Wohngebietes wäre der Bach nicht realisiert worden. Insofern gehört der Dotierwasserbach nicht zur Stromproduktion. Da die Anlage aber innerorts realisiert wurde, muss die Stromproduktion diese Aufwendungen tragen. Die Anlage muss darüber hinaus den Ertragsverlust tragen, der durch die Abzweigung des Dotierwassers (5 %) entsteht. Dies widerspiegelt den standortbedingten Nachteil der Anlage innerhalb eines Wohngebietes. Eine entsprechende Erhöhung des Ertrags zur Korrektur dieses Umstandes ist nicht gerechtfertigt. Der Einfluss einer höheren Auslastung und damit eines höheren Ertrags wird über die Sensitivitätsanalyse ermittelt.

(4) Vorbecken

Das Vorbecken wurde völlig neu erbaut und wird vollständig der Stromproduktion angelastet.

(5a) Druckrohr

Das Druckrohr wurde neu gebaut und wird vollständig der Stromproduktion angelastet.

(5b) Umleitkanal

Der Umleitkanal ist ein funktionaler Bestandteil der Wasserkraftnutzung. Er ist notwendig, damit die Anlage wegen Wartung etc. stillgesetzt werden kann. Der Umleitkanal wird daher unter Berücksichtigung der Lebensdauer der Stromproduktion angelastet.

(6) Maschinenhaus

Das Maschinenhaus steht unter Denkmalschutz. Der Einbau einer neuen Turbine brachte daher höhere Aufwendungen mit sich: Für den Einbau der Turbine musste eine Dachluke erstellt werden. Das Maschinenhaus wird gemäss den gemachten Aufwendungen bilanziert. Als Sensitivitätsanalyse wird eine Halbierung der Aufwendungen für das Maschinenhaus vorgenommen.

(7) Unterwasserkanal

Der Unterwasserkanal bleibt unverändert bestehen. Er leitet das turbinierte Wasser aus dem Maschinenhaus und führt es in den Umleitkanal. Der Unterwasserkanal wird unter Berücksichtigung der Lebensdauer vollständig der Stromproduktion angelastet.

4.3 Resultate

KWKW Obermühle 1: Ausgangsvariablen

Installierte Nennleistung in kW	147
Wirkungsgrad	0.80
Auslastung	0.62
Anlagenlebensdauer in Jahren	80
Umrechnungsfaktor Elektrizität in thermische Energie	2.67

KWKW Obermühle 2: Energieflüsse

Output-Energie			TJ gesamthaft		
(produzierte Elektrizität)			230		
Direkte Input-Energie			TJ gesamthaft		
(potentielle Energie im Wasser)			287		
Indirekte Input-Energie	Material	Brennstoff	Elektrizität	Summe 1	Summe 2
(Energie für Aufwendungen)	Tonnen	TJ	TJ	TJ	TJ
Bau					
Konstruktion	—	0.010	0.001	0.01	0.01
Normalbeton	1'452	0.94	0.29	1.23	1.71
Legierter Stahl	0.6	0.01	0.01	0.03	0.05
Baustahl	46	0.27	0.22	0.49	0.85
Kunststoffe	14	0.09	0.24	0.33	0.72
Sonstige	733	0.46	0.22	0.68	1.04
Summe	2'246	1.77	0.98	2.75	4.38
Streuung		+/- 0.32	+/- 0.17	+/- 0.49	+/- 0.78
Betrieb	225	0.09	0.09	0.18	0.33
Streuung		+/- 0.02	+/- 0.02	+/- 0.03	+/- 0.06
Entsorgung		0	0	0	0
Streuung		+/- 0	+/- 0	+/- 0	+/- 0
Summe		1.86	1.07	2.93	4.71
Streuung		+/- 0.32	+/- 0.17	+/- 0.36	+/- 0.56

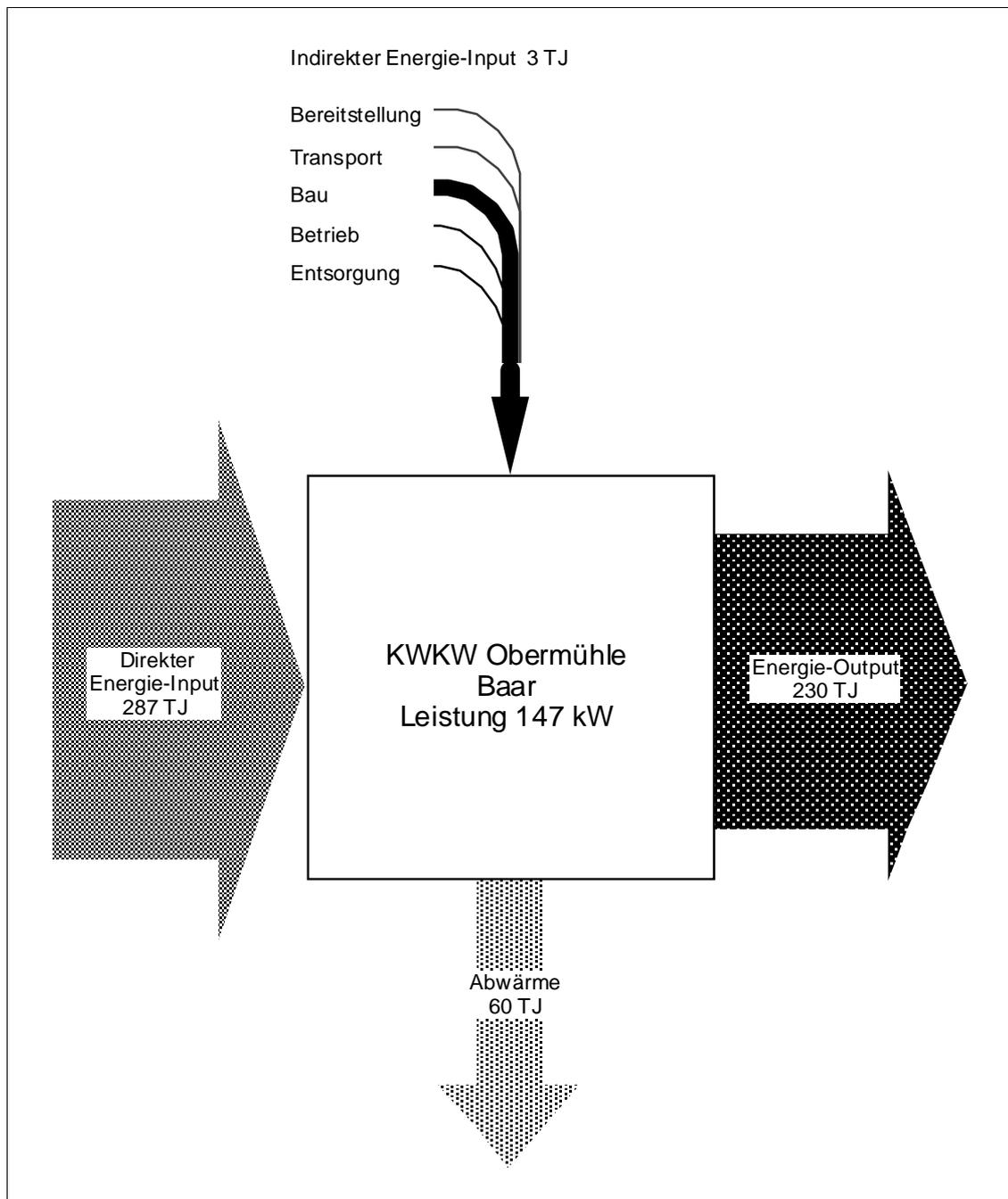
KWKW Obermühle 3: Ernte- und Gütefaktor, Energierückzahldauer

	Brennstoff	Elektrizität	Summe 1	Summe 2
	TJ	TJ	TJ	TJ
Output-Energie	0.00	230.40	230.40	614.40
Indirekte Input-Energie	1.86	1.07	2.93	4.71
Direkte Input-Energie	287.28		287.28	287.28
Verlust			59.81	
Erntefaktor			79	130
Streuung			+/- 10	+/- 16
Gütefaktor			79	130
Streuung			+/- 10	+/- 16
Energierückzahldauer in Jahren			1.02	0.61
Streuung			+/- 0.13	+/- 0.07

KWKW Obermühle 4: Sensitivitätstest

Änderung gegenüber Basisfall		Summe1	Summe 2
Bauaufwand für Maschinenhaus halb so gross	Erntefaktor	83	137
	Gütefaktor	83	137
	Rückzahldauer	1.0	0.6
Auslastung 81 % statt 62 %	Erntefaktor	102	170
	Gütefaktor	102	170
	Rückzahldauer	0.8	0.5
Umrechnungsfaktor elektrische in thermische Energie 4 statt 2.67	Erntefaktor	79	150
	Gütefaktor	79	150
	Rückzahldauer	1.0	0.5

KWKW Obermühle: 5 Sankey Diagramm



Brennstoffe und Elektrizität werden gleich bewertet. Der indirekte Input ist fünffach vergrößert dargestellt.

5. KWKW Mühlbach Burgdorf

5.1 Anlagenbeschreibung

Die Anlage steht im Tiergarten Burgdorf. Am gleichen Standort war früher bereits ein industriell genutztes Kleinwasserkraftwerk in Betrieb. Die Neuanlage lieferte nach einer knapp einjährigen Bauzeit im Oktober 1992 erstmals Strom ans Netz. Die Anlage wird u.a. als Demonstrationsobjekt für den Unterricht an der Ingenieurschule Burgdorf benutzt. Ein Grossteil der Komponenten ist daher in das Turbinenhaus integriert.

Der Mühlbach fließt oberwasserseitig in ein Vorbecken. Über das Becken verläuft ein Fussgängersteg. Die nach dem Vorbecken folgende Rechenanlage befindet sich bereits im Maschinenhaus. Das Wasser durchfließt eine Kaplan turbine von rund 70 kW Nennleistung mit automatischer Laufschaufelverstellung. Die Turbine ist in der sogenannten Split-Bauweise gefertigt und arbeitet auch bei kleinen Wassermengen mit guten Wirkungsgraden. Die mechanische Energie wird über ein Riemen-Getriebe auf den Generator übertragen. Der verwendete Synchron generator erlaubt eine optimale Regelung, ist aber für Anlagen in dieser Leistungsklasse untypisch. Der gesamte produzierte Strom wird in das öffentliche Netz der Industriellen Betriebe Burgdorf eingespeisen.

Eine gesetzlich vorgeschriebene Fischtreppe ist um das Maschinenhaus angeordnet. Neben der Anlage befindet sich das Stauwehr und das Tosbecken. Die durch die Turbine fließende Wassermenge wird automatisch durch Heben und Senken der Wehrklappe reguliert. Die Rechengutmulde befindet sich ausserhalb des Maschinenhauses. Die Lärmemissionen der Rechenanlage und des Generators werden zur Schonung der Umgebung und der Demonstrationsteilnehmer gedämpft.

In Tabelle 5-1 sind die technischen Hauptdaten der Anlage zusammengefasst.

Tab. 5-1: Technische Hauptdaten

Ausbauwassermenge (total)	m ³ /s	
Gefälle	m	1.7
Installierte Leistung (total)	kW	70
Mittlere jährliche Produktionserwartung (netto)	GWh	0.55

5.2 Anmerkungen zur Bilanzierung

Die Anlage besitzt vergleichsweise atypische bzw. unterdurchschnittliche technische Kennzahlen, da sie als Demonstrationsanlage genutzt wird und nicht an einem besonders ertragsreichen Standort steht. Die Wirtschaftlichkeit der Anlage liegt nach

Aussagen der Betreiber an der unteren Grenze. Das Nettogefälle und damit auch der Ertrag ist eher gering. Vergleichsweise sind die Aufwendungen zum Bau der Anlage gross, d.h. die Anlage hätte bei höherem Nutzgefälle mit einem im wesentlichen gleichen Grundriss und nur geringfügig grösseren Bauaufwendungen gebaut werden können. Das Maschinenhaus wurde, da es in bewohntem Gebiet steht, bewusst ansprechend und aufwendig gestaltet (runde Fenster, gebogenes Aluminiumdach).

Trotz dieser ungünstigen bzw. atypischen Eigenheiten wird die Anlage als Ganzes bilanziert. Eine Aufteilung in "Demonstrationsfunktion" und "Stromerzeugungsfunktion" wird jedoch für die **Sensitivitätsanalyse** vorgenommen. Nach Aussagen der Betreiber kann das Maschinenhaus vollständig der Demonstrationsfunktion zugeordnet werden. Lediglich die Rechenanlage wäre zur Lärmdämmung in einem einfachen Betonbau unterzubringen.

Zur Sensitivitätsanalyse werden folgende Bilanzierungsteile verändert:

- Die gesamte Gebäudehülle des Maschinenhauses wird weggelassen. Stattdessen werden 4.4 t Normalbeton (Gebäude für die Rechenanlage) bilanziert.
- 40 kg Baustahl und 100 kg elektronische Geräte werden weggelassen, um die Schaltschränke der Ingenieurschule Burgdorf zu kompensieren.

Die Bilanzierung der Anlage ist unbedingt als Fallbeispiel zu verstehen. Die Resultate können jedoch als untere Grenze für Laufwasserkraftwerke in diesem Leistungsbe-
reich angesehen werden.

5.3 Resultate

KWKW Mühlbach 1: Ausgangsvariablen

Installierte Nennleistung in kW	70
Wirkungsgrad	0.81
Auslastung	0.90
Anlagenlebensdauer in Jahren	70
Umrechnungsfaktor Elektrizität in thermische Energie	2.67

KWKW Mühlbach 2: Energieflüsse

Output-Energie			TJ gesamthaft		
(produzierte Elektrizität)			138		
Direkte Input-Energie			TJ gesamthaft		
(potentielle Energie im Wasser)			172		
Indirekte Input-Energie (Energie für Aufwendungen)	Material	Brennstoff	Elektrizität	Summe 1	Summe 2
	Tonnen	TJ	TJ	TJ	TJ
Bau					
Konstruktion	—	0.11	0.01	0.12	0.13
Normalbeton	969	0.63	0.19	0.82	1.14
Legierter Stahl	15	0.11	0.09	0.20	0.34
Baustahl	28	0.17	0.13	0.30	0.53
Kunststoffe	1	0.01	0.02	0.03	0.07
Sonstige	578	0.95	0.33	1.27	1.82
Summe	1'592	1.86	0.76	2.63	3.90
Streuung		+/- 0.33	+/- 0.14	+/- 0.47	+/- 0.69
Betrieb	93	0.15	0.07	0.23	0.34
Streuung		+/- 0.03	+/- 0.01	+/- 0.04	+/- 0.06
Entsorgung		0.0	0.0	0	0
Streuung		+/- 0	+/- 0	+/- 0	+/- 0
Summe		2.03	0.84	2.87	4.26
Streuung		+/- 0.33	+/- 0.14	+/- 0.36	+/- 0.49

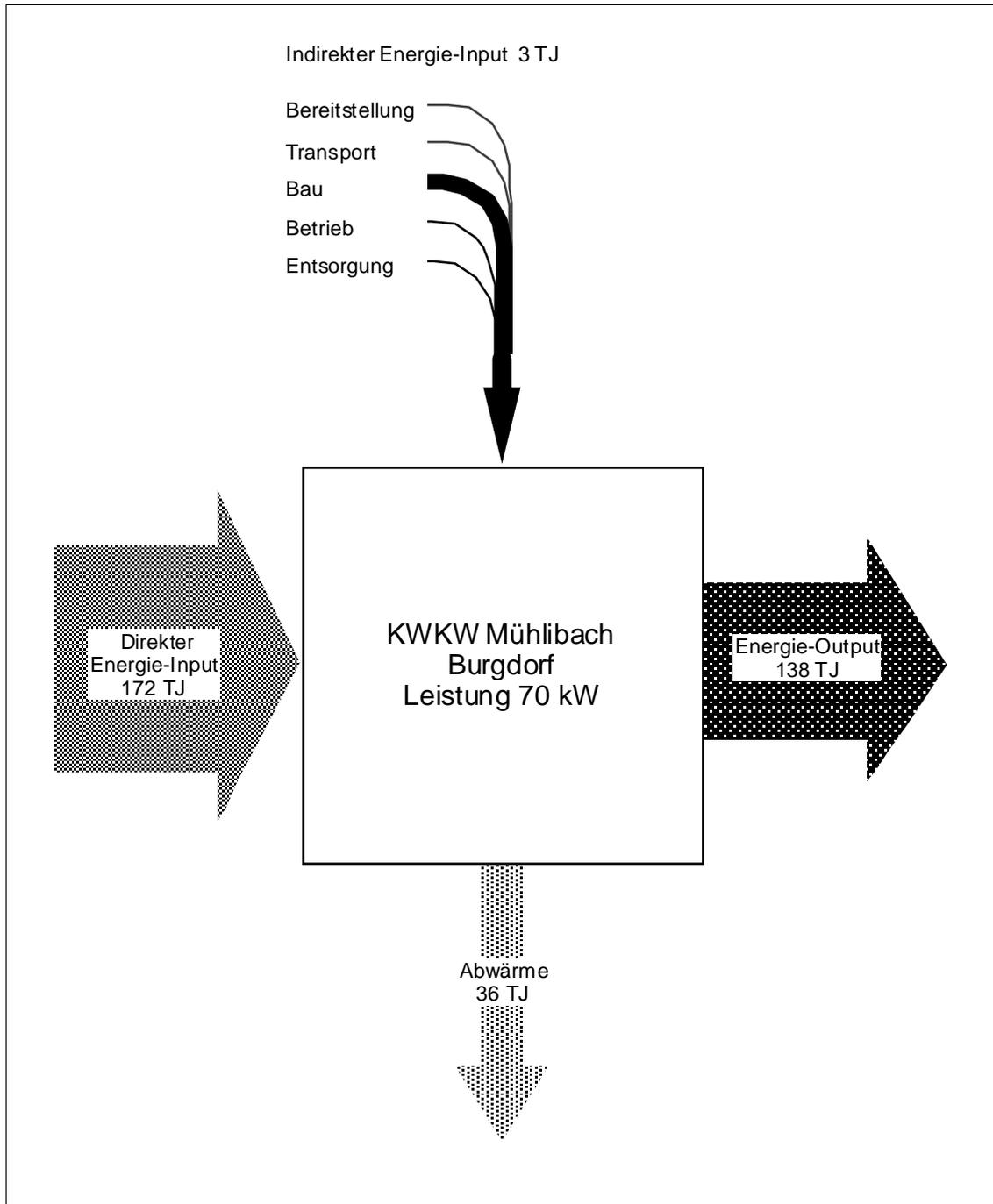
KWKW Mühlbach 3: Ernte- und Gütefaktor, Energierückzahldauer

	Brennstoff	Elektrizität	Summe 1	Summe 2
	TJ	TJ	TJ	TJ
Output-Energie	0.00	138.41	138.41	369.10
Indirekte Input-Energie	2.03	0.84	2.87	4.26
Direkte Input-Energie	171.53		171.53	171.53
Verlust			35.99	
Erntefaktor			4 8	8 7
Streuung			+/- 6	+/- 10
Gütefaktor			4 8	8 7
Streuung			+/- 6	+/- 10
Energierückzahldauer in Jahren			1.45	0.81
Streuung			+/- 0.18	+/- 0.09

KWKW Mühlbach 4: Sensitivitätstest

Änderung gegenüber Basisfall		Summe1	Summe 2
Reduzierter Aufwand für Infrastruktur	Erntefaktor	53	96
Gebäude und Einrichtungen ohne	Gütefaktor	53	96
Demonstrationsfunktion	Rückzahldauer	1.3	0.7
Auslastung 60 % statt 90 %	Erntefaktor	32	58
	Gütefaktor	32	58
	Rückzahldauer	2.2	1.2
Umrechnungsfaktor elektrische in thermische Energie 4 statt 2.67	Erntefaktor	48	103
	Gütefaktor	48	103
	Rückzahldauer	1.4	0.7

KWKW Mühlbach 5: Sankey-Diagramm



Brennstoffe und Elektrizität werden gleich bewertet. Der indirekte Input ist fünffach vergrößert dargestellt.

6. Trinkwasserkraftwerk Buechetsmatt Sarnen

6.1 Anlagenbeschreibung

Das Trinkwasserkraftwerk Buechetsmatt bei Sarnen ist von den hier behandelten Kraftwerken das "kleinste", d.h. das mit der geringsten Nennleistung. Die Anlage wurde basierend auf die bestehende Infrastruktur der Trinkwasserversorgung der Dorfschaftsgemeinde Sarnen realisiert. Die Höhendifferenz zwischen dem quellwassergespiesenen Reservoir Breitholz und dem Reservoir Buechetsmatt beträgt 70 m. In die bestehende, 275 m lange Verbindungsleitung der zwei Reservoirs wurde eine Pelton-turbine mit 18.5 kW Nennleistung eingebaut. Die Anlage läuft vollautomatisch und regelt selbständig die zugeführte Wassermenge je nach Quellwasserangebot.

Der geleistete Bauaufwand zur Realisierung der Anlage fällt sehr gering aus, da Rohrleitungen und das als Maschinenhaus genutzte Gebäude bereits bestanden. Material musste lediglich für den Turbinensockel und natürlich die Turbine selbst aufgewendet werden. Der durchschnittliche Ertrag der Anlage beträgt 117'700 kWh/a, was einer Jahresauslastung von knapp 73 % oder 6362 Nennlaststunden pro Jahr entspricht. Die relativ geringe Auslastung rührt daher, dass die bestehende Zuleitung nicht auf die Turbinenanlage optimiert war, aber so belassen wurde. Effektiv ist die Anlage jährlich an die 8700 Stunden im Betrieb, die durchschnittliche Leistung beträgt jedoch nur 13.5 kW.

In Tabelle 6-1 sind die technischen Hauptdaten der Anlage zusammengefasst.

Tab. 6-1: Technische Hauptdaten

Ausbauwassermenge (total)	m ³ /s	0.043
Gefälle	m	70
Installierte Leistung (total)	kW	18.5
Mittlere jährliche Produktionserwartung (netto)	GWh	0.118

6.2 Anmerkungen zur Bilanzierung

Die Wasserkraftnutzung ist bei der ganzen Trinkwasseranlage von untergeordneter Bedeutung. Das Kraftwerk wurde an die gegebenen Umstände angepasst und nicht umgekehrt. Die Anlage ist daher auch nicht optimiert. Bei einem völligen Neubau der Anlage würde z.B. ein grösseres Einlassrohr gebaut, mit dem die Anlage ca. 20 % bis 30 % mehr Energie produzieren könnte.

Der stromproduzierende Teil der Anlage profitiert von der Tatsache, dass er auf die Infrastruktur der Trinkwasserversorgung zurückgreifen kann. Ohne diesen Vorteil wä-

re die Anlage nach Aussage der Betreiber nicht erstellt worden. Andererseits ist die Anlage aus demselben Grund auch benachteiligt, da die vorhandene Infrastruktur nicht auf Wasserkraftnutzung optimiert ist und dadurch der Ertrag verringert wird. Damit ist es vertretbar, nur den für die Wasserkraftanlage effektiv geleisteten Bauaufwand zu berücksichtigen.

Methodisch ähnliche Beispiele finden sich bei der Stromproduktion in Kehrichtverbrennungsanlagen oder gebäudeintegrierten Solarenergiesystemen. Die Stromproduktion in Kehrichtverbrennungsanlagen ist ein Nebenprodukt der Kehrichtverbrennung, welche die vorrangige Dienstleistung darstellt und daher auch die Aufwendungen zu tragen hat. Gebäudeintegrierte Solarsysteme nutzen die bereits existierende Dachkonstruktion als Panelhalterung mit dem möglichen Nachteil einer nicht optimalen Ausrichtung gegen Süden. Dabei entfällt jedoch eine Aufständigung, wie sie freistehende Solaranlagen benötigen.

Als Sensitivitätsanalyse wird der Einfluss der nicht berücksichtigten Infrastruktur festgestellt. Die Aufwendungen für den Rohrleitungsbau zwischen den beiden Reservoirs sowie für das Maschinenhaus wurden abgeschätzt und der Stromproduktion angelastet. Als weitere Sensitivitätsanalyse wurde der Ertrag der Anlage um rund 20 % erhöht. Dies repräsentiert die Situation einer optimierten Stromproduktion z.B. mit einer der Stromproduktion angepassten Rohrleitung.

6.3 Resultate

TWKW Buechetsmatt 1: Ausgangsvariablen

Installierte Nennleistung in kW	18.5
Wirkungsgrad	0.71
Auslastung	0.73
Anlagenlebensdauer in Jahren	30
Umrechnungsfaktor Elektrizität in thermische Energie	2.67

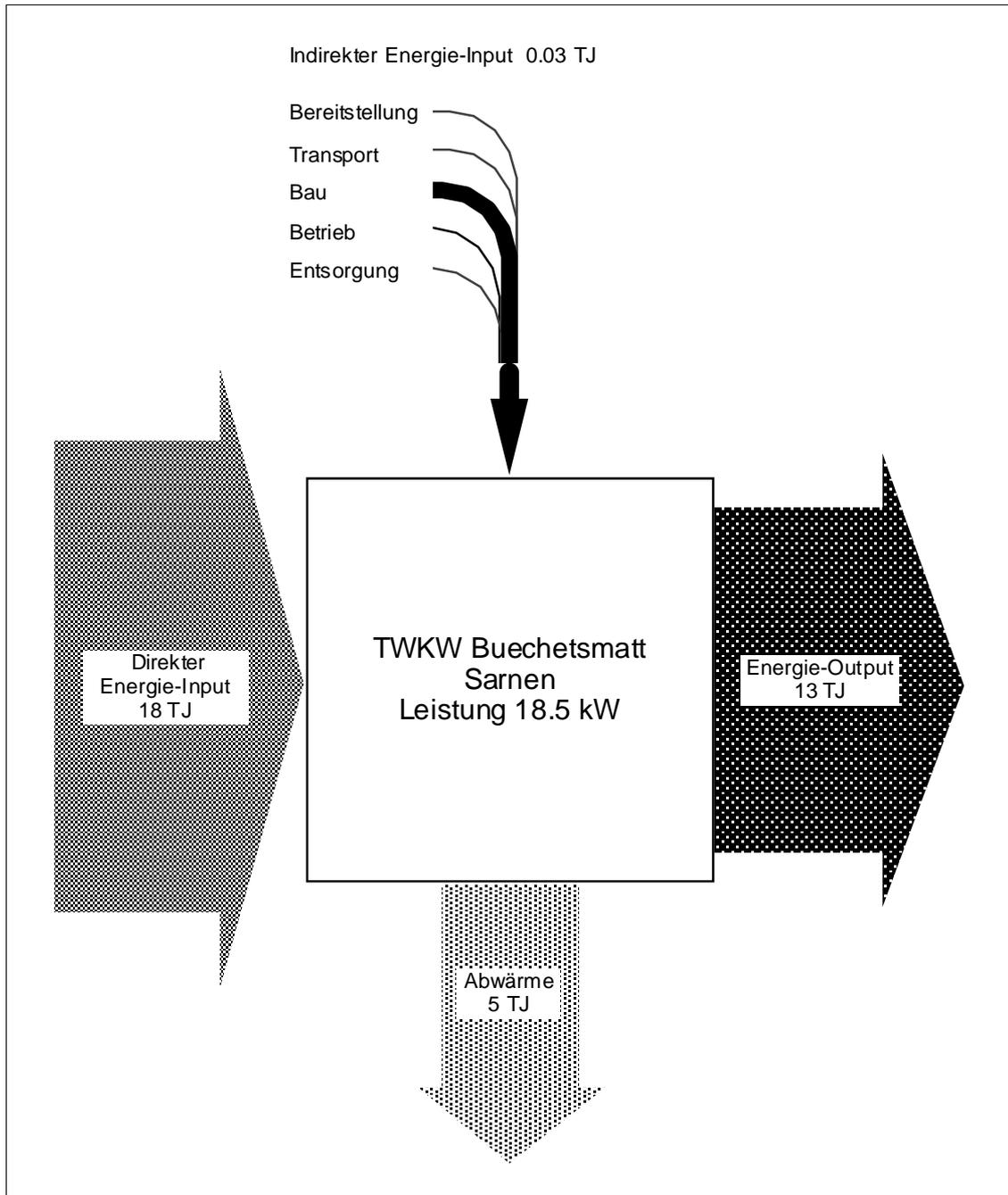
TWKW Buechetsmatt 2: Energieflüsse

Output-Energie				TJ gesamthaft	
(produzierte Elektrizität)				13	
Direkte Input-Energie				TJ gesamthaft	
(potentielle Energie im Wasser)				18	
Indirekte Input-Energie	Material	Brennstoff	Elektrizität	Summe 1	Summe 2
(Energie für Aufwendungen)	Tonnen	TJ	TJ	TJ	TJ
Bau					
Konstruktion	—	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Normalbeton	0.1	0.0001	0.0000	0.0001	0.0001
Legierter Stahl	0.7	0.0160	0.0159	0.0319	0.0584
Baustahl	0.0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Kunststoffe	0.0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Sonstige	0.2	0.0008	0.0004	0.0012	0.0019
Summe	1.0	0.0169	0.0163	0.0332	0.0604
Streuung		+/- 0.003	+/- 0.003	+/- 0.01	+/- 0.01
Betrieb	0.05	0.001	0.000	0.002	0.003
Streuung		+/- 0.000	+/- 0.000	+/- 0.000	+/- 0.000
Entsorgung		0	0	0	0
Streuung		+/- 0	+/- 0	+/- 0	+/- 0
Summe		0.018	0.017	0.035	0.063
Streuung		+/- 0.003	+/- 0.003	+/- 0.004	+/- 0.008

TKWK Buechetsmatt 3: Ernte- und Gütefaktor, Energierückzahldauer

	Brennstoff	Elektrizität	Summe 1	Summe 2
	TJ	TJ	TJ	TJ
Output-Energie	0.00	12.71	12.71	33.90
Indirekte Input-Energie	0.02	0.02	0.03	0.06
Direkte Input-Energie	17.90		17.90	17.90
Verlust			5.23	
Erntefaktor			364	538
Streuung			+/- 44	+/- 71
Gütefaktor			364	538
Streuung			+/- 44	+/- 71
Energierückzahldauer in Jahren			0.08	0.06
Streuung			+/- 0.01	+/- 0.01

TWKW Buechetsmatt 4: Sensitivitätstest			
Änderung gegenüber Basisfall		Summe1	Summe 2
Auslastung 85 % statt 73 %	Erntefaktor	426	630
	Gütefaktor	426	630
	Rückzahldauer	0.07	0.05
Maschinenhaus und Rohrleitung zum TKWK gerechnet	Erntefaktor	216	339
	Gütefaktor	216	339
	Rückzahldauer	0.14	0.09
Umrechnungsfaktor elektrische in thermische Energie 4 statt 2.67	Erntefaktor	364	595
	Gütefaktor	364	595
	Rückzahldauer	0.08	0.05

TWKW Buechetsmatt: Sankey-Diagramm

Brennstoffe und Elektrizität werden gleich bewertet. Der indirekte Input ist 20-fach vergrößert dargestellt.

7. Glossar

Abwärme: Energiefluss der Energieverluste, etwa die nicht ausgenutzte Energie bei der Umwandlung von thermischer in elektrische Energie oder jene Energie, die zur Herstellung der verwendeten Baumaterialien aufgewendet werden musste (Abkürzung: E_{Verlust})

Anlagenlebensdauer: Zeitraum zwischen erster Inbetriebnahme und Beginn der Abbrucharbeiten einer Anlage

Auslastung: In der vorliegenden Studie wird unter Auslastung die Anzahl Nennlaststunden der Anlage verstanden (ausgedrückt in Prozenten eines Jahres), während denen ein Kraftwerk mit der Nennleistung laufen müsste, um den effektiven Jahresertrag zu produzieren)

Direkter Energie-Input: Energiefluss in ein Kraftwerk, der von der eigentlichen "Energiequelle" herrührt, etwa die einfallende Sonnenenergie, das zu verbrennende Erdölprodukt oder die potentielle Energie des Wassers (Abkürzung: E_{in})

Energie-Output: Energie, die in Form von Elektrizität und/oder Wärme das Kraftwerk verlässt: "produzierte Energie" (Abkürzung: E_{out})

Energiefluss: Energie, die in ein System ein- oder aus einem System austritt

Erntefaktor: Quotient gebildet aus dem Energie-Output und dem indirekten Energieinput; (Abkürzung: EF)

Gütefaktor: Quotient gebildet aus dem Energie-Output und dem gesamten (indirekten wie auch direkten) Energieinput (Abkürzung: GF)

Indirekter Energie-Input: indirekter, zumeist nur buchhalterisch erfassbarer Energiefluss in ein Kraftwerk zur Bereitstellung des direkten Energie-Inputs sowie die für den Bau, den Betrieb und die Entsorgung des Kraftwerks nötige Energie (Abkürzung: E_{indirekt})

KW: Kraftwerk

KWKW: Kleinwasserkraftwerk

Lebensertrag: Produzierte Energiemenge einer Anlage während ihrer gesamten Lebensdauer

RZD: siehe Rückzahldauer

Rückzahldauer: hier energetische Rückzahldauer; die Anzahl Jahre, die eine energieproduzierende Anlage in Betrieb sein muss, um die für sie indirekt aufgewendete Energie selbst zu produzieren

Streuung: Mass für die Analysegenauigkeit durch Angabe einer möglichen Abweichung nach unten oder oben (mittlerer Fehler)

TWKW: Trinkwasserkraftwerk

8. Bibliographie

Baehr, H. D. (1990): Thermodynamik, Berlin

Covelli, B. (1992): CO₂-Bilanzierung der Elektrizität unter Berücksichtigung des Ausenhandels, BEW, Schriftenreihe sozioökonomische Energieforschung Nr. 4, Bern

ESU (1994): Oekoinventare für Energiesysteme, Gruppe Energie-Stoffe-Umwelt der ETH-Zürich, Schlussbericht in 14 Teilen, Zürich

IBFG (1995): Energiebilanzen von Wasserkraftwerken in Vergleich mit anderen stromproduzierenden Anlagen, BWW, Bern

Eine ausführliche Bibliographie ist in der Vorgängerstudie (IBFG 1995) enthalten.

DIANE Publikationen / Publications DIANE

- **Elektrizität aus Trinkwasser-Systemen / L'Eau potable génératrice d'électricité**
Inventar und Potentialerhebung / Inventaire et étude du potentiel
Bestellnummer / No de commande EDMZ 805.752 d + f
Preis / Prix: Fr. 10.20 inkl. MWSt / incl. TVA

- **Nutzen statt Aufgeben**
Modernisieren und reaktivieren von Klein-Wasserkraftwerken, Beurteilungskriterien.
Bestellnummer EDMZ 805.173.d
Preis: Fr. 17.35 inkl. MWSt

- **Rénover au lieu d'abandonner**
Modernisation et remise en service des petites centrales hydrauliques.
No de commande EDMZ 805.173.f
Prix: Fr. 17.35 incl. TVA

- **Pico-Kraftwerke / Pico-centrales**
Kleinste Wasserkraftwerke mit Eigenleistungen bauen. / Les toutes petites centrales à installer soi-même. 8 Beispiele im Detail / 8 exemples en détail.
Bestellnummer / No de commande EDMZ 805.196.d + f
Preis / Prix: Fr. 31.60 inkl. MWSt / incl. TVA

- **Elektrizität aus Abwasser-Systemen / L'Eau usée génératrice d'électricité**
Konzept, Realisation, Potential / Concept, réalisation, potentiel
Bestellnummer / No de commande EDMZ 805.209.d + f
Preis / Prix: Fr. 15.90 inkl. MWSt / incl. TVA

- **L'Eau usée génératrice d'électricité**
Dossier technique et étude du potentiel
No de commande EDMZ 805.211.f
Prix: Fr. 21.60 incl. TVA

Bezug / Commande

SKAT

Fachstelle der Schweizerischen Entwicklungszusammenarbeit für Technologie-Management

Vadianstrasse 42, CH-9000 St. Gallen

Tel. 071 / 228 74 75; Fax 071 / 228 75 45

Infoenergie Mittelland

Kindergartenstr. 1, Postfach 310, CH-5200 Brugg

Tel. 056 / 441 60 80; Fax 056 / 441 20 15

Bei der Projektleitung DIANE 10 sind zudem zur Zeit erhältlich

- **Portrait DIANE Klein-Wasserkraftwerke / Portrait Projet DIANE petites centrales hydrauliques / Ritratto Progetto DIANE piccole centrali idrauliche / Portrait DIANE Project Small Hydro**
gratis/gratuit/gratuitamente/free
- **Gesamtkonzept DIANE Klein-Wasserkraftwerke**
Preis: Fr. 50.00 inkl. MWSt und Versandkosten
- **Tagungsmappe zu den Tagungen "Elektrizität aus Trinkwassersystemen"**
Preis: Fr. 50.00 inkl. MWSt und Versandkosten
- **Kopiervorlagen zu "Nutzen statt Aufgeben"**
Preis: Fr. 10.00 inkl. MWSt und Versandkosten

Bezug / Commande

Projektleitung DIANE 10
c/o ITECO Ingenieurunternehmung AG, Postfach, 8910 Affoltern a/A
Tel. 01 / 762 18 18; Fax 01 / 762 18 15

Publikationen in Bearbeitung / Publications en élaboration

- Dokumentation bestehender Trinkwasser-Kraftwerke in der Schweiz 1996
- Ökologie und Kleinwasserkraftwerke: Faltblatt 1995, Bericht 1996
- Situationsanalyse Kleinwasserkraftwerke und Gewässerökologie, 1996