

Adressen:

Herausgeber: Bundesamt für Konjunkturfragen (BfK)
Belpstrasse 53
3003 Bern
Tel.: 031/61 21 39
Fax: 031/46 41 02

Geschäftsstelle: RAVEL
c/o Amstein+Walthert AG
Leutschenbachstrasse 45
8050 Zürich
Tel.: 01/305 91 11
Fax: 01/305 92 14

Ressortleiter: Daniel Spreng
Forschungsgruppe Energieanalysen
ETHZ
8092 Zürich
Tel.: 01/256 41 89
Fax: 01/251 21 72

Autoren: Robert Leemann
Elektrowatt Ingenieurunternehmung AG
Bellerivestrasse 36
8034 Zürich
Tel.: 01/385 22 11
Fax: 01/385 24 25

Diese Studie gehört zu einer Reihe von Untersuchungen, welche zu Handen des Impulsprogrammes RAVEL von Dritten erarbeitet wurde. Das Bundesamt für Konjunkturfragen und die von ihm eingesetzte Programmleitung geben die vorliegende Studie zur Veröffentlichung frei. Die inhaltliche Verantwortung liegt bei den Autoren und der zuständigen Ressortleitung.

Copyright Bundesamt für Konjunkturfragen 3003 Bern, September 1992
Auszugsweiser Nachdruck unter Quellenangabe erlaubt. Zu beziehen bei der Eidg. Drucksachen- und Materialzentrale, Bern (Best. Nr. 724.397.12.51.2 D)

Form. 724.397.12.51.2 D

9.92 500

RAVEL - Materialien zu RAVEL

Materialien zu RAVEL

Methoden der Wirtschaftlichkeits- analyse von Energiesystemen



Robert Leemann

Impulsprogramm RAVEL
RAVEL - Materialien zu RAVEL

Bundesamt für Konjunkturfragen

Inhaltsverzeichnis

	Einleitung	1
	Zusammenfassung	2
1	Bedeutung der Wirtschaftlichkeitsrechnung im betrieblichen Energiebereich	7
1.1	Die unterschiedlichen Anforderungen an die Energieversorgung	7
1.2	Die betriebswirtschaftliche Fragestellung	7
2.	Grundlagen der Wirtschaftlichkeitsrechnung	9
2.1	Bedeutung der Rechengrößen	9
2.2	Investitionskosten	11
2.3	Die jährlichen Kosten	12
2.4	Kapitalkosten	13
2.5	Betriebskosten	15
2.6	Berücksichtigung der Teuerung	18
2.7	Energietechnische Daten und Parameter	19
2.8	Besonderheiten der betrieblichen Energiekostenrechnung	20
3.	Die Methoden der Wirtschaftlichkeitsrechnung	22
3.1	Uebersicht über die Rechenverfahren	22
3.2	Grundsätze des Variantenvergleiches	23
4.	Die Hilfsverfahren der Praxis (statische Methoden)	24
4.1	Merkmale der statischen Wirtschaftlichkeitsrechnung	24
4.2	Die Kosten- und Gewinnvergleichsrechnung (Kostenvergleichsmethode)	24

Inhaltsverzeichnis (Fortsetzung)

4.3	Die statische Rentabilitätsrechnung	26
4.4	Die statische Amortisationsrechnung (Pay-back Methode)	28
5.	Die vollständige Wirtschaftlichkeitsrechnung (dynamische Methoden)	30
5.1	Grundlagen der dynamischen Wirtschaftlichkeitsrechnung	30
5.2	Die Kapitalwertmethode	31
5.3	Die Annuitätenmethode	36
5.4	Die Methode des internen Zinssatzes	38
5.5	Die dynamische Amortisationsrechnung	39
6.	Wahl der geeigneten Rechenmethode	40
	Anhang	
A 1	Annuitätenfaktoren	42
A 2	Diskontierungssummenfaktoren	43
A 3	Mittelwertfaktoren	44
A 4	Verzeichnis der Abkürzungen	45
A 5	Literaturverzeichnis	46

Einleitung

Man wird im allgemeinen davon ausgehen können, dass Massnahmen zur sparsamen und rationellen Energienutzung letztlich nur dann durchgeführt werden, wenn sie Kosteneinsparungen bringen, auch wenn im betrieblichen Energiebereich neben der rein ökonomischen Zielsetzung noch andere wichtige Anforderungen gelten. Bei der Realisierung von technischen und betrieblichen Rationalisierungsmassnahmen wird also stets auch die Frage nach der Wirtschaftlichkeit dieser Massnahmen gestellt, umso mehr, als gerade bei der Energie, mehr als bei anderen Produktionsfaktoren, eine Flexibilität der Kosten nach unten meist durchaus gegeben ist.

Dieser Leitfaden enthält eine Beschreibung und ausführliche Erläuterung der verschiedenen in der Praxis gebräuchlichen Methoden der Wirtschaftlichkeitsrechnung, unter Berücksichtigung einiger Besonderheiten der Analyse von Investitionen und Rationalisierungsmassnahmen im betrieblichen Energiebereich. Es ist üblich, bei den Verfahren der Wirtschaftlichkeitsrechnung zu unterscheiden zwischen einfachen Hilfsverfahren, den sogenannten "statischen" Methoden und den genaueren, aber etwas aufwendigeren "dynamischen" Methoden. Diese Unterscheidung wurde auch hier übernommen, und die entsprechenden Rechenverfahren werden einzeln beschrieben. Das Hauptgewicht des Leitfadens liegt dabei aber auf der Behandlung der dynamischen Verfahren, welche auf einer langfristigen Betrachtungsweise unter Berücksichtigung der Teuerungserwartungen beruhen, und daher insbesondere auch für die Analyse von energietechnischen Massnahmen am zweckmässigsten sind.

In einer Zusammenfassung wird zunächst die Anwendung der besonders geeigneten und empfohlenen Methoden der Wirtschaftlichkeitsrechnung kurz erläutert und anhand eines einfachen Beispiels illustriert, ohne jedoch auf die theoretische Herleitung im einzelnen einzugehen. Eine eingehendere Behandlung der verschiedenen Rechenmethoden folgt im Hauptteil des Leitfadens.

1 Problemstellung

Bei der wirtschaftlichen Analyse von Energiesystemen oder Energiesparmassnahmen geht es meist um eine der folgenden Fragestellungen:

(i) Ist eine geplante Investition oder Massnahme grundsätzlich wirtschaftlich, d.h. entspricht die Verzinsung des investierten Kapitals über die Lebensdauer der Investition wenigstens dem Marktzins ?

Sinngemäss lautet die Frage nach der Wirtschaftlichkeit einer Energiesparmassnahme auch: Ergibt sich per Saldo über die Lebensdauer der Massnahme insgesamt eine Kosteneinsparung?

(ii) Welche von verschiedenen möglichen Varianten eines Investitionsvorhabens oder einer energietechnischen Massnahme ist die kostengünstigste?

Hier handelt es sich um den klassischen Variantenvergleich.

Je nach der Fragestellung und der erforderlichen Tiefe der Analyse bieten sich für die Wirtschaftlichkeitsrechnung etwas unterschiedliche Methoden an.

2. Methoden der Wirtschaftlichkeitsrechnung

2.1 Einfache Hilfsverfahren (für Ueberschlagsrechnungen; grobe Abschätzungen)

Für Ueberschlagsrechnungen eignen sich die sogenannten **statischen Methoden**. Diese Methoden sind relativ ungenau, da sie die Teuerung und andere künftige Veränderungen von Kosten oder betrieblichen Daten unberücksichtigt lassen. Andererseits sind die Rechenverfahren sehr einfach. Dazu gehören vor allem:

* Die **statische Kostenvergleichsrechnung** (Siehe Kapitel 4.2; Seite 24)

Bestimmung (Vergleich) der jährlichen Kosten bzw. der jährlichen Kosteneinsparungen einer Investition oder Energiesparmassnahme. Eine Energiesparmassnahme ist wirtschaftlich, wenn eine positive jährliche Kosteneinsparung erzielt wird.

* Die **statische Amortisationsrechnung (Pay-back Methode)** (Siehe Kapitel 4.4; Seite 28) Bestimmung der Zeitdauer (in Jahren), in welcher das Kapital einer Investition wieder zurückgeflossen ist. Ist die Kapitalrückflusszeit kürzer als die Lebensdauer der Investition, so ist das Investitionsvorhaben wirtschaftlich.

Ausser für Ueberschlagsrechnungen wird die Verwendung der statischen Rechenmethoden für die wirtschaftliche Analyse von Energiesystemen nicht empfohlen. Wenn aufgrund einer Ueberschlagsrechnung nach statischen Methoden die Wirtschaftlichkeit eines Vorhabens nicht sehr eindeutig ausgewiesen wird, sollte eine genauere Rechnung nach einer dynamischen Methode durchgeführt werden (siehe 2.2 unten).

2.2 Die vollständige Wirtschaftlichkeitsrechnung

Für die Analyse von Energiesystemen, welche in der Regel eine lange Nutzungsdauer aufweisen und wo die Teuerung und andere künftige Datenveränderungen daher von Bedeutung sind, wird die Verwendung der sogenannten dynamischen Rechenmethoden empfohlen. Bei diesen Verfahren wird versucht, die erwarteten veränderlichen Jahreskosten über die ganze Nutzungsdauer einer Investition wertmässig richtig zu berücksichtigen.

Vielfach kann dabei von vereinfachenden Annahmen ausgegangen werden, so dass für die Wirtschaftlichkeitsrechnung einfache Summenformeln verwendet werden können und der Rechenaufwand damit nicht erheblich grösser ist, als für die statischen Hilfsverfahren.

Die wichtigsten dynamischen Rechenmethoden sind:

Die Kapitalwertmethode (Siehe Kapitel 5.2; Seite 31)

Bestimmung des Kapitalwertes einer Investition oder Energiesparmassnahme. Als Kapitalwert einer Investition bezeichnet man die Differenz des Barwertes aller Einnahmen und des Barwertes aller Ausgaben über die Nutzungsdauer der Investition. Eine Investition oder Massnahme ist dann wirtschaftlich, wenn ihr Kapitalwert positiv ist.

* Die Annuitätenmethode (Siehe Kapitel 5.3; Seite 36)

Bestimmung der durchschnittlichen jährlichen Kosten bzw. Kosteneinsparungen einer Investition oder Energiesparmassnahme über die Nutzungsdauer. Eine Investition oder Massnahme ist dann wirtschaftlich, wenn die durchschnittlichen jährlichen Kosteneinsparungen einen positiven Wert ergeben.

* Die Methode des Internen Zinssatzes (Siehe Kapitel 5.4; Seite 38)

Bestimmung der durchschnittlichen Verzinsung (Rendite) des investierten Kapitals über die Nutzungsdauer. Eine Investition oder Energiesparmassnahme ist dann wirtschaftlich, wenn die durchschnittliche Verzinsung wenigstens dem Marktzins (Kalkulationszins) entspricht.

Für die Wirtschaftlichkeitsanalyse von Energiesystemen sind insbesondere die Annuitätenmethode sowie - allenfalls als Ergänzung - die Methode des internen Zinssatzes gut geeignet. Die beiden Rechenmethoden werden im folgenden noch näher erläutert.

3. Die Annuitätenmethode

3.1 Beschreibung der Methode

Die Annuitätenmethode beruht auf der Bestimmung der durchschnittlichen jährlichen Kosten bzw. Kosteneinsparungen (Annuitäten) einer Investition oder Energiesparmassnahme über die Nutzungsdauer, unter Berücksichtigung der künftigen Preissteigerung und Veränderung des Zeitwertes des Geldes.

Eine Investition oder Massnahme gilt als wirtschaftlich, wenn die durchschnittlichen jährlichen Kosteneinsparungen über die Nutzungsdauer einen positiven Wert ergeben. Von zwei möglichen Varianten ist diejenige die kostengünstigere bzw. wirtschaftlichere, welche über die Nutzungsdauer die geringeren durchschnittlichen Jahreskosten (bzw. die höheren durchschnittlichen jährlichen Kosteneinsparungen) aufweist.

Erforderliche Eingangsdaten für die Wirtschaftlichkeitsrechnung sind im wesentlichen:

- Die Investitionskosten I der untersuchten Vorhaben (in Fr.)
- Die Nutzungsdauer n der Investitionen (in Jahren)
- Die jährlichen Betriebskosten A der Investitionen, d.h. die Energiekosten und die Wartungs- und Unterhaltskosten (in Fr. pro Jahr, zu Preisen von heute)
- Die jährlichen Netto-Betriebskosteneinsparungen N gegenüber dem Ist-Zustand, d.h. die Einsparungen an Energiekosten und Einsparungen (oder Mehrkosten) für Wartung und Unterhalt (in Fr. pro Jahr, zu Preisen von heute)
- Der Zinssatz i (Kalkulationszinssatz)
- Die jährliche Teuerungsrate e

Für die Berechnung gelten folgende Formeln:
 Durchschnittliche jährliche Kosten K einer Investition:

$$K = 1 * a + A * d * a \quad (\text{Fr. pro Jahr})$$

Durchschnittliche jährliche Kosteneinsparung G einer Investition:

$$G = - 1 * a + N * d * a \quad (\text{Fr. pro Jahr})$$

Darin bedeuten:

a: Annuitätenfaktor. Berechnung nach Gleichung (5) oder aus Tabelle Anhang 1; der Annuitätenfaktor berechnet sich aus dem Zinssatz i und der Nutzungsdauer n.

d: Diskontierungssummenfaktor. Berechnung nach Gleichung (1 1) oder (1 3) oder aus Tabelle Anhang 2; der Diskontierungssummenfaktor berechnet sich aus dem Zinssatz i, der Teuerungsrate e und der Nutzungsdauer n. Das Produkt $d*a$ wird auch als Mittelwertfaktor m bezeichnet und kann direkt aus der Tabelle Anhang 3 ermittelt werden.

3.2 Einfaches Beispiel

Mit Hilfe der Annuitätenmethode soll untersucht werden, ob sich die Sanierung einer Heizungsanlage lohnt. Die bestehende Anlage ist zwar betriebstüchtig und könnte noch über längere Jahre im Betrieb sein, doch die Energiekosten wie auch die übrigen Betriebs- und laufenden Instandhaltungskosten sind hoch. Die Sanierungsmassnahme sieht den Ersatz der bestehenden Heizungsanlage durch eine neue Anlage mit wesentlich geringerem Energieverbrauch vor.

Die Rechengrössen (Eingangsdaten)

	Bestehende Heizungsanlage (ist-Zustand)		
-	Energiekosten	26'000	Fr./a
-	Uebrige Betriebs- und Instandhaltungskosten	5'000	Fr./a
	Neue Heizungsanlage		
-	Investitionskosten	60'000	Fr.
-	Nutzungsdauer	12	Jahre
-	Energiekosten	20'000	Fr./a
-	Uebrige Betriebskosten	3'000	Fr./a
-	Zinssatz	7	%
-	Teuerung	4	%

(alle Kostendaten zu Preisen von heute)

Die Berechnung

Betriebskosteneinsparung N (zu Preisen von heute):

-	Einsparungen Energiekosten 26'000 - 20'000 =	6'000	Fr./a
-	Einsparungen übrige Betriebskosten 5'000 - 3'000	2'000	Fr./a
-	Total Betriebskosteneinsparung	8'000	Fr./a

-	Annuitätenfaktor a (Tabelle Anhang 1)	0.126
-	Diskontierungssummenfaktor (Tabelle Anhang 2)	10.020

Berechnung der durchschnittlichen jährlichen Kosteneinsparung G über die Nutzungsdauer:

$$G = -60'000 * 0.126 + 8'000 * 10.02 * 0.126 = 2'540 \text{ Fr./a}$$

Die Berechnung ergibt eine durchschnittliche jährliche Kosteneinsparung über die Nutzungsdauer von + 2'540 Fr./a (einschliesslich Berücksichtigung der mittleren Teuerung auf den Energie- und Betriebskosten). Die Sanierungsmassnahme ist also wirtschaftlich.

4. Die Methode des internen Zinssatzes

4.1 Beschreibung der Methode

Nach dieser Rechenmethode wird die durchschnittliche Verzinsung des investierten Kapitals über die Nutzungsdauer einer Investition bestimmt. Diese Verzinsung wird als interner Zinssatz bezeichnet. Ist der interne Zinssatz grösser als der Marktzins (Kalkulationszinssatz), so ist das Investitionsvorhaben wirtschaftlich.

Der interne Zinssatz ist derjenige Zinssatz, bei welchem der Kapitalwert der Investition gerade gleich Null ist. Für die Bestimmung des internen Zinssatzes wird also der Kalkulationszinssatz solange variiert, bis der Kapitalwert Null wird.

Die Formel für den Kapitalwert C einer Investition 1 lautet (siehe Gleichung 15):

$$C = -I + N * d \quad (\text{Fr.})$$

Beim internen Zinssatz gilt also:

$$C = 0$$

Mit Hilfe einer einfachen Interpolation kann der interne Zinssatz in wenigen Rechengängen rasch ermittelt werden.

Für die Berechnung des internen Zinssatzes werden die gleichen Rechengrössen (Eingangsrössen) benötigt wie bei der Annuitätenmethode.

4.2 Einfaches Beispiel

Für das obige Beispiel (3.2) soll der interne Zinssatz der Investition bestimmt werden.

Die Rechengrössen

- Investitionskosten I	60'000	Fr.
- Betriebskosteneinsparungen N (zu Preisen von heute)	8'000	Fr./a

Die Berechnung

Beim Kalkulationszinssatz 7% ergibt sich folgender Kapitalwert:

$$C = 60'000 + 10.02 * 8'000 = 20'160 \text{ Fr.}$$

Versuchsweise wird nun der Kapitalwert für die Zinssätze 10%, 12% und 14% berechnet. Der Diskontierungssummenfaktor wird dabei aus der Tabelle Anhang 2 oder nach der Näherungsgleichung (13) bestimmt.

Zinssatz 10%	$d = 8.49$ $C = -60'000 + 8.49 * 8'000$	7'920	Fr.
Zinssatz 12%	$d = 7.66$ $C = -60'000 + 7.66 * 8'000$	1'280	Fr.
Zinssatz 14%	$d = 6.81$ $C = -60'000 + 6.81 * 8'000$	-5'520	Fr.

Die obige Rechnung zeigt, dass der interne Zinssatz, d.h. der Zinssatz, bei welchem der Kapitalwert Null wird, zwischen 12% und 14% liegt. Eine einfache Interpolation ergibt für den internen Zinssatz einen Wert von 12.4%. Wie schon mit der Annuitätenmethode nachgewiesen, ist also das Sanierungsvorhaben wirtschaftlich (interner Zinssatz grösser als der Kalkulationszinssatz).

1 . Bedeutung der Wirtschaftlichkeitsrechnung im betrieblichen Energiebereich

1.1 Die unterschiedlichen Anforderungen an die Energieversorgung

Energie und Energieversorgungssystem gehören in jedem Unternehmen und industriellen Prozess mit zu den wichtigsten Faktoren der betrieblichen Leistungserstellung. Entsprechend vielfältig sind die Anforderungen, die an die Energieversorgung gestellt werden. Aus unternehmerischer Sicht sind dabei neben der Wirtschaftlichkeit vor allem auch die Versorgungs- und Betriebssicherheit von Bedeutung. Darüber hinaus gelten verschiedene volkswirtschaftliche und oekologische Zielsetzungen und Einschränkungen, welche bei der Ausgestaltung bzw. Beurteilung der Energiesysteme mitberücksichtigt werden müssen. Die wesentlichen Anforderungen an die betriebliche Energieversorgung sind also:

- Ausreichende und sichere Versorgung mit Energieträgern
- Störungsfreie und bedarfsgerechte innerbetriebliche Energiebereitstellung
- Wirtschaftlichkeit, sowohl aus unternehmerischer, wie auch aus volkswirtschaftlicher Sicht
- Rationelle und energiewirtschaftlich sinnvolle Energienutzung
- Umweltgerechte Energienutzung

Die verschiedenen Zielsetzungen stehen vielfach in Konkurrenz zueinander; so führen z.B. hohe Anforderungen an die Versorgungs- und Betriebssicherheit oder das Gebot der umweltschonenden Energienutzung in der Regel zu höheren Kosten und damit zu einer Einschränkung der Wirtschaftlichkeit. Die betriebliche Energieversorgung stellt also eine Optimierungsaufgabe dar, bei der es in der Regel darum geht, bei vorgegebenem Anforderungsstandard (Nutzenergiebedarf für Betrieb und Produktion, Qualität der Energieversorgung, Umweltbelastung, etc.) möglichst geringe Energiekosten zu erzielen.

Die Wirtschaftlichkeitsanalyse erfordert grundsätzlich eine gesamtwirtschaftliche Sicht. Dies heisst, dass auch die externen Kosten (oder Nutzen) der betrieblichen Energieversorgung in die Betrachtung einbezogen werden sollten. Darunter versteht man Kosten und Nutzen, die als Folge einer betrieblichen Massnahme an anderer Stelle in der Volkswirtschaft, ausserhalb des Betriebes entstehen. Externe Kosten ergeben sich z.B. in Form der Umweltbelastung. Umgekehrt führen innerbetriebliche Rationalisierungs- oder Sanierungsmassnahmen im Energiebereich zu einer Senkung der Umweltbelastung und damit zu einem externen Nutzen (bzw. einer Verminderung externer Kosten), welcher der Rationalisierungsmassnahme bei der wirtschaftlichen Bewertung angerechnet werden muss. Externe Kosten und Nutzen sind vielfach schwer quantifizierbar und monetär erfassbar; sie bleiben in der betrieblichen Energiekostenrechnung denn auch meist unberücksichtigt.

Im vorliegenden Leitfaden steht die einzelwirtschaftliche, unternehmerische Zielsetzung im Vordergrund. Die hier behandelten Methoden der Wirtschaftlichkeitsrechnung beschränken sich also im wesentlichen auf die rein monetären Beurteilungsverfahren, welche der Beurteilung von Energiesystemen und energietechnischen Massnahmen aus betriebswirtschaftlicher Sicht dienen.

1.2 Die betriebswirtschaftliche Fragestellung

Die Wirtschaftlichkeitsrechnung dient als Entscheidungsgrundlage insbesondere bei Investitionsvorhaben (daher statt "Wirtschaftlichkeitsrechnung" vielfach auch die Bezeichnung "Investitionsrechnung"). Dabei geht es aus unternehmerischer Sicht in der Regel um eine der folgenden Fragestellungen:

- Die Kostenfrage bzw. Kostenminimierungsfrage

Bestimmung der Gesamtkosten eines Energiesystems oder einer energietechnischen Massnahme (i.d.R. als Jahreskosten); bzw. Bestimmung der kostengünstigsten Lösung bei mehreren möglichen Alternativen (Variantenvergleich).

- **Die Rentabilitätsfrage**

Bestimmung der Rentabilität einer Investition. (Unter Rentabilität versteht man das Verhältnis des jährlichen Nutzens oder Gewinnes zum eingesetzten Kapital).

- **Die Amortisationsfrage**

Bestimmung der Amortisationszeit einer Investition. (Die Amortisationszeit gibt an, in welchem Zeitraum der ursprüngliche Investitionsbetrag aus den jährlichen Gewinn- und Abschreibungsbeträgen zurückbezahlt werden kann).

- **Die Ersatzfrage**

Bestimmung des wirtschaftlich günstigsten Zeitpunktes einer Ersatzinvestition oder Sanierungsmassnahme.

Die betriebliche Energieversorgung ist, wie bereits dargelegt, ein unverzichtbarer Produktionsfaktor, bei dem neben der Wirtschaftlichkeit vor allem auch die Sicherheit der Versorgung und die umweltgerechte Energienutzung von Bedeutung sind. Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen sind hier also nicht primär gewinnorientiert; die Bestimmung der geringst möglichen Kosten bei einem bestimmten Anforderungsstandard steht im Vordergrund (Kostenminimierungsfrage), während die Fragen der Höhe der Rendite oder der Amortisationszeit meist weniger stark gewichtet werden. Wenn allerdings bei einem Investitionsentscheid die Risikofrage oder Liquiditätsfrage (Kapitalknappheit) im Vordergrund stehen, wird man als Entscheidungskriterium auch die Amortisationszeit heranziehen.

Beim endgültigen Entscheid über die geplante Massnahme müssten dann in einem erweiterten Gesamtbeurteilungsverfahren auch die monetär nicht oder nur schwer erfassbaren Kriterien (z.B. Betriebssicherheit, Risiko, Komfort) sowie die volkswirtschaftlichen und oekologischen Kosten- und Nutzenüberlegungen miteinbezogen werden. Dazu sind besondere Beurteilungsverfahren entwickelt worden, die jedoch im Rahmen dieses kurzen Leitfadens nicht näher behandelt werden können (Nutzwertanalyse, etc.; vgl. z.B. Winje/Witt, Energiewirtschaft, Springer Verlag 1991).

Je nach der betriebswirtschaftlichen Sichtweise und Fragestellung bieten sich unterschiedliche Methoden der Wirtschaftlichkeitsrechnung an. Die Kenntnis der verschiedenen Rechenmethoden, ihrer Aussagemöglichkeiten, Vor- und Nachteile, Prämissen und Grenzen der Anwendbarkeit ist dabei eine wichtige Voraussetzung für Qualität und Gültigkeit der wirtschaftlichen Analyse als Entscheidungsgrundlage. Die zweckmässige Wahl und richtige Anwendung des Bewertungsverfahrens ist umso wichtiger, als Energieversorgungssysteme meist durch eine hohe Kapitalbindung (Fixkostenbelastung) gekennzeichnet sind und Fehlinvestitionen nur schwer rückgängig gemacht werden können.

2. Grundlagen der Wirtschaftlichkeitsrechnung

2.1 Bedeutung der Rechengrößen

Vorurteilsfreie Festlegung der Daten

Es ist offensichtlich, dass Ergebnis und Aussage der Wirtschaftlichkeitsrechnung direkt und entscheidend von der Wahl der Eingangs-Daten und Parameter abhängen. Oft genügt die besondere Festlegung einer einzigen Rechengrösse, um das Resultat einer Vergleichsrechnung in die eine oder andere Richtung zu lenken und damit einen Investitionsentscheid unter Umständen wesentlich zu beeinflussen. Eine möglichst vorurteilsfreie Bestimmung und plausible Begründung aller Datenannahmen sollte daher zu den Grundsätzen jeder Wirtschaftlichkeitsanalyse gehören.

Unsicherheit der Daten, unsichere Erwartungen

Bei vielen Eingangsdaten besteht allerdings im Bezug auf ihre Bestimmung oder Festlegung erhebliche Unsicherheit und ein Ermessensspielraum. Dadurch wird die geforderte vorurteilsfreie Datenwahl erschwert.

Unsicherheit besteht vor allem bezüglich der zukunftsgerichteten Daten (z.B. Brennstoffpreisentwicklung, Teuerungsraten, Bedarfsprognosen, technologische Entwicklung), welche insbesondere bei den "dynamischen" Beurteilungsverfahren eine Rolle spielen. Demgegenüber scheint die Situation für die "statischen" Verfahren einfacher, da hier vereinfachend künftige Veränderungen der Daten unberücksichtigt bleiben (für die Erläuterung der Besonderheiten der statischen und dynamischen Methoden siehe Kapitel 4 und 5). Dies spricht aber noch nicht für eine bessere Eignung der statischen Betrachtung. Die Unsicherheit zukunftsgerichteter Daten sollte nicht dazu verleiten, die längerfristige Entwicklung unberücksichtigt zu lassen. Die Verwendung unsicherer Zukunftsannahmen wird in den meisten Fällen immer noch zu realistischeren Ergebnissen führen, als die völlige Vernachlässigung der künftigen längerfristigen Datenveränderungen. Gerade bei kapitalintensiven Energiesparvorhaben ist dies von Bedeutung, wo die Wirtschaftlichkeit oft erst langfristig gegeben ist.

Monetär schwer erfassbare Faktoren und Daten

Es gibt Faktoren oder Vorgänge, welche für die wirtschaftliche Beurteilung eines Energiesystems oder einer energietechnischen Massnahmen grundsätzlich von Bedeutung sind, die jedoch monetär schwer erfasst werden können. Dazu gehört z.B. der Faktor Betriebssicherheit oder der Faktor Umweltauswirkung. Es kann versucht werden, solche Faktoren zu quantifizieren und zu bewerten (z.B. der wirtschaftliche Nutzen einer erhöhten Betriebssicherheit), und so in die Investitionsrechnung direkt einzubeziehen. Damit verliert aber die Wirtschaftlichkeitsrechnung unter Umständen an Transparenz. Es erscheint daher zweckmässiger, monetär schwer erfassbare Daten ausserhalb der eigentlichen Investitionsrechnung zu bewerten und in den Entscheidungsprozess einzubeziehen.

Entscheidungshilfen bei Unsicherheit der Daten und Parameter

Es gibt verschiedene Methoden, um im Rahmen von Wirtschaftlichkeitsrechnungen mit unsicheren Daten die Beurteilung der Ergebnisse zu erleichtern und die Risiken des Entscheides zu mindern. Dabei ist es vor allem wichtig, zu erkennen, in welchem Ausmass und in welcher Richtung die Veränderung einer Rechengrösse oder eines Parameters das Rechenresultat zu verändern vermag.

- Anwendung der Wahrscheinlichkeitsrechnung
Dieses Verfahren ist in der betrieblichen Praxis nicht üblich

- Anwendung von Risikozuschlägen (Korrekturverfahren)

Um das unternehmerische Risiko eines Investitionsentscheides zu vermindern, kann der anfänglich angenommene Wert eines Parameters so geändert werden, dass man mit der Aussage der Wirtschaftlichkeitsrechnung "auf der sicheren Seite" bleibt (Risikozuschlag). So kann der Kalkulationszinssatz erhöht, oder die Lebensdauer einer Anlage kürzer angesetzt werden. Damit werden z.B. bei der Analyse einer Rationalisierungsmassnahme die ausgewiesenen künftigen Kosteneinsparungen reduziert; das Vorhaben erscheint weniger rentabel.

Insgesamt ist es allerdings wenig sinnvoll, das "Sicherheitspolster" von vornherein in die Rechnung einzubauen. Das zweckmässigere Vorgehen dürfte in den meisten Fällen darin bestehen, für die Basisrechnung zunächst die unveränderten, ursprünglichen und möglichst realistischen Daten und Parameter zu verwenden, und in einer anschliessenden Sensitivitätsanalyse dann den Einfluss von Datenveränderungen auf das Rechenergebnis näher zu untersuchen.

- Sensitivitätsanalyse

Mit der Sensitivitätsanalyse wird der Zusammenhang zwischen Eingangsdaten und dem Rechenergebnis sichtbar gemacht. Bei der Sensitivitätsanalyse wird in der Regel eine einzelne Rechengrösse (z.B. der Zinssatz, der Brennstoffpreis, die jährliche Benützungsdauer einer Anlage, etc.) in mehreren Schritten verändert, während alle übrigen Daten unverändert bleiben. Das Rechenergebnis (z.B. die durchschnittlichen jährlichen Kosteneinsparungen oder die Rendite einer Massnahme, die durchschnittlichen Energiegestehungskosten, etc.) wird dann graphisch als Funktion der veränderlichen Eingangsgrösse dargestellt.

Die Fragestellung einer Sensitivitätsanalyse kann also z.B. lauten:

- Wie verändern sich die Rendite einer Rationalisierungsinvestition oder die gesamten Kosteneinsparungen über die Lebensdauer der Investition, wenn die jährliche Brennstoffsteuerung x% statt y% beträgt ?

- Wie verändern sich die durchschnittlichen Stromgestehungskosten einer Wärmekraftkopplungsanlage in Funktion der jährlichen Benützungsdauer der Anlage ?

Oft wird mit Hilfe der Sensitivitätsanalyse nach dem kritischen Wert einer Eingangsgrösse gesucht, bei welchem eine vorgegebene Mindestanforderung an ein Investitionsvorhaben (z.B. bezüglich Rendite oder Amortisationszeit der Investition) unter- oder überschritten wird (Verfahren des kritischen Wertes).

Bei der Anwendung der Sensitivitätsanalyse ist zu beachten, dass die Eingangsdaten der Wirtschaftlichkeitsrechnung vielfach nicht unabhängig voneinander sind und die einseitige Veränderung einer einzelnen Rechengrösse dann nur näherungsweise oder überhaupt nicht zulässig ist. So darf z.B. der Zinssatz (Nominalzins) bei einer vorgegebenen Teuerungsrate nur in engen Grenzen variiert werden; bei starker Erhöhung des Nominalzinses muss auch eine stärkere Teuerung unterstellt werden.

Relevante und nicht relevante Daten

Es ist wichtig zu erkennen, welche Daten und Rechengrössen bei der gegebenen Fragestellung oder für ein bestimmtes Rechenverfahren überhaupt relevant sind, d.h. notwendigerweise verwendet werden müssen. Relevant sind grundsätzlich jene Daten, deren Berücksichtigung bzw. Veränderung auf das Rechenergebnis einen Einfluss haben. Die Frage der relevanten Daten sei mit folgendem Beispiel kurz illustriert:

Geht es darum zu bestimmen, welche von zwei Varianten die günstigere ist, so können jene Kosten unberücksichtigt bleiben, die für beide Varianten gleich sind. Relevant sind also an sich nur die

Differenzkosten (Mehr- und Minderkosten der einen gegenüber der andern Variante). Vergleicht man z.B. den Weiterbetrieb eines bestehenden Energiesystems (Ist-Zustand) mit dem Ersatz durch ein neues, energiesparenderes System, so können die noch anfallenden Kapitalkosten des bestehenden Energiesystems unberücksichtigt bleiben, denn sie fallen auch für die Alternative "Ersatzinvestition" weiterhin gleichermassen an (abgesehen von allenfalls unterschiedlichen Restwerten). "Relevant" werden die Kapitalkosten des bestehenden Energiesystems allerdings dann, wenn es nicht nur darum geht, die vorteilhaftere Alternative zu ermitteln, sondern wenn man auch die jeweiligen Gesamtkosten kennen möchte; dann müssen diese Kapitalkosten in beiden Fällen hinzugerechnet werden.

2.2 Investitionskosten

Unter dem Begriff der Investition im Sinne der Sachinvestition - wie er im vorliegenden Zusammenhang von Bedeutung ist - versteht man die Verwendung von finanziellen Mitteln für die Anschaffung von langlebigen Sachanlagen. Dabei werden folgende Investitionsarten unterschieden:

- Neuinvestition (erstmalige Anschaffung)
- Erweiterungsinvestition (Erhöhung der Kapazität)
- Ersatz- oder Erneuerungsinvestition
- Rationalisierungsinvestition (Effizienzerhöhung)

Investitionen müssen finanziert werden. Finanzierung bedeutet also die Beschaffung der für die Investition erforderlichen finanziellen Mittel. Die Finanzierung kann mittels Eigenkapital des Unternehmens oder durch Fremdkapitalbeschaffung (Kreditaufnahme) erfolgen. Der Zins (Eigenkapital- oder Fremdkapitalzins) ist der Preis für die Beanspruchung des Kapitals.

Komponenten der Investitionskosten

Die Investitionskosten (oder Investitionsausgaben) sind die Summe der finanziellen Mittel, welche für die Realisierung der Investition benötigt werden. Sie sind eine der Schlüsselgrößen jeder Wirtschaftlichkeitsrechnung, und ihre vollständige und korrekte Erfassung ist von erheblicher Bedeutung. Die Investitionskosten stellen jenen Betrag dar, der in der Unternehmensbilanz aktiviert wird und der über die Nutzungsdauer der Investition abgeschrieben werden muss. Folgende Komponenten gehören zu den Investitionsausgaben:

- Die direkten Anlagekosten (Material, Transport und Montage, Bauten, Land)
- Kosten der Planung, Beratung, Bauüberwachung, Inbetriebnahme
- Kosten der Finanzierung während der Bauzeit (Bauzinsen)
- Eventuell Personalausbildungskosten, Produktionsausfallkosten
- Eventuell Netzkostenbeiträge (bei Energiesystemen mit leitungsgebundenen Energieträgern)

Subventionen: In einigen Kantonen werden Energiesparmassnahmen oder Anlagen zur Nutzung von erneuerbarer Energie subventioniert. Für die Wirtschaftlichkeitsrechnung sind dann die Nettoinvestitionen massgebend, d.h. die gesamten Investitionen abzüglich des Subventionsbetrages.

Bei grossen Investitionsvorhaben mit Bauzeiten von über einem Jahr dürfen die Bauzinsen in der Wirtschaftlichkeitsrechnung nicht unberücksichtigt bleiben und zwar selbst dann, wenn keine Kredite aufgenommen werden müssen. Auch bei der Finanzierung aus eigenen Mitteln ist für die Eigenkapitalbeanspruchung ein Zins zu berechnen.

Die Bauzinsen lassen sich näherungsweise berechnen als Zins auf dem im Mittel über die Bauzeit gebundenen Kapital, d.h. auf 50% der Investitionsausgaben. Bei einer Bauzeit von 3 Jahren und einem mittleren Zinssatz von 7% betragen also die Bauzinsen insgesamt rund 10.5% der Investitionsausgaben ($0.5 * 3 * 7 = 10.5$).

Abgrenzung der Investitionskosten

Bei der Untersuchung der Wirtschaftlichkeit einer energietechnischen Massnahme oder eines energetischen Prozesses sind nur jene Investitionsausgaben zu berücksichtigen, welche dieser Massnahme oder diesem Prozess direkt zugeordnet sind. Eine solche Abgrenzung ist nicht immer einfach. Interessiert man sich z.B. bei einer Wärmekraftkopplungsanlage nur für die Kosten des Koppelproduktes Strom, so müsste eine Aufteilung der Investitionskosten auf die Bereiche Stromproduktion und Wärmeproduktion vorgenommen werden. Eine eindeutige Zuordnung ist jedoch kaum möglich, und in der Praxis werden die Kosten der Koppelprodukte daher in der Regel nach anderen Verfahren berechnet, die keine Aufteilung der Investitionskosten erfordern. Auch bei baulichen Sanierungsmassnahmen, die nicht nur dem Energiesparen dienen, ist eine Investitionskostenzuordnung nicht exakt möglich. Näherungsweise Kostenaufteilungen sind in diesen Fällen notwendig.

Nutzungsdauer (Lebensdauer) einer Investition

Die Nutzungsdauer (Lebensdauer) einer Anlage ist einer der wesentlichen Bestimmungsfaktoren der Wirtschaftlichkeit einer Investition: Je länger die Nutzungsdauer, desto kleiner sind die jährlichen Kapitalkosten. Bei der Wirtschaftlichkeitsanalyse von Energiesystemen oder Energiesparmassnahmen ist es sinnvoll, mit Nutzungsdauern zu rechnen, welche etwa den praktisch erreichbaren Lebensdauern der Anlagen entsprechen. Für elektrische und mechanische Anlagen gelten in der Regel rechnerische Nutzungsdauern von 15 - 25 Jahren, für bauliche Anlagen von 30 - 40 Jahren.

Aus Liquiditätsüberlegungen oder Risikogründen werden bei unternehmerischen Investitionsentscheidungen vielfach Nutzungsdauern bzw. Sollamortisationszeiten zugrunde gelegt, welche wesentlich kürzer als obige Werte sind; aus unternehmerischer Sicht wird also erwartet, dass die Investition in wenigen Jahren zurückbezahlt wird. Kurze Sollamortisationszeiten können andererseits aber dazu führen, dass eine an sich sinnvolle und wirtschaftliche Energiesparmassnahme nicht verwirklicht wird.

Mit der Festlegung der Nutzungsdauer ergeben sich die jährlichen Abschreibungskosten. So betragen z.B. bei einer Nutzungsdauer von 20 Jahren und linearer Abschreibung die jährlichen Abschreibungen 5% der Investitionsausgaben.

Restwert (Liquidationswert) einer Investition oder Anlage

Eine Anlage besitzt am Ende ihrer Nutzungsdauer, wenn eine Ersatzinvestition vorgenommen werden muss, meist einen gewissen Restwert (Liquidationswert), welcher im Rahmen der Wirtschaftlichkeitsrechnung als "Gutschrift" berücksichtigt werden muss. Dies geschieht z.B. dadurch, dass die jährliche Abschreibung nicht auf dem vollen Investitionsbetrag, sondern auf dem um den Restwert reduzierten Betrag berechnet wird (siehe 2.4. 1, Abschreibungen).

2.3 Die jährlichen Kosten (Jahreskosten)

Kosten entstehen durch den Einsatz und die Nutzung von Produktionsfaktoren (z.B. Personal, Kapital, Energie) für eine betriebliche Leistungserstellung während einer bestimmten Zeitdauer. Die Kosten eines Produktionsfaktors ergeben sich also als Produkt aus Menge und Preis des Faktors. So ergeben sich beispielsweise die Heizölkosten für eine bestimmte Zeitperiode aus der in der Periode verbrauchten Heizölmengen mal die in der Periode massgeblichen Oeileinkaufspreise. Meist wird dabei nach den jährlichen Kosten (Jahreskosten) gefragt, d.h. nach den in einer Jahresperiode anfallenden Kosten.

Im vorliegenden Zusammenhang geht es um die Kosten der betrieblichen Energieversorgung oder um die Kosten von betrieblichen Massnahmen zur rationelleren Nutzung von Energie. Wichtig ist dabei die Erkenntnis, dass die Gesamtkosten der betrieblichen Energieversorgung nicht einfach aus den Energiekosten im engeren Sinn bestehen, (d.h. den Kosten der eingekauften Energieträger Elektrizität, Oel, etc.), sondern dass zu den Energieversorgungskosten auch alle Kosten der betriebsinternen Energieumwandlung und- verteilung einschliesslich der Kosten für die umweltgerechte Entsorgung gehören, welche entstehen, bis die Energie schliesslich in der erforderlichen Form von Einsatzenergie (Gebrauchsenergie) zur Verfügung steht.

Kostenarten

Die Jahreskosten werden zweckmässigerweise nach folgenden Kostenarten unterteilt:

Kapitalkosten	- Abschreibungen - Zinsen
Betriebskosten	- Energiekosten im engeren Sinn (Kosten der eingekauften und verbrauchten Energieträger) - Bedienungs- und Unterhaltskosten - Uebrige Kosten (z.B. Verwaltungskostenanteil, Versicherung, Steuern)

Vielfach wird eine weitere Unterscheidung nach fixen und variablen Kosten vorgenommen. Als variabel werden im Zusammenhang mit Energiesystemen jene Kosten bezeichnet, welche von der Menge der verbrauchten Energie abhängen (deshalb auch etwa die Bezeichnung verbrauchsgebundene Kosten). Variabel sind also zunächst die mengenabhängigen Energiekosten (die Kosten des verbrauchten Heizöls etc.), darüber hinaus aber auch die Kosten für Betriebsstoffe oder Anteile der Energielagerkosten. Als fix betrachtet man andererseits jene Jahreskosten, welche von der verbrauchten Energiemenge unabhängig sind, also z.B. die Kapitalkosten und im wesentlichen die Personalkosten.

Kosten, insbesondere volkswirtschaftliche Kosten, entstehen auch durch die übermässige Nutzung des Gutes Umwelt als Produktionsfaktor. Soweit die Umweltkosten nicht durch die Preise der betrieblichen Produktionsfaktoren abgegolten sind, bleiben sie in der Wirtschaftlichkeitsrechnung des Betriebes jedoch meist unberücksichtigt.

2.4 Kapitalkosten

Die Kapitalkosten, bestehend aus den Abschreibungen und den Zinskosten, sind die Kosten für die Nutzung eines Investitionsobjektes und die Beanspruchung des investierten Kapitals. Die jährlichen Abschreibungen entsprechen dem Wertverlust, den die Anlage durch seine Nutzung erleidet. Der Zins ist der Preis für die Beanspruchung von Kapital.

2.4.1 Abschreibungen

Im betrieblichen Rechnungswesen werden verschiedene Arten von Abschreibungen verwendet, insbesondere die lineare Abschreibung (mit jährlich gleichen Abschreibungsbeträgen) oder die degressive Abschreibung (z.B. die arithmetisch degressive Abschreibung, bei der sich der Abschreibungsbetrag jährlich um einen gleichen Betrag vermindert). Die degressive Abschreibung wird vor allem aus steuerlichen Gründen verwendet.

Für Wirtschaftlichkeitsrechnungen wie sie im vorliegenden Leitfaden behandelt werden, verwendet man das Konzept der linearen Abschreibung, oder es werden Abschreibung und Zins als "Annuität" berechnet, d.h. als ein über die Nutzungsdauer der Investition gleichbleibender jährliche Betrag (siehe dazu weiter unten).

Die **lineare Abschreibung** (K_A) wird nach folgender Formel berechnet:

$$K_A = (I - LW)/n \quad (\text{Fr. pro Jahr}) \quad (1)$$

wo
 I = Investitionskosten der Anlage
 n = Nutzungsdauer (Lebensdauer) der Anlage (Jahre)
 LW = Liquidationswert der Anlage am Ende der Nutzungsdauer

Der Liquidationswert der Anlage ist in der Regel ein unbedeutender Betrag, welcher in erster Näherung vernachlässigt werden kann. Er bleibt im folgenden unberücksichtigt.

Mit Hilfe des Abschreibungssatzes $b = 1/n \cdot 100$ (%) ergibt sich für die jährliche Abschreibung auch:

$$K_A = b/100 \cdot I \quad (\text{Fr. pro Jahr}) \quad (2)$$

Bei bestehenden Anlagen ist manchmal nicht der ursprüngliche Investitionswert (die historischen Anschaffungskosten) gegeben, sondern der heutige Buchwert W_N (heutiger Anlagenwert nach Abschreibungen) sowie eine geschätzte Restlebensdauer n_r der Anlage gegeben. Für die lineare Abschreibung über die Restlebensdauer ergibt sich dann:

$$K_A = W_N/n_r \quad (\text{Fr. pro Jahr}) \quad (3)$$

2.4.2 Zinskosten und Kalkulationszinssatz

Im Rahmen der Wirtschaftlichkeitsanalyse bedeuten die Zinskosten die Verzinsung des gesamten eingesetzten Kapitals, also nicht nur die Verzinsung von Fremdkapital, sondern auch ein Zins auf dem durch Eigenkapital finanzierten Teil der Investitionen. Für das Eigenkapital erwartet der Investor ja ebenfalls eine Verzinsung, wenigstens im Umfang der entgangenen Zinseinnahmen bei einer alternativen Anlage seines Kapitals.

Der für unsere Wirtschaftlichkeitsrechnung massgebliche Zinssatz (der Kalkulationszinssatz) ist also im Prinzip die Mindestverzinsung, die wir für die geplante Investition insgesamt erwarten: Liegt die Rendite der Investition oder Massnahme unter dem Kalkulationszins, so ist das Vorhaben als "unwirtschaftlich", andernfalls als "wirtschaftlich" zu beurteilen.

Als Kalkulationszinssatz wäre grundsätzlich eine Mischung aus Fremdkapital- und Eigenkapitalzins zu verwenden. Da für das Eigenkapital aus Risikoüberlegungen in der Regel eine höhere Rendite erwartet wird, liegt der Kalkulationszinssatz dann etwas höher als der Zinssatz für langfristiges Fremdkapital. Die Wahl des Kalkulationszinssatzes für die Wirtschaftlichkeitsrechnung ist allerdings bis zu einem gewissen Grad eine Ermessenssache. Insbesondere für die Analyse von Rationalisierungsmassnahmen im Energiebereich, wo Gewinn- und Risikoüberlegungen von geringer Bedeutung sind, sollte der Kalkulationszinssatz höchstens dem Zins für neues langfristiges Fremdkapital entsprechen. Vielfach wird auch ein etwas tieferer Kalkulationszinssatz verwendet, entsprechend dem Zinssatz für langfristige Kapitalanlagen.

2.4.3 Kapitalkosten als Annuität

In der Wirtschaftlichkeitsrechnung werden Abschreibung und Zins gewöhnlich nicht getrennt berechnet, sondern die Kapitalkosten werden als Annuität ermittelt, das heisst als ein über die Nutzungsdauer der Investition gleichbleibender, jährlicher Betrag. Die Annuität ist also jener konstante Jahresbetrag, welcher die Rückzahlung und Verzinsung des eingesetzten Kapitals über die Nutzungsdauer gewährleistet.

Bei einem Zinssatz von i und einer Nutzungsdauer von n Jahren berechnen sich die jährlichen Kapitalkosten K_K einer Investition I nach der folgenden Formel (der Liquidationswert am Ende der Nutzungsdauer wird dabei vernachlässigt):

$$K_K = I \cdot a \quad (\text{Fr./Jahr}) \quad (4)$$

Der Faktor a wird als **Annuitätenfaktor** bezeichnet.

$$a = \frac{(1+i)^n \cdot i}{(1+i)^n - 1} \quad (5)$$

Der Zinssatz i wird in obiger Formel in dezimaler Schreibweise (per unit) eingesetzt.

Beispiel: Bei einem Zins von 7% und einer Nutzungsdauer von 15 Jahren beträgt der Annuitätenfaktor $((1 + 0.07)^{15} \cdot 0.07) / ((1 + 0.07)^{15} - 1) = 0.11$ (11%).

Eine Tabelle der Annuitätenfaktoren für verschiedene Zinssätze und Nutzungsdauern ist im Anhang 1 gegeben.

2.5 Betriebskosten

2.5.1 Energiekosten

Die Energiekosten im engeren Sinn sind die Kosten der vom Betrieb eingekauften (und verbrauchten) Energieträger (Heizöl, Gas, Fernwärme, die aus dem Netz bezogene Elektrizität), so wie sie gemessen und fakturiert werden. Die weiteren Kosten der Energieversorgung, z.B. die Kosten der Energieumwandlung, Verteilung, Lagerung, etc. sind in den übrigen Betriebskosten und den Kapitalkosten enthalten.

Die beiden Faktoren der Energiekosten sind also der in der Betrachtungsperiode massgebliche Energieeinkaufspreis (Strompreis Rp/kWh, Oelpreis Fr./100kg, etc) und die in der Periode zur Deckung des Energiebedarfs verbrauchte Endenergiemenge. Die Endenergiemenge wird dabei bestimmt durch den Nutzenergieverbrauch und die betriebsinternen Energieverluste.

Der Energiepreis (Energieeinkaufspreis) besteht im einfachsten Fall aus einem reinen Mengenpreis (Preis pro Mengeneinheit, z.B Fr. pro 100kg Heizöl) welcher periodisch der Teuerung angepasst wird.

Bei den leitungsgebundenen Energieträgern sind jedoch die Energiepreise vielfach mehrgliedrige Tarife, welche neben dem Mengenpreis (oder Arbeitspreis) noch z.B. einen Grundpreis und einen Leistungspreis enthalten. Der Grundpreis ist dann in der Regel ein konstanter jährlicher Betrag, welcher die Kosten des Versorgungsunternehmens für Messung und Verrechnung abdecken soll. Der Leistungspreis ist von der abonnierten oder effektiv beanspruchten maximalen Leistung (kW) abhängig und soll grundsätzlich die fixen Kosten der Energieerzeugungs- und Energieverteilanlagen

des Versorgungsunternehmens decken (Kapital-, Bedienungs-, Unterhaltskosten). In der Praxis wird von den Versorgungsunternehmen meist keine streng kostenorientierte Zuordnung zum Grund-, Leistungs- und Arbeitspreis vorgenommen. Da sich für kleine Verbraucher die relativ teure Leistungsmessung nicht lohnt, wird z.B. bei den Elektrizitätshaushaltstarifen auf eine Leistungsmessung überhaupt verzichtet und (abgesehen von einem Grundpreis) nur ein Arbeitspreis verrechnet, welcher auch die fixen Kosten der Versorgung abdeckt.

Elektrizitätstarife

Bei den Elektrizitätstarifen wird meist nach der Tageszeit und z.T. auch nach der Jahreszeit des Strombezuges differenziert. Das folgende Beispiel zeigt schematisch die allgemeine Form eines mehrgliedrigen Tarifes mit Doppeltariffmessung (Hoch- und Niedertarif).

Grundpreis:	p_G	(Fr. pro Monat)
Leistungspreis:	p_P	(Fr. pro kW der im Monat gemessenen max. Leistung P, pro Monat)
Arbeitspreis:		
- Hochtarif	$p_{A(HT)}$	(Rp. pro kWh der während der Hochtarifzeit, z.B. 06.00h - 22.00 h, bezogenen Energie)
- Niedertarif	$p_{A(NT)}$	(Rp. pro kWh der während der Niedertarifzeit, z.B. 22.00 h - 06.00 h, bezogenen Energie)
Beispiel:		
	$p_G =$	50 Fr./Monat
	$p_P =$	16 Fr./kW/Monat
	$p_{A(HT)} =$	15 Rp./kWh
	$p_{A(NT)} =$	10 Rp./kWh
	$P =$	100 kW (max. Leistung im Monat)
	$E_{n_{HT}} =$	20 MWh (Strombezug im HT, im Monat)
	$E_{n_{NT}} =$	10 MWh (Strombezug im NT, im Monat)
	$E_n =$	30 MWh (total Strombezug im Monat)

Total Stromkosten pro Monat:

$$K_{EL} = 50 + 100 \cdot 16 + (20 \cdot 15 + 10 \cdot 10) \cdot 1000/100 = 5'650 \text{ Fr.}$$

Durchschnittspreis des Stromes (im Monat):

$$p_{EL} = (5'650/30'000) \cdot 100 = 18.84 \text{ Rp./kWh}$$

Der Durchschnittspreis von 18.84 Rp/kWh setzt sich zusammen aus einem durchschnittlichen Grundpreis von 0.16 Rp/kWh, einem durchschnittlichen Leistungspreis 5.33Rp/kWh und einem durchschnittlichen Arbeitspreis von 13.35 Rp/kWh.

Für die Wirtschaftlichkeitsrechnung kann so meist in einfacher Weise der Stromdurchschnittspreis berechnet werden, welcher dann noch der jährlichen Preissteigerung angepasst werden muss.

Brennstoffpreise

Gaspreise sind Zweigliedertarife (Arbeits- und Leistungspreis) oder reine Arbeitspreise (Fr./MWh bezogen auf den oberen Heizwert $H_{\#0}$ des Gases). Es gelten in der Regel unterschiedliche Tarife je

nach Art und Grösse des Bezuges. So gelten z.B. tiefere Tarife für Bezüger, welche bereit sind, während der Lastspitze auf Oelbetrieb umzuschalten. Für energiewirtschaftliche Rechnungen ist es zweckmässig, den Gaspreis auf die Einheiten Fr./GJ oder Fr./MWh bezogen auf den unteren Heizwert H_u umzurechnen. Dies ermöglicht auch den Kostenvergleich mit anderen Brennstoffen. Für die Umrechnung gilt:

$$1 \text{ Fr./MWh } (H_o) = 1.11 \text{ Fr./MWh } (H_u)$$

Für die **Heizölpreise** ist die Verrechnungseinheit Fr./100 kg üblich mit abgestuften Preisen je nach Bezugsmenge. Bei einem Heizwert für Heizöl Extraleicht von 42 GJ/t gilt die Beziehung:

$$1 \text{ Fr./100 kg} = 0.238 \text{ Fr./GJ} = 0.856 \text{ Fr./MWh } (H_u)$$

Anschlussgebühren und Netzkostenbeiträge

Bei den leitungsgebundenen Energieträgern bezahlen die Konsumenten in der Regel einmalige Anschlussgebühren oder Netzkostenbeiträge. Diese Gebühren sind ebenfalls Bestandteil der betrieblichen Energieversorgungskosten. Grosse Netzkostenbeiträge können dabei wie Investitionen von langer Nutzungsdauer behandelt werden und in der Kostenrechnung als Annuitäten (jährlich gleiche Teilbeträge) eingesetzt werden.

2.5.2 Bedienungs- und Unterhaltskosten

Die Bedienungs- und Unterhaltskosten des Energiesystems (oft als Betriebskosten im engeren Sinn bezeichnet) bestehen hauptsächlich aus den Personalkosten sowie gewissen Materialkosten (Hilfsstoffe, Ersatzteile). Die Bestimmung der jährlichen Bedienungs- und Unterhaltskosten eines Energiesystems oder als Folge einer energietechnischen Massnahme soll also wenn möglich durch Abschätzung des zugeordneten Personal- und Materialbedarfs erfolgen, wobei vielfach auf betriebliche Erfahrungswerte abgestellt werden kann.

Im Rahmen von Investitionsrechnungen insbesondere auch im Energiebereich wird oft vereinfachend angenommen, dass die jährlichen Personal- und Materialkosten (ohne Energie) proportional zum Kapitaleinsatz sind und somit als einen bestimmten Prozentsatz der Investitionskosten geschätzt werden können. Der so ermittelte Wert der Bedienungs- und Unterhaltskosten gilt jedoch nur für das erste Betriebsjahr; für die folgenden Jahre sind die Kosten jährlich entsprechend der Preissteigerung zu erhöhen.

2.5.3 Die übrigen Betriebskosten

In gewissen Fällen, z.B. bei der Bestimmung der betrieblichen Gesamtkosten des Energiebereiches, ist es notwendig, den Kosten auch einen Anteil der betrieblichen Gemeinkosten (z.B. Verwaltungskosten) zuzuordnen. Dies muss aufgrund einer groben Schätzung erfolgen. Bei Investitionsobjekten wird dafür vielfach wiederum ein bestimmter Prozentsatz des Kapitaleinsatzes angenommen (z.B. 0.5%).

Steuern: Die Steuern sind ebenfalls Bestandteil der betriebswirtschaftlichen Kosten, und die steuerlichen Auswirkungen von Investitionen im Energiebereich sollten daher im Rahmen der Wirtschaftlichkeitsanalyse grundsätzlich berücksichtigt werden. Bei Unternehmungen (juristischen Personen) ist die korrekte Erfassung dieser steuerlichen Auswirkungen jedoch sehr komplex; zudem ist der Einfluss auf die Wirtschaftlichkeitsrechnung meist gering. Die steuerlichen Aspekte können daher in der Regel unberücksichtigt bleiben. (Ein kurze Behandlung der steuerlichen Auswirkungen von Investitionen im betrieblichen Energiebereich findet sich in der RAVEL-Publikation "RAVEL zahlt sich aus", ECOPLAN Bern, 1992).

2.6 Berücksichtigung der Teuerung

Damit die künftigen Kosten- und Nutzenströme in der Wirtschaftlichkeitsrechnung richtig gewichtet werden, muss die Preissteigerung grundsätzlich berücksichtigt werden. In der Regel kann vereinfachend für alle Betriebskostenelemente - mit Ausnahme allenfalls der Energiekosten - eine gleiche und jährlich gleichbleibende Preissteigerungsrate (die allgemeine Inflationsrate) angenommen werden. Damit werden die Rechenverfahren vereinfacht, indem relativ einfache Summenformeln verwendet werden können.

Für die Energiepreise wird vielfach eine von der allgemeinen Teuerung abweichende Preissteigerung unterstellt (z.B. eine höhere für die Oelpreise). Allgemein gültige Aussagen sind jedoch kaum möglich; die Annahmen müssen aufgrund der jeweiligen Beurteilung der langfristigen Marktsituation erfolgen.

Im Zusammenhang mit Wirtschaftlichkeitsrechnungen unter Bedingungen der Teuerung sind besondere Kostenbegriffe gebräuchlich, welche im folgenden kurz erläutert sind:

- **Die Kosten zu laufenden Preisen (die nominellen Kosten)**

Die nominellen Kosten K_t eines Produktionsfaktors im Jahre t sind die effektiven, zu den erwarteten Preisen des Jahres t berechneten Kosten. Man bezeichnet sie auch als die Kosten zu laufenden Preisen. In diesen Kostengrößen ist also die erwartete laufende Preissteigerung eingeschlossen.

- **Die Kosten zu heutigen Preisen**

Die Kosten K_{ot} zu heutigen Preisen (oder zu den Preisen eines Basisjahres 0) eines Produktionsfaktors sind die im Jahre t anfallenden, aber zu den heutigen Faktorpreisen (oder zu den Faktorpreisen eines Basisjahres 0) berechneten Kosten. Bei einer jährlichen Preissteigerung e_f für den Produktionsfaktor F gilt also die Beziehung: $K_t = K_{ot} \cdot (1 + e_f)^t$

- **Die realen Kosten**

Die realen Kosten K_r eines Produktionsfaktors sind die im Jahre t anfallenden, aber um die allgemeine Teuerung bereinigten Kosten. Die massgebliche Teuerungsrate für die Bereinigung ist die allgemeine Inflationsrate (in der Regel Index der Konsumentenpreise, Landesteuerung). Bei einer jährlichen Inflationsrate e gilt die Gleichung: $K_r = K_t / (1 + e)^t = K_{ot} \cdot (1 + e_f)^t / (1 + e)^t$

Ist die Preissteigerung e_f für den Faktor F gleich der allgemeinen Inflationsrate e , so sind die "realen Kosten" gleich den "Kosten zu heutigen Preisen".

Oft bezeichnet man $(e_f - e)$ als die "reale Teuerungsrate" e_r . Es gilt dann näherungsweise $K_r = K_{ot} \cdot (1 + e_r)^t$. Steigt z.B. der Brennstoffpreis jährlich um 5% bei einer allgemeinen Teuerung von 4%, so sagt man, die Brennstoffkosten seien einer realen Teuerung von 1% unterworfen.

Die Indices o und r für die Kosten zu heutigen Preisen bzw. für die realen Kosten werden im folgenden nicht mehr verwendet. Es wird jedoch jeweils darauf hingewiesen, um welchen Kostenbegriff es sich handelt. Wird nichts anderes gesagt, so bedeutet K die effektiven Kosten zu laufenden Preisen.

Nominalzins und Realzins

Für die praktische Rechnung kann davon ausgegangen werden, dass allgemeine Inflationsrate und Zinssatz sich näherungsweise parallel verhalten, d.h. dass bei konstanter Teuerung auch die Zinssätze konstant bleiben. Wie in Kapitel 5 noch näher erläutert wird, kann bei der Wirtschaftlichkeitsrechnung dann vereinfachend mit dem sogenannten realen Zinssatz i , (Realzins) gerechnet werden. Der

Realzins stellt die über die allgemeine Teuerungsrate hinausgehende Verzinsung dar und ergibt sich näherungsweise als Differenz zwischen dem Zinssatz und der Teuerungsrate:

$$i_r = i - e \quad (\%)$$

wo

$$i = \text{Zinssatz (Nominalzins)}$$
$$e = \text{allgemeine Teuerungsrate}$$

Beispiel: Beträgt z.B. der Nominalzins 7 % bei einer allgemeinen Teuerung von 5 %, so ergibt sich ein Realzins von 2 %.

2.7 Energietechnische Daten und Parameter

Kosten und Wirtschaftlichkeit eines Energiesystems oder einer Energiesparmassnahme werden durch verschiedene betriebliche und technische Rahmenbedingungen und Daten bestimmt, welche als Eingangsgrößen für die Wirtschaftlichkeitsrechnung festgelegt bzw. abgeschätzt werden müssen. Es sind dies insbesondere der Verbrauch (bzw. die Einsparung) an den eingesetzten Energieträgern und dessen künftige Entwicklung, sowie die Leistungsgrösse (Ausbaugrösse) der Energiesysteme.

Energieverbrauchsprognose

Grundlage für eine langfristige Wirtschaftlichkeitsbetrachtung im betrieblichen Energiebereich ist die Prognose des Verbrauches an Endenergieträgern. Als Endenergie bezeichnen wir im Rahmen des betrieblichen Energiebereiches die vom Betrieb eingekauften Endenergieträger (Oel, Gas, aus dem öffentlichen Netz bezogene Elektrizität).

Ausgangsgrösse für die Ermittlung des Endenergieverbrauches ist theoretisch der Nutzenergiebedarf (Bedarf an Raumwärme, motorischer Kraft, Licht, etc.). Daraus wäre aufgrund der Wirkungsgrade aller innerbetrieblichen Stufen der Energieumwandlung und -verteilung der Verbrauch an Endenergie zu bestimmen. Die Bestimmung oder gar Messung der Nutzenergie ist aber schwierig, und die Gesamtenergienutzungsgrade bis zur Stufe Nutzenergie können höchstens geschätzt werden. Für die Energieprognose geht man daher in der Praxis nicht von der Nutzenergie aus, sondern vom Energiebedarf unmittelbar beim Verbraucher (vor der letzten Umwandlung zu Nutzenergie). Diese Energie wird als Einsatzenergie bezeichnet (vgl. Wohinz/Moor, Betriebliches Energiemanagement, Springer Verlag 1989). Einsatzenergie ist also z.B. der Strom, welcher den Klemmen des Elektromotors oder der Glühlampe zugeführt wird, oder das Warmwasser des Heizsystems welches in den Heizkörper strömt. Damit ergibt sich für den Endenergieverbrauch En_e :

$$En_e = En_1 / \eta \quad (\text{kWh})$$

wo

$$En_1 = \text{Einsatzenergieverbrauch}$$
$$\eta = \text{Gesamtwirkungsgrad des innerbetrieblichen Energiesystems (bis vor die letzte Umwandlungsstufe, d.h. bis zum Verbraucher)}$$

Wenn das betrachtete Energiesystem den Einsatz verschiedener Endenergieträger zur Deckung des Bedarfs verschiedener Formen von Einsatzenergie und Nutzenergie umfasst, ergeben sich natürlich kompliziertere Beziehungen. Der Verbrauch an den einzelnen Endenergieträgern muss dann aufgrund der detaillierten Energiebilanzen und Energieflussdiagramme des Systems ermittelt werden.

Ausbaugrösse (Leistung) des Energiesystems

Die Investitionskosten eines Energiesystems sind in erster Linie bestimmt durch die Ausbaugrösse (Leistungskapazität) der Anlage, welche sich ihrerseits aus dem erwarteten maximalen Leistungsbedarf des Verbrauchers ergibt. Die Leistungskapazität (installierte Leistung) liegt dabei aus Reservegründen oft erheblich über dem Leistungsbedarf, vor allem dann, wenn an die Versorgungssicherheit hohe Anforderungen gestellt werden.

Bei Ueberschlagsrechnungen geht man für die Ermittlung der Investitionskosten eines Energiesystemes vielfach von den geschätzten Einheitskosten k_1 pro kW installierte Leistung aus. Für die Investitionskosten I ergibt sich dann die einfache Beziehung:

$$I = k_1 \cdot P \cdot s \quad (\text{Fr.})$$

wo P der erwartete maximale Leistungsbedarf (kW) und s ein Reservefaktor ($s > 1$) darstellen.

Die Bestimmung der Investitionskosten erfordert also die Kenntnis des Leistungsbedarfes bzw. der notwendigen installierten Leistung.

2.8 Besonderheiten der betrieblichen Energiekostenrechnung

Die Gesamtkosten der betrieblichen Energieversorgung (die Einsatzenergiekosten)

Wie bereits dargelegt gehören zu den Kosten der betrieblichen Energieversorgung nicht nur die Kosten der eingekauften (und verbrauchten) Energieträger sondern auch alle übrigen Kosten der innerbetrieblichen Energieumwandlung und -verteilung, bis die Energie in der gewünschten Form als Einsatzenergie (Strom, Dampf, Heisswasser, etc.) beim einzelnen Verbraucher zur Verfügung steht (zur Definition des Begriffs "Einsatzenergie" siehe Abschnitt 2.7).

Die Gesamtkosten der betrieblichen Energieversorgung (die Einsatzenergiekosten) setzen sich somit aus folgenden Komponenten zusammen:

Kosten der eingekauften (und verbrauchten) Endenergieträger, d.h. die Energiekosten im engeren Sinn (aus dem öffentlichen Netz bezogene Elektrizität, Heizöl etc.). Bei grösseren Betrieben sind auch die administrativen Kosten des Energieeinkaufes dazuzurechnen.

- Kosten der Energielagerung oder -speicherung, d.h. die Kapital- und Wartungskosten der entsprechenden Anlagen.
- Kosten der innerbetrieblichen Energieumwandlungsanlagen und Energieverteilanlagen, einschliesslich der zugehörigen baulichen Anlagen und Gebäude, aber ausgenommen die Anlagen der letzten Energieumwandlungsstufen (die eigentlichen Verbraucheranlagen), welche dem Fabrikationsprozess oder den allgemeinen Betriebseinrichtungen zugeordnet sind.
Dazu gehören die entsprechenden Kapitalkosten, Personalkosten (für Betrieb, Unterhalt), Materialkosten (Hilfsstoffe, Ersatzteile) und allfällige Kosten für Arbeiten Dritter (z.B. Reparaturarbeiten).

- Kosten des betrieblichen Energiemanagements (z.B. Energiebeauftragter des Betriebes)

- Kosten der Entsorgung im Energiebereich

- Evtl. ein Anteil an den allgemeinen Verwaltungskosten

Die Einsatzenergie als Kostenstelle

Für eine differenzierte Kostenbetrachtung, z.B. im Hinblick auf die innerbetriebliche Kostenverrechnung an einzelne Fabrikationsbereiche, müssen die Einsatzenergiekosten getrennt für die einzelnen Einsatzenergieträger ermittelt werden (Strom, Dampf, Warmwasser, Druckluft, etc.). Jeder Einsatzenergieträger stellt also eine Kostenstelle (Vorkostenstelle) dar. Dazu müssen aufgrund der Disposition des Energieversorgungssystems sowie des Energieflussbildes und der betrieblichen Energiebilanz die entsprechenden Kostenzuordnungen getroffen werden. Eine näherungsweise Berechnung dieser Kosten bzw. Kostenzuordnung unter Verwendung der massgeblichen technischen und betrieblichen Parameter (Wirkungsgrade, Lastcharakteristik etc.) ist meist mit hinreichender Genauigkeit möglich. Gewisse Probleme mit der Kostenzuordnung ergeben sich z.B. bei Anlagen mit Koppelproduktion von Strom und Wärme (Dampf). Man behilft sich hier meist derart, dass das eine Koppelprodukt z.B. aufgrund von Marktpreisüberlegungen bewertet wird. Setzt man die bewertete Erzeugung des einen Produktes in der Rechnung als Erlös ein, so ergeben sich anschliessend die Kosten des anderen Produktes als die Nettokosten der Wärmekraftkopplungsanlage.

Die gesamten Einsatzenergiekosten K des betrieblichen Energieversorgungssystems setzen sich also zusammen aus den Kosten der einzelnen Einsatzenergieträger:

$$K = K_{\text{Elektr.}} + K_{\text{Dampf}} + K_{\text{Warmwasser}} \text{ etc. (Fr./Jahr)}$$

Innerbetriebliche Verrechnungspreise für die Weiterverrechnung der Einsatzenergiekosten an die einzelnen energieverbrauchenden Betriebsbereiche oder Kostenstellen ergeben sich dann aus den (effektiven oder geplanten) gesamtbetrieblichen Einsatzenergiekosten und dem entsprechenden Einsatzenergieverbrauch En , also z.B.

$$\text{Verrechnungspreis Dampf} \quad p_{\text{Dampf}} = K_{\text{Dampf}} / En_{\text{Dampf}} \quad (\text{Fr./MWh})$$

Will man den Energiekostenanteil eines einzelnen Fabrikationsbereiches oder -prozesses ermitteln, so müssen entweder die notwendigen messtechnischen Voraussetzungen zur Erfassung der entsprechenden Einsatzenergiemengen gegeben sein, oder es muss näherungsweise eine Energieverbrauchsfunktion ermittelt werden, welche den Zusammenhang zwischen dem Energieeinsatz En_f und dem Output des Fabrikationsbereiches darstellt. Die Energie-Verbrauchsfunktion eines Fabrikationsbereiches oder -prozesses kann vielfach näherungsweise in der Form einer linearen Funktion dargestellt werden. In einfachster Form ist dies bei einem einzigen Einsatz-Energieträger:

$$En_f = En_{f_0} + en_f \cdot F \quad (\text{kWh})$$

Darin ist En_{f_0} ein fixer (produktionsunabhängiger) Energieanteil, en_f ein spezifischer Energieverbrauchswert (z.B. kWh pro Stück oder pro Tonne Output) und F eine Fabrikationskenngrösse (z.B. Stückzahl, Anzahl t etc.). Die Verbrauchsfunktion kann z.B. aus einer Messreihe mit Hilfe einer Regressionsgleichung bestimmt werden.

3. Die Methoden der Wirtschaftlichkeitsrechnung

3.1 Uebersicht über die Rechenverfahren

Die folgende Darstellung gibt einen schematischen Ueberblick über die wirtschaftlichen Bewertungsverfahren. Neben den rein monetären, betriebswirtschaftlichen Verfahren (einzelwirtschaftliche Betrachtung), welche Gegenstand des vorliegenden Leitfadens bilden, zeigt die Uebersicht auch die Abgrenzung zur volkswirtschaftlichen (gesamtwirtschaftlichen) Betrachtung sowie weitergehende Bewertungsverfahren, welche neben monetären auch nicht-monetäre (qualitative) Beurteilungskriterien einschliessen. Entsprechend der gebräuchlichen Praxis wird bei den betriebswirtschaftlichen Rechenverfahren zwischen "statischen" und "dynamischen" Verfahren unterschieden.

A. Monetäre (quantitative) Bewertung

A. 1 Betriebswirtschaftliche (einzelwirtschaftliche) Betrachtung Einzelwirtschaftliche Betrachtung ohne Berücksichtigung externer Kosten und Nutzen

Statische Verfahren (vereinfachende Verfahren der Praxis) (Kapitel 4)

- Statische Kostenvergleichsrechnung bzw. Gewinnvergleichsrechnung - Statische Rentabilitätsrechnung
- Statische Amortisationsrechnung (Berechnung der Amortisationszeit; "Pay-back Methode")

Dynamische Verfahren (vollständige Wirtschaftlichkeitsrechnung) (Kapitel 5)

Barwert- bzw. Kapitalwertmethode (dynamische Kostenvergleichsbzw. Gewinnvergleichsrechnung)

Annuitätenmethode (Vergleich der durchschnittlichen jährlichen Kosten bzw. Nutzen)

Methode des Internen Zinssatzes (dynamische Rentabilitätsrechnung; durchschnittliche Verzinsung des investierten Kapitals)

Dynamische Amortisationsrechnung (Berechnung der Amortisationszeit)

A.2 Volkswirtschaftliche Betrachtung

Untersuchung dergesamtwirtschaftlichen(volkswirtschaftlichen)Auswirkungen eines einzelwirtschaftlichen Projektes

- Kosten-Nutzen Analyse
- Erweiterung der dynamischen Analyseverfahren gemäss A.1 durch Berücksichtigung der externen Kosten und Nutzen

B. Mehrdimensionale monetäre und nicht-monetäre (qualitative) Bewertung

- Punkteverfahren
- Nutzwert Analyse
- Kosten-Wirksamkeitsanalyse

Bei den statischen Methoden wird vereinfachend mit über die Nutzungsdauer gleichbleibenden jährlichen Kosten und Erträgen gerechnet; Teuerung und andere künftige Veränderungen von Rechengrößen sowie die unterschiedliche heutige und künftige Geldbewertung werden nicht berücksichtigt.

Bei den dynamischen Methoden werden der Verlauf und die Veränderung aller Kosten und Erträge über die Nutzungsdauer abgeschätzt und erfasst und der Zeitwert des Geldes berücksichtigt (Konzept des Bar- oder Gegenwartswertes).

3.2 Grundsätze des Variantenvergleiches

Bedingungen für die wirtschaftliche Vergleichbarkeit von Varianten

Damit verschiedene Investitionsvarianten wirtschaftlich tatsächlich vergleichbar sind, müssen sie, je nach dem gewählten Verfahren der Wirtschaftlichkeitsrechnung, gewissen Bedingungen genügen.

Vergleicht man Investitionsvarianten mit unterschiedlich hohem Kapitaleinsatz, wie dies meist der Fall ist, so gilt generell folgendes:

- Ein direkter Vergleich aufgrund der absoluten Kosten oder Gewinne (statische Kostenvergleichsmethode, dynamische Kapitalwertmethode) ist nur zulässig, wenn die untersuchten Investitionen den gleichen Erlös erzielen oder den gleichen "physikalischen Nutzen" erzeugen (z.B. gleiche Menge erzeugte Energie, gleiche Nutzenergieversorgung).
- Ist die Gleichheit von Erlös oder Nutzen nicht gegeben, so müssen für den wirtschaftlichen Vergleich relative Größen herangezogen werden, z.B. Rentabilität oder interner Zinssatz (Gewinn bezogen auf den Kapitaleinsatz), oder man muss z.B. Durchschnittskosten vergleichen (Kosten pro erzeugte Energieeinheit, etc.).

Eine weitere Bedingung für die wirtschaftliche Vergleichbarkeit alternativer Massnahmen oder Investitionen ist grundsätzlich eine gleiche Nutzungsdauer (Lebensdauer) der Varianten bzw. die Verwendung eines einheitlichen Betrachtungszeitraumes für die Wirtschaftlichkeitsrechnung. Einige Erläuterungen dazu werden im Kapitel 5 gegeben.

Die Kosteneinsparung als Kriterium für die Wirtschaftlichkeit

Die Wirtschaftlichkeitsanalyse einer energietechnischen Massnahme beruht im wesentlichen auf der Ermittlung der möglichen Kosteneinsparung gegenüber dem Ist-Zustand bzw. gegenüber alternativen Lösungen. Die erzielte Kosteneinsparung stellt den "Gewinn" der untersuchten Massnahme dar.

4. Die Hilfsverfahren der Praxis (statische Methoden)

4.1 Merkmale der statischen Wirtschaftlichkeitsrechnung

Bei den statischen Verfahren der Wirtschaftlichkeitsrechnung wird mit gleichbleibenden jährlichen Kosten und Erträgen gerechnet, d.h. Änderungen der Rechengrößen im Zeitablauf, z.B. als Folge der Teuerung, bleiben unberücksichtigt. Die statische Betrachtung vernachlässigt zudem den Zeitwert des Geldes, also die Feststellung, dass ein Franken, über den man in der Gegenwart verfügt, mehr Wert ist als ein Franken, den man in der Zukunft erhalten wird. Der Vorteil der Methoden liegt im einfachen Ansatz. Andererseits sind die Ergebnisse, insbesondere bei der Untersuchung von Investitionen von längerer Nutzungsdauer, relativ ungenau. Für die Analyse von Investitionen und Massnahmen im Energiebereich sollten die statischen Verfahren daher nur für Ueberschlagsrechnungen verwendet werden.

Im übrigen werden für die statischen Verfahren im wesentlichen die gleichen Eingangsdaten und Rechengrößen benötigt wie für eine vollständigere dynamische Wirtschaftlichkeitsrechnung. Von der Datenbereitstellung her bedeuten die statischen Verfahren daher keine erhebliche Vereinfachung.

4.2 Die Kosten- und Gewinnvergleichsrechnung (Kostenvergleichsmethode)

4.2.1 Der methodische Ansatz

Bei der statischen Kosten- oder Gewinnvergleichsrechnung werden die durchschnittlichen Jahreskosten bzw. der durchschnittliche Jahresgewinn einer Investition ermittelt. Bei einer Energiesparmassnahme ergibt sich der "Gewinn" dabei als die jährliche Kosteneinsparung gegenüber dem Ist-Zustand. Von mehreren Investitionsvarianten oder Massnahmen gilt diejenige als die vorteilhafteste, welche die geringsten Jahreskosten aufweist bzw. die grössten jährlichen Kosteneinsparungen erzielt.

Die Jahreskosten oder jährlichen Kosteneinsparungen werden für das erste Jahr und zu heutigen Preisen ermittelt; im übrigen wird unterstellt, dass diese Kostenwerte unverändert über die ganze Nutzungsdauer der Investition gelten. Die Teuerung bleibt unberücksichtigt (statische Betrachtung).

Die zu ermittelnden Jahreskosten K einer Investition I umfassen die durchschnittlichen Kapitalkosten K_K (Abschreibung und Verzinsung zum vorgegebenen Kalkulationszinssatz), sowie die durchschnittlichen Betriebskosten K_B (Energiekosten, Personalkosten, etc.).

$$K = K_K + K_B = a \cdot I + K_B \quad (\text{Fr./Jahr}) \quad (6)$$

wo a der Annuitätenfaktor bedeutet (siehe Gleichung 5).

Der jährliche "Gewinn" einer energiesparenden Rationalisierungsinvestition I_1 ergibt sich als die jährliche Kosteneinsparung gegenüber dem Ist-Zustand wie folgt:

$$G = (K_{B0} - K_{B1}) - a \cdot I_1 \quad (\text{Fr./Jahr}) \quad (7)$$

wo K_{B0} und K_{B1} die jährlichen Betriebskosten (ohne Kapitalkosten) im Ist-Zustand bzw. nach der Rationalisierungsinvestition bedeuten.

In allgemeiner Form lautet die Gleichung für die durchschnittlichen Jahreskosten:

4.2.2 Beurteilung der Methode

Die Vernachlässigung von künftigen Veränderungen der Betriebskosten und anderer Betriebsdaten im Zeitablauf, sowie die Vernachlässigung des Zeitwertes des Geldes stellen, wie bei allen statischen Verfahren, den wichtigsten Nachteil dieser Methode dar. Die Methode ist daher vor allem als kurzfristige Betrachtung oder für eine Ueberschlagsrechnung geeignet.

Darüber hinaus gelten auch folgende Einschränkungen:

- Die Betrachtung der Kosten allein sagt noch nichts über die Wirtschaftlichkeit (Rentabilität) der untersuchten Investitionen aus. Selbst die kostengünstigste von verschiedenen Varianten braucht noch nicht wirtschaftlich zu sein (wirtschaftlich heisst, dass die Verzinsung des investierten Kapitals wenigstens dem vorgegebenen Kalkulationszinssatz entspricht). Bei energietechnischen Massnahmen geht es allerdings oft lediglich darum, die kostengünstigste Lösung aus möglichen Varianten zu bestimmen, ohne Berücksichtigung der Rentabilität der Investition. In diesem Fall ist die Kostenvergleichsrechnung als Entscheidungsgrundlage durchaus geeignet.

- Bestimmt man die durchschnittlichen jährlichen Kosteneinsparungen und ergibt die Rechnung tatsächlich eine positive Einsparung, so heisst das zwar, dass die Rationalisierungsinvestition grundsätzlich wirtschaftlich ist (Rentabilität höher ist als der Kalkulationszinssatz). Die absolute Höhe der Rendite kennt man jedoch noch nicht.

- Die Jahreskosten oder jährlichen Kosteneinsparungen sind nur dann ein gültiger Masstab für den wirtschaftlichen Vergleich verschiedener Varianten, wenn alle Varianten den gleichen Erlös erzielen bzw. den gleichen "physikalischen Nutzen" erzeugen (siehe 3.2).

4.2.3 Beispiel

Im folgenden Beispiel soll mit der Kostenvergleichsmethode geprüft werden, ob sich die Sanierung einer bestehenden grossen Heizungsanlage lohnt. Die bestehende Anlage ist betriebstüchtig und könnte noch über längere Jahre im Betrieb sein, doch die Energiekosten wie auch die übrigen Betriebs- und erwarteten laufenden Instandhaltungskosten sind hoch. Zwei mögliche Sanierungslösungen stehen zur Diskussion; beide Lösungen sehen den Ersatz der bestehenden Wärmeerzeugungsanlage vor. Beim heutigen Ersatz der bestehenden Anlage ergäbe sich ein Liquidationserlös von 30'000 Fr. Der Kalkulationszinssatz beträgt 7%. In allen Fällen wird der gleiche Nutzwärmebedarf gedeckt.

Bestehende Heizungsanlage

Energiekosten	Fr./a	270'000
Uebrige Betriebs- und Instandhaltungskosten	Fr./a	50'000
Total Jahreskosten	Fr./a	320'000

(Die Kapitalkosten der bestehenden Anlage brauchen nicht berücksichtigt zu werden, da sie für alle zu vergleichenden Varianten anfallen; siehe Abschnitt 2.1, nicht-relevante Daten).

Sanierung Variante 1

Investition (neue Heizungsanlage)	Fr.	450'000
Liquidationserlös alte Anlage	Fr.	30'000
Energiekosten	Fr./a	210'000
Uebrige Betriebskosten	Fr./a	25'000
Nutzungsdauer der neuen Anlage 12 Jahre		

Kapitalkosten (Gleichung 4)		
- Annuitätenfaktor a		0.126
- Kapitalkosten : 0.126 * (450'000-30'000)	Fr./a	52'920
Total Jahreskosten: 210'000 + 25'000 + 52'920	Fr./a	287'920
Sanierung Variante 2		
Investition (neue Heizanlage und Wärmedämmung)	Fr.	1'050'000
Liquidationserlös alte Anlage	Fr.	30'000
Energiekosten	Fr./a	160'000
Uebrige Betriebskosten	Fr./a	25'000
Nutzungsdauer der Investition (Mittel) 18 Jahre		
Kapitalkosten (Gleichung 4)		
- Annuitätenfaktor a		0.099
- Kapitalkosten : 0.099 * (1'050'000-30'000)	Fr./a	100'980
Total Jahreskosten: 160'000 + 25'000 + 100'980 =	Fr./a	285'980

Die beiden Sanierungsvarianten sind beinahe kostengleich. Beide sind jedoch deutlich günstiger als die bestehende Heizungsanlage. Die gegenüber dem Ist-Zustand eingesparten Jahreskosten betragen 32'080 Fr. für Variante 1 und 34'020 Fr. für Variante 2. Die Sanierung im heutigen Zeitpunkt ist also grundsätzlich lohnend.

Der Entscheid zwischen den zwei Varianten sollte aufgrund einer detaillierteren dynamischen Wirtschaftlichkeitsrechnung getroffen werden, welche auch Sensitivitätsanalysen (z.B. bezüglich der Auswirkung unterschiedlicher Brennstoffteuerungen) einschliessen würde. Auch die Frage, ob allenfalls mit der Sanierung noch wenige Jahre zugewartet werden soll, z.B. weil grössere Instandhaltungsarbeiten an der bestehenden Anlage noch bis dann hinausgeschoben werden könnten, lässt sich mit der einfachen, statischen Kostenvergleichsrechnung nicht eindeutig beantworten.

4.3 Die statische Rentabilitätsrechnung

4.3.1 Der methodische Ansatz

Bei diesem Verfahren wird näherungsweise die Rentabilität (Rendite) einer Investition über ihre Nutzungsdauer ermittelt, d.h. die durchschnittliche jährliche Verzinsung des eingesetzten Kapitals. Eine Investition gilt dann als wirtschaftlich, wenn die Rentabilität wenigstens dem vorgegebenen Kalkulationszinssatz entspricht.

Die Rentabilität Re der Investition wird hier bestimmt als das Verhältnis des erzielten durchschnittlichen Jahresgewinnes (bzw. der durchschnittlichen jährlichen Kosteneinsparung) zum durchschnittlich über die Nutzungsdauer eingesetzten (gebundenen) Kapital:

$$\text{Rentabilität } Re = \frac{\text{durchschnittliche jährliche Kosteneinsparung}}{\text{durchschnittlicher Kapitaleinsatz}} \cdot 100 (\%) \quad (8)$$

Damit die Rechnung sinnvolle Ergebnisse liefert, ist es wichtig, dass die Rechengrössen "Gewinn" bzw. "Kosteneinsparung" sowie "durchschnittlicher Kapitaleinsatz" richtig definiert und ermittelt

werden. Es gilt für die Rentabilitätsrechnung:

massgeblicher Jahresgewinn = Jahreserlös - Jahresgesamtkosten ohne Verzinsung

Für eine energietechnische Rationalisierungsinvestition ergibt sich die massgebliche jährliche Kosteneinsparung als die jährliche Betriebskosteneinsparung (gegenüber dem Ist-Zustand) abzüglich der jährlichen Mehrkosten für die Abschreibung der Investition. Zu beachten ist hier, dass die Zinskosten nicht zu berücksichtigen sind; sonst würde man ja nicht die Gesamtrendite, sondern nur die über den Kalkulationszinssatz hinausgehende Rendite erhalten. Es gilt also:

jährliche Kosteneinsparung = jährliche Betriebskosteneinsparung - jährliche Abschreibung

Als durchschnittlicher Kapitaleinsatz, d.h. als das im Durchschnitt über die Nutzungsdauer gebundene Kapital, nimmt man die Hälfte des Investitionsbetrages (des anfänglichen Kapitaleinsatzes). Man geht dabei von der Ueberlegung aus, dass der anfängliche Kapitaleinsatz über die Nutzungsdauer linear bis auf den Wert null getilgt wird; im Mittel über die Nutzungsdauer ist dann der Kapitaleinsatz gleich der Hälfte des Anfangswertes.

4.3.2 Beurteilung des Verfahrens

Wegen den vereinfachenden Annahmen handelt es sich, wie bei allen statischen Rechenmethoden, um ein Näherungsverfahren. Die genauere Bestimmung der durchschnittlichen Verzinsung einer Investition muss nach dem dynamischen Verfahren des internen Zinssatzes (Abschnitt 5.4) erfolgen. Die statische Rentabilitätsrechnung ist jedoch sehr einfach und daher für eine Ueberschlagsrechnung gut geeignet.

Bei der Beurteilung von energietechnischen Massnahmen steht die Kostenminimierung im Vordergrund. Da mit wenig Mehraufwand verbunden, ist es jedoch zweckmässig, als Ergänzung zu den Kosten- und Kostenvergleichsrechnungen stets auch die Rentabilität zu bestimmen.

4.3.3 Beispiel

Für die beiden Sanierungsvarianten des Beispiels in Abschnitt 4.2.3 soll auch näherungsweise die Rentabilität der erzielten Kosteneinsparungen gegenüber dem Betrieb mit der bestehenden Anlage ermittelt werden.

Für die massgebliche Kosteneinsparung ergibt sich:

Sanierungsvariante 1

Einsparung Energiekosten	Fr./a	60'000
Einsparung übrige Betriebskosten	Fr./a	25'000
Mehrkosten Abschreibung $(450'000-30'000)/12 =$	Fr./a	35'000
Total massgebliche Kosteneinsparung (ohne Zins)	Fr./a	50'000

Sanierungsvariante 2

Einsparung Energiekosten	Fr./a	110'000
Einsparung übrige Betriebskosten	Fr./a	25'000
Mehrkosten Abschreibung $(1'050'000-30'000)/18 =$	Fr./a	56'670
Total massgebliche Kosteneinsparung (ohne Zins)	Fr./a	78'330

Damit kann die Rentabilität wie folgt berechnet werden:

Rentabilität Variante 1: $50'000 / (0.5 \cdot 420'000) \cdot 100 = 23.8$

Rentabilität Variante 2: $78'330 / (0.5 \cdot 1020'000) \cdot 100 = 15.4$

Wegen des verhältnismässig geringen Kapitaleinsatzes weist Variante 1, trotz kleinerer jährlicher Kosteneinsparungen, eine höhere Rendite auf als Variante 2. Die Berechnung der Rentabilität verdeutlicht für beide Sanierungsvarianten den Gesichtspunkt der Wirtschaftlichkeit, welcher aufgrund der Ermittlung der Kosteneinsparungen allein nicht hinreichend beurteilt werden kann.

Für sich allein betrachtet erscheinen beide Varianten als wirtschaftlich (Rentabilität höher als der Kalkulationszinssatz). Der Vergleich der beiden Varianten erfordert aber noch eine differenziertere Betrachtung: Der Mehreinsatz an Kapital von 600'000 Fr. (Variante 2 gegenüber Variante 1) ergibt eine zusätzliche jährliche Kostenersparnis von 28'330 Fr. Lohnt sich dieser Mehreinsatz? Die Rechnung ergibt für diesen Kapitalmehreinsatz eine Rentabilität von 9.4 % ($28'330 : 300'000$), also mehr als der vorgegebene Kalkulationszinssatz von 7 %. Der Mehraufwand ist also lohnend; d.h. Variante 2 ist grundsätzlich die günstigere Variante.

4.4 Die statische Amortisationsrechnung ('Pay-back Methode')

4.4.1 Der methodische Ansatz

Mit der Amortisationsmethode wird die Zeitdauer (Anzahl Jahre) ermittelt, in welcher das Kapital einer Investition wieder zurückgeflossen ist. Ist die Amortisationszeit kürzer als die Nutzungsdauer der Investition, so ist das Investitionsvorhaben grundsätzlich wirtschaftlich. Von zwei alternativen Investitionsvorhaben ist dasjenige mit der kürzeren Amortisationszeit das vorteilhaftere.

Die Amortisationszeit (Kapitalrückflusszeit) m einer Investition 1 mit jährlichen Kapitalrückflüssen R berechnet sich nach der Formel:

$$m = 1 / R \text{ (Jahre)} \quad (9)$$

Die jährlichen Rückflüsse bestehen dabei aus den künftigen Nettoeinnahmen, welche die Investition erzeugt, d.h. der Differenz aus den zusätzlichen Erlösen und den zusätzlichen Kosten (einschliesslich Verzinsung jedoch ohne Abschreibungen des eingesetzten Kapitals).

Für eine Rationalisierungsinvestition im Energiebereich ist der jährliche Kapitalrückfluss gleich der jährlichen Nettokosteneinsparung aus Betriebsminder- und Zinsmehrkosten, ohne Berücksichtigung der Abschreibungen, also:

Jährlicher Rückfluss R = jährliche Betriebskosteneinsparung minus jährliche Zinsmehrkosten

4.4.2 Beurteilung der Methode

Bei der Amortisationsmethode wird die Amortisationszeit als Mass für die Wirtschaftlichkeit einer Investition betrachtet. Vielfach wird dabei eine maximale Amortisationszeit (Soll-Amortisationszeit) vorgegeben, welche eine Investition nicht überschreiten soll. Diese Soll-Amortisationszeiten liegen in der Regel weit unter der tatsächlichen Nutzungsdauer der Investition. Mit der Vorgabe von kurzen Amortisationszeiten werden Neu- oder Ersatzinvestitionen also verzögert, die alten Anlagen länger genutzt.

Der Vergleich der Amortisationszeit mit der tatsächlichen Nutzungsdauer der Investition erlaubt auch eine gewisse Beurteilung bezüglich Rendite, d.h. der tatsächlichen Verzinsung des investierten

Kapitals. Wenn die Amortisationszeit grösser als die Nutzungsdauer ist, liegt die Rendite unter dem Kalkulationszinssatz; die Investition lohnt sich dann auf jeden Fall nicht.

Die Amortisationsmethode ist sinnvoll für die Beurteilung von Investitionsvorhaben, bei denen Risikooder Liquiditätsüberlegungen eine wichtige Rolle spielen. Für die Beurteilung von Investitionen im betrieblichen Energiebereich, welche langfristiger Natur sind und wo Investitions-Risikobetrachtungen eine geringe Bedeutung haben, ist die Methode allerdings wenig geeignet.

4.4.3 Beispiel

Durch Rationalisierungsmassnahmen will ein Betrieb seine Stromkosten senken (bei unverändertem Nutzenergieverbrauch). Zwei mögliche Varianten einer Rationalisierungsinvestition sollen mit Hilfe der Amortisationsmethode beurteilt werden. Der Kalkulationszinssatz ist 7%. Die durchschnittlichen jährlichen Zinskosten ergeben sich als der Zins auf dem durchschnittlich gebundenen Kapital, d.h. auf der Hälfte des Investitionsbetrages.

Variante 1

Investitionskosten	Fr.	100'000
Stromkosteneinsparung (gegenüber heute)	Fr./a	16'000
Personalmehrkosten (gegenüber heute)	Fr./a	5'000
Durchschnittliche Zinskosten (7% von 50'000 Fr)	Fr./a	3'500
Nutzungsdauer der Investition 20 Jahre		

Kapitalrückfluss: $16'000 - 5'000 - 3'500 =$ Fr./a 7'500

Amortisationszeit: $100'000 : 7'500 =$ Jahre 13.3

Variante 2

Investitionskosten	Fr.	80'000
Stromkosteneinsparung (gegenüber heute)	Fr./a	14'500
Personalmehrkosten (gegenüber heute)	Fr./a	5'000
Durchschnittliche Zinskosten (7% von 40'000 Fr)	Fr./a	2'800
Nutzungsdauer der Investition 12 Jahre		

Kapitalrückfluss: $14'500 - 5'000 - 2'800 =$ Fr./a 6'700

Amortisationszeit: $80'000 : 6'700 =$ Jahre 11.9

Aufgrund der kürzeren Amortisationszeit erscheint Variante 2 als die vorteilhaftere.

Die genauere Betrachtung, insbesondere die Berücksichtigung der Nutzungsdauer der beiden Varianten, zeigt jedoch, dass aus wirtschaftlicher Sicht eine andere Beurteilung vorgenommen werden muss: Die Nutzungsdauer der Variante 2 beträgt 12 Jahre, nur wenig mehr als die Amortisationsdauer. Dann muss bereits wieder eine Ersatzinvestition vorgenommen werden. Die Rentabilität der Investition liegt somit etwa beim Kalkulationszinssatz von 7%. Variante 1 hingegen hat eine Nutzungsdauer von 20 Jahren. Wegen der wesentlich längeren Nutzungsdauer ergibt sich trotz der höheren Investitionskosten bei nur geringfügig höherem Kapitalrückfluss eine viel höhere Rentabilität als bei Variante 2, nämlich rund 12 %. (Zur Berechnung der Rentabilität siehe Abschnitt 4.3).

Die Amortisationszeit eignet sich also nur dann als Kriterium für den wirtschaftlichen Vergleich alternativer Investitionsvorhaben, wenn die Alternativen auch etwa gleiche Nutzungsdauern aufweisen.

5. Die vollständige Wirtschaftlichkeitsrechnung (dynamische Methoden)

5.1 Grundlage der dynamischen Wirtschaftlichkeitsrechnung

Zukunftsgerichtete Betrachtung

Ein Investitionsprozess erzeugt im Zeitablauf über die Nutzungsdauer der Investition einen Strom von jährlichen Ausgaben und Einnahmen, welche sich im allgemeinen laufend verändern, z.B. als Folge von Preissteigerungen oder aus betrieblichen Gründen. (Statt von Kosten spricht man hier in der Regel von Ausgaben, da bei der dynamischen Wirtschaftlichkeitsrechnung im wesentlichen Bargeldströme betrachtet werden). Merkmal der dynamischen Verfahren der Wirtschaftlichkeitsrechnung ist es, dass versucht wird, diese veränderlichen Ausgaben- und Einnahmenströme wertmässig richtig zu berücksichtigen. Dabei müssen zwar vermehrt Annahmen über unsichere Zukunftsdaten getroffen werden, das Rechenergebnis wird aber insgesamt realistischer ausfallen, als bei einer vollständigen Vernachlässigung zukünftiger Datenveränderungen.

Es empfiehlt sich, den Einfluss wichtiger Rechengrößen, über deren künftige Entwicklung Unsicherheit besteht (z.B. Teuerung und Zinssatz, Brennstoffpreise, Bedarfsentwicklung), mittels einer Sensitivitätsanalyse genauer zu untersuchen. Mit den für den PC verfügbaren Tabellenkalkulationsprogrammen (LOTUS, QUATTRO, EXCEL) ist dies ohne nennenswerten Mehraufwand möglich.

Der Begriff des Barwertes oder Gegenwartswertes

Grundlage der dynamischen Wirtschaftlichkeitsrechnung ist das Konzept des Barwertes (Gegenwartswertes), welches den Zeitwert des Geldes berücksichtigt. Geldbeträge gleicher Höhe sind ökonomisch nicht gleichwertig, wenn sie zu unterschiedlichen Zeitpunkten anfallen. So ist ein Franken, den man heute einnimmt, mehr wert als ein Franken, den man erst in 5 Jahren erhält. Wird der heute eingenommene Franken nämlich zinsbringend angelegt, so hat man in 5 Jahren einen Geldbetrag, der grösser ist als der dann zumal eingenommene Franken.

Die künftigen Ausgaben und Einnahmen sind also nicht direkt untereinander vergleichbar oder addierbar. Damit die Grössen der Geldströme vergleichbar werden, müssen alle auf einen bestimmten Zeitpunkt bezogen, d.h. auf- oder abgezinst werden. Meist werden die Grössen auf den heutigen Zeitpunkt abgezinst. Bei der Untersuchung eines Investitionsvorhabens ist dies in der Regel der Investitionszeitpunkt. Den Vorgang der Abzinsung nennt man auch Diskontierung. Den auf den heutigen Zeitpunkt abgezinsten (diskontierten) Wert einer künftigen Grösse nennt man den Barwert oder Gegenwartswert.

In allgemeiner Form beträgt der **gesamte Barwert B** eines künftigen Ausgabenstromes **A** über die Nutzungsdauer **n** und bei einem Kalkulationszinssatz **i**:

$$B = \frac{A_1 \cdot (1+e_A)}{(1+i)} + \frac{A_2 \cdot (1+e_A)^2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{A_n \cdot (1+e_A)^n}{(1+i)^n} \quad (\text{Fr.}) \quad (10)$$

wobei A_1, \dots, A_n die jährlichen Ausgaben zu den Preisen von heute und e_A die jährliche Preissteigerung der Ausgaben darstellen. Die Faktoren $1/(1+i)^t$ nennt man Abzinsungs- oder Diskontierungsfaktoren. **B** ist die Summe der Barwerte der jeweils am Ende des Jahres t anfallenden Ausgaben, abgezinst auf den Beginn des Jahres 1 (nachsüssiger Barwert).

Wenn A_t (zu Preisen von heute) eine konstante, jährlich gleichbleibende Grösse A ist, so kann die Berechnung des Barwertes mit Hilfe einer Summenformel vereinfacht werden:

wert.

$$B = A \cdot \left((1+e_A) \cdot \frac{(1+i)^n - (1+e_A)^n}{(1+i)^n \cdot (i-e_A)} \right) = A \cdot d \quad (\text{Fr.}) \quad (11)$$

Den Faktor d nennt man den Diskontierungssummenfaktor. Eine Tabelle der Diskontierungssummenfaktoren ist im Anhang 2 gegeben.

Die Voraussetzung für die Verwendung der Summenformel ist bei vielen Anwendungen näherungsweise gegeben. Die Verfahren der dynamischen Wirtschaftlichkeitsrechnung werden dann sehr einfach, so dass sich ein Rechnen mit den statischen Hilfsverfahren kaum noch rechtfertigt.

Für die Berechnung des Diskontierungssummenfaktors d gilt mit guter Näherung auch:

$$d = \frac{(1+i_d)^n - 1}{(1+i_d)^n \cdot i_d} \quad (12)$$

wo $i_d = (1 - e_A)$ bedeutet. Entspricht die Preissteigerung e_A für die Ausgaben A der allgemeinen Teuerung e , so ergibt sich unter Verwendung des **realen Zinssatzes** $i_r = (i - e)$ für die Näherungsformel:

$$d = \frac{(1+i_r)^n - 1}{(1+i_r)^n \cdot i_r} \quad (13)$$

Zur Vereinfachung wird für die Preissteigerungsrate e_A der Ausgaben A im folgenden stets die allgemeine Teuerungsrate (Inflationsrate) e verwendet.

5.2 Die Kapitalwertmethode

5.2.1 Der methodische Ansatz

Begriff des Kapitalwertes

Dieses vielseitige Verfahren der Wirtschaftlichkeitsrechnung beruht auf der Ermittlung des sogenannten Kapitalwertes. Als Kapitalwert C einer Investition bezeichnet man die Differenz des Barwertes aller Einnahmen und des Barwertes aller Ausgaben, über die Nutzungsdauer der Investition.

Eine Investition ist dann wirtschaftlich, wenn der Kapitalwert Null oder positiv ist. Ist der Kapitalwert gerade gleich Null, so ist die effektive Verzinsung des investierten Kapitals gerade gleich dem angesetzten Kalkulationszinssatz i . Ist der Kapitalwert eine negative Grösse, so liegt die Rentabilität unter dem Kalkulationszinssatz und die Investition gilt als nicht wirtschaftlich. Von zwei Investitionsvarianten (welche beide den gleichen Nutzen erzeugen) ist diejenige die wirtschaftlichere, welche den höheren Kapitalwert aufweist.

Die Bedingung für die Wirtschaftlichkeit einer Investition lautet also:

$C \geq 0$

Berechnung des Kapitalwertes

Bei der Kapitalwertmethode werden also alle Ausgaben und Einnahmen, welche als Folge einer Investition über ihre Nutzungsdauer entstehen, auf den Zeitpunkt der Investition abgezinst. Der Ausgabenstrom setzt sich dabei zusammen aus den Investitionsausgaben 1 (im Investitionsjahr 0) sowie den jährlichen Betriebskosten (Energiekosten, Bedienungs- und Unterhaltskosten) in den Jahren 1 bis n. Die Kapitalkosten (Abschreibung und Zinsen) gehören hier nicht in den Ausgabenstrom; ihr Barwert ist schon berücksichtigt, wenn man im Investitionszeitpunkt die Investitionsausgaben 1 einsetzt. (Wie man sich leicht überzeugen kann, ist der Barwert aller künftigen Kapitalkosten über die Nutzungsdauer - Zinsen und Abschreibungen - nichts anderes als die Investitionssumme 1).

Entsprechend der allgemeinen Barwertformel (10) ergibt sich somit folgende Gleichung für den Kapitalwert C einer Investition 1 über die Nutzungsdauer n :

$$C = -I + \sum_{t=1}^n \frac{(1+e)^t \cdot N_t}{(1+i)^t} \quad (\text{Fr.}) \quad (14)$$

Darin bedeuten N_t die jährlichen Nettoeinnahmen (Einnahmen minus Betriebsausgaben) bzw. die jährlichen Betriebskosteneinsparungen (gegenüber dem Ist-Zustand) im Jahre t zu Preisen von heute. Weiter bedeuten e die allgemeine Teuerungsrate und i der Kalkulationszinssatz. Wie schon dargelegt sind in der Grösse N_t die Kapitalkosten nicht enthalten.

Ist N_t (zu Preisen von heute) eine konstante, jährlich gleichbleibende Grösse N, so gilt unter Verwendung des Diskontierungssummenfaktors d (Gleichung 11 oder Näherungsgleichung 13 :

$$C = -I + N \cdot d \quad (\text{Fr.}) \quad (15)$$

Falls einzelne Kostenelemente Preissteigerungsraten aufweisen, welche von der allgemeinen Teuerung e abweichen, so müssen die betreffenden Barwerte unter Verwendung der entsprechenden Preissteigerungsraten bzw. Diskontierungssummenfaktoren separat berechnet werden. Bei Wirtschaftlichkeitsanalysen von Energiesystemen kann sich dieser Fall z.B. bei Erwartung hoher Brennstoffpreissteigerungsraten ergeben.

Alle für den PC gebräuchlichen Tabellenkalkulationsprogramme enthalten das Programm für die Barwertberechnung (Present Value). Auch dann, wenn die Voraussetzung für die Verwendung des Summenfaktors nicht gegeben ist, lässt sich also der Kapitalwert eines Zahlungsstromes stets sehr leicht berechnen.

Barwertberechnung bei mehrjährigen Investitionsprojekten

In den obigen Formeln stellt 1 jeweils die gesamte Investitionsausgabe dar. Man nimmt also vereinfachend an, dass I als einmalige Zahlung zu Beginn des ersten Betriebsjahres (Jahr 1) anfällt (Bezugszeitpunkt für die Barwertberechnung). Die Formel ist auch gültig für mehrjährige Investitionsprojekte, vorausgesetzt, dass die Investitionsausgabe I auch die Kapitalverzinsung (zum Kalkulationszinssatz) während der vorausgehenden Bauzeit einschliesst (siehe auch Abschnitt 2.2, Investitionskosten).

Betrachtungszeitraum und Restwertberücksichtigung

Die Wirtschaftlichkeitsrechnung erstreckt sich grundsätzlich über die ganze Nutzungsdauer der Investition. Wenn nun jedoch mehrere Investitionsvorhaben von unterschiedlicher Nutzungsdauer zu

vergleichen sind, muss man für die Wirtschaftlichkeitsrechnung einen einheitlichen Betrachtungszeitraum wählen (welcher dann kürzer ist als die Nutzungsdauer einiger der untersuchten Investitionen). In die obige Summenformel (Gleichungen 14) muss man also statt die Nutzungsdauer n die Betrachtungszeitdauer n_B einsetzen. Die Wahl eines einheitlichen, kürzeren Betrachtungszeitraumes ist ohne wesentliche Einbusse an Genauigkeit der Rechenergebnisse möglich, wenn eine Restwertberücksichtigung vorgenommen wird: Am Ende des Betrachtungszeitraumes haben einige der untersuchten Investitionen noch einen Restwert RW , der dem zu diesem Zeitpunkt noch nicht abgeschriebenen Teil des Investitionsbetrages I entspricht. Der Restwert bzw. dessen Barwert muss in der Kapitalwertberechnung als "Einnahme" der betreffenden Investition berücksichtigt werden.

Der Restwert RW am Ende des Betrachtungszeitraums n_B einer am Anfang der Betrachtungsperiode getätigten Investition I (mit Nutzungsdauer $n > n_B$) beträgt:

$$RW = I \cdot (n - n_B) / n \quad (\text{Fr.})$$

Für die Berechnung des Kapitalwertes C über den Betrachtungszeitraum n_B gilt somit die Gleichung:

$$C = -I + \sum_{t=1}^{n_B} \frac{(1+e)^t \cdot N_t}{(1+i)^t} + \frac{RW}{(1+i)^{n_B}} \quad (\text{Fr.}) \quad (16)$$

Barwertmethode als Variante der Kapitalwertmethode

Wenn es beim Vergleich von verschiedenen Investitionsvarianten oder Massnahmen (welche alle den gleichen Nutzen erzeugen) lediglich um die Bestimmung der kostengünstigsten Lösung geht, so reduziert sich die Rechnung auf die Bestimmung und den Vergleich der Barwerte der Ausgaben über die Nutzungsdauer, d.h. auf eine dynamische Kostenvergleichsrechnung. Man spricht in diesem Fall dann von der Barwertmethode. Die Variante mit dem geringsten Barwert der Ausgaben ist die kostengünstigste.

Die Bestimmungsgleichung für den Barwert der Ausgaben lautet:

$$B = I + \sum_{t=1}^n \frac{(1+e)^t \cdot A_t}{(1+i)^t} \quad (\text{Fr.}) \quad (17)$$

wo A_t die jährlichen Betriebskosten (ohne Kapitalkosten) zu Preisen von heute bedeuten.

Ist A_t eine konstante, jährlich gleichbleibende Grösse A , so gilt unter Verwendung des Diskontierungssummenfaktors d wiederum:

$$B = I + A \cdot d \quad (\text{Fr.}) \quad (18)$$

Der Diskontierungssummenfaktor d wird nach Gleichung 11 bzw. Näherungsformel 13, oder aus der Tabelle im Anhang 2 ermittelt.

Bestimmung der langfristigen Durchschnittskosten eines Energiesystems

Bei energiewirtschaftlichen Analysen geht es häufig um den Vergleich von Energieerzeugungssystemen, z.B. von verschiedenen Varianten von Stromerzeugungsanlagen. Der Barwert B der Ausgaben stellt also hier den Gegenwartswert aller Energiegestehungskosten über die Nutzungsdauer der Anlage dar. Daraus lassen sich nun ohne weiteres die langfristigen Durchschnittskosten kE der erzeugten Energie (Fr./kWh) berechnen.

Sind **kE die langfristigen Durchschnittskosten (zu laufenden Preisen)** der erzeugten Energie (Fr./kWh) und E_n , die im Jahr t erzeugt Energie (kWh), so gilt für den Barwert:

$$B = \sum_{t=1}^n \frac{kE \cdot E_{n_t}}{(1+i)^t} = kE \cdot B_{En} \quad (\text{Fr.}) \quad (19)$$

oder:

$$kE = B / B_{En} \quad (\text{Fr./kWh}) \quad (20)$$

Um die langfristigen Durchschnittskosten kE (zu laufenden Preisen) der erzeugten Energie zu bestimmen, muss man also den Barwert B der Ausgaben (Kosten) durch den "Barwert B_{En} der Energie" dividieren. Für die Berechnung von B_{En} muss als Diskontierungssatz der Kalkulationszinssatz i eingesetzt werden.

Eine bedeutungsvollere Grösse stellen in der Regel die langfristigen **realen** Durchschnittskosten dar, d.h. die teuerungsbereinigten Durchschnittskosten. Sind **kE_r die langfristigen realen Durchschnittskosten** der Energie, so gilt die Beziehung:

$$kE_r = B / B_{Enr} \quad (\text{Fr./kWh}) \quad (21)$$

Um die langfristigen realen Durchschnittskosten kE_r zu bestimmen, muss man wiederum den Barwert B der Ausgaben durch den "Barwert B_{Enr} der Energie" dividieren; für die Berechnung von B_{Enr} muss jedoch als Diskontierungssatz der reale Zinssatz $i_r = i - e$ verwendet werden.

5.2.2 Beurteilung der Kapitalwertmethode

Die Kapitalwertmethode (einschliesslich die abgeleitete Barwertmethode) ist eine vielseitige und für die Analyse von Energiesystemen gut geeignete Methode. Die Anwendung der Kapitalwertmethode (unter Benützung eines PC-Tabellenkalkulationsprogrammes) bietet sich vor allem dann an, wenn die Ausgaben- und Einnahmenströme über die Nutzungsdauer bzw. Betrachtungsperiode aus veränderlichen Grössen bestehen (nicht nur teuerungsbedingte Veränderungen).

Wenn die Ausgaben und Einnahmen über die Nutzungsdauer konstante Grössen sind (zu Preisen von heute), so lässt sich das Rechenverfahren durch die Verwendung einer Summenformel (Diskontierungssummenfaktor) stark vereinfachen. Sind die vereinfachenden Voraussetzungen konstanter jährlicher Rechengrössen gegeben, kann allerdings statt der Kapitalwertmethode mit Vorteil auch die sogenannte Annuitätenmethode verwendet werden. (Die Annuitätenmethode liefert als Ergebnis durchschnittliche Jahreswerte und somit besonders anschauliche Grössen; siehe Abschnitt 5.3).

Damit zwei Investitionsvarianten mittels der Kapitalwertmethode eindeutig vergleichbar sind, müssen die in Abschnitt 3.2 erläuterten Bedingungen für die wirtschaftliche Vergleichbarkeit von Varianten beachtet werden.

5.2.3 Beispiel

Das folgende Beispiel ist absichtlich einfach gewählt, so dass die Rechnung von Hand ohne weiteres nachvollzogen werden kann. Insbesondere wird angenommen, dass die jährlichen Betriebskosten (Stromkosten, Wartungskosten) zu Preisen von heute konstante Grössen sind; dies lässt die Verwendung der Summenfaktoren zu. In vielen praktischen Anwendungen darf diese vereinfachende Annahme ja auch ohne weiteres getroffen werden. Andererseits liegt das Besondere der dynamischen Methoden aber natürlich gerade darin, dass die im Zeitablauf sich laufend ändernden Daten und Grössen differenziert erfasst werden können.

Sanierung einer Pumpenanlage

Eine Grundwasserpumpenanlage soll saniert werden. Die Anlage wäre zwar noch betriebstüchtig, doch müsste eine grössere Erneuerungsinvestition vorgenommen werden. Die bestehenden Pumpen werden heute vor Ort eingeschaltet. Die Anpassung der Fördermenge an die Abnahme ist daher schwerfällig, und der Stromverbrauch der Pumpenanlage ist hoch.

Es ist geplant, im Rahmen einer Gesamtsanierung neue drehzahlregulierte Pumpen mit höherem Wirkungsgrad einzubauen; zudem soll eine Fernsteuerung installiert werden. Dadurch lässt sich der jährliche Stromverbrauch erheblich senken.

Mit Hilfe der Kapitalwertmethode soll untersucht werden, ob die Gesamtsanierung wirtschaftlich wäre.

Bestehende Anlage (mit Teilerneuerung)

Stromverbrauch	550'000	kWh/Jahr
davon im Hochtarif	65	%
Wartungskosten	15'000	Fr./Jahr
Notwendige Erneuerungsinvestition	120'000	Fr.
Nutzungsdauer nach Erneuerung	15	Jahre

Neue Anlage (Gesamtsanierung)

Stromverbrauch	360'000	kWh/Jahr
davon im Hochtarif	60	%
Wartungskosten	9'000	Fr./Jahr
Investitionskosten	460'000	Fr.
Nutzungsdauer der Investition	15	Jahre

Weitere Rechengrössen

allgemeine Teuerung	4	%/Jahr
Strompreisteuerung	3	%/Jahr
Kalkulationszinssatz	7	%
Strompreis HT	15	Rp/kWh
NT	10	Rp/kWh

Berechnung des Kapitalwertes (Gleichung 15)

Stromkosten		
- bestehende Anlage : $550'000 * (0.15 * 0.65 + 0.10 * 0.35) =$	72'875	Fr./Jahr
- nach Sanierung: $360'000 * (0.15 * 0.60 + 0.10 * 0.40) =$	46'800	Fr./Jahr
Stromkosteneinsparung	26'075	Fr./Jahr
Wartungskosteneinsparung	6'000	Fr./Jahr

Beispiel (Fortsetzung)

Diskontierungssummenfaktor (nach Näherungsgleichung 12)		
- d1 (für Stromkosteneinsparung, Teuerung 3%)	11.12	
- d2 (für Wartungskosteneinspar., Teuerung 4%)	11.94	
Investitionsmehrkosten bei Gesamtsanierung (460'000-120'000)	340'000	Fr.

Kapitalwert der Sanierungsinvestition:

$$C = - 340'000 + 11.12 * 26'075 + 11.94 * 6'000 = 21'600 \quad \text{Fr.}$$

Die geplante Sanierung weist einen positiven Kapitalwert auf; sie ist also wirtschaftlich.

Wie würde sich nun jedoch z.B. ein höherer Zinssatz auf die Wirtschaftlichkeit der Sanierungsinvestition auswirken? Nimmt man einen Kalkulationszinssatz von 8% statt 7% an, so ergibt sich ein negativer Kapitalwert (- 2'630 Fr.); damit wäre die Investition nicht mehr lohnend.

5.3 Die Annuitätenmethode

5.3.1 Der methodische Ansatz

Mit der Annuitätenmethode werden die durchschnittlichen jährlichen Kosten einer Investition über ihre Nutzungsdauer (bzw. die erzielten durchschnittlichen jährlichen Kosteneinsparungen) bestimmt. Eine Investition ist dann wirtschaftlich, wenn beim vorgegebenen Kalkulationszinssatz die durchschnittliche jährliche Kosteneinsparung einen positiven Wert darstellt.

Die Annuitätenmethode ist eine Variante der Kapitalwertmethode. Man bestimmt die durchschnittliche jährliche Kosteneinsparung, indem der Kapitalwert C der Investition mittels des Annuitätenfaktors a in gleiche Jahreswerte (Annuitäten) umgewandelt wird.

Durchschnittliche jährliche Kosteneinsparung G über die Nutzungsdauer n (zu laufenden Preisen):

$$G = C * a \quad (\text{Fr./Jahr}) \quad (22)$$

Mit Gleichung 15 für den Kapitalwert C ergibt sich auch:

$$G = - I * a + N * d * a \quad (\text{Fr./Jahr}) \quad (23)$$

wo I die Investitionskosten und N die jährlichen Betriebskosteneinsparungen zu Preisen von heute bedeuten.

Die Annuität G kann hier also direkt mittels der Faktoren a und d aus den Werten I und N, ohne "Umweg" über den Kapitalwert C, berechnet werden. Falls allerdings N nicht eine konstante, jährlich gleichbleibende Grösse darstellt, kann nicht mit den einfachen Summenfaktoren gerechnet werden, und es muss zunächst C nach der allgemeinen Gleichung 14 bestimmt werden.

Das Produkt (d * a) wird auch als "Mittelwertfaktor" m bezeichnet (Tabelle der Mittelwertfaktoren siehe Anhang 3). Es ergibt sich somit schliesslich die einfache Gleichung für die durchschnittliche jährliche Kosteneinsparung G:

$$G = - I * a + N * m \quad (\text{Fr./Jahr}) \quad (24)$$

Interessiert man sich nur für die Kostenseite, z.B. bei einer Kostenminimierungsaufgabe, so berechnet man mit der Annuitätenmethode die durchschnittlichen jährlichen Kosten einer Investition 1. Mit Gleichung 18 sowie unter Verwendung des Mittelwertfaktors $m = d \cdot a$ ergibt sich für die durchschnittlichen Jahreskosten K über die Nutzungsdauer n (zu laufenden Preisen):

$$K = 1 \cdot a + A \cdot d \cdot a = 1 \cdot a + A \cdot m \quad (\text{Fr./Jahr}) \quad (25)$$

wo A die jährlichen Betriebskosten (Energiekosten, Wartungskosten) zu Preisen von heute bedeuten. Der Wert $(1 \cdot a)$ stellt die durchschnittlichen jährlichen Kapitalkosten (Abschreibung und Verzinsung) und $(A \cdot m)$ die durchschnittlichen jährlichen Betriebskosten über die Nutzungsdauer n dar.

Setzt man bei der Bestimmung des Annuitätenfaktors a (auch in a bei der Berechnung von m) statt des Kalkulationszinssatzes i den "realen" Zinssatz $i_r = i - e$ ein, so erhält man mit den Gleichungen 24 und 25 die durchschnittlichen realen jährlichen Kosteneinsparungen, bzw. die durchschnittlichen realen Jahreskosten.

5.3.2 Beurteilung der Methode

Die Annuitätenmethode ist vor allem dann ein sehr zweckmässiges und anschauliches Verfahren der Wirtschaftlichkeitsanalyse, wenn die einfachen Voraussetzungen für die Rechnung mit Summenfaktoren gelten (konstante Jahreskosten zu Preisen von heute). Bei vielen praktischen Problemstellungen ist dies näherungsweise der Fall. Wenn diese Voraussetzungen nicht gelten, muss zuerst der Kapitalwert ermittelt werden (Kapitalwertmethode siehe Abschnitt 5.2); daraus lassen sich dann in einem zweiten Schritt die durchschnittlichen Jahreswerte (Annuitäten) berechnen. Für die Annuitätenmethode gelten im übrigen die gleichen Einschränkungen wie für die Kapitalwertmethode, z.B. in Bezug auf die Bedingungen für die wirtschaftliche Vergleichbarkeit von Varianten (siehe Abschnitt 3.2).

5.3.3 Beispiel

Zwei Varianten für eine neue Heizungsanlage, eine Elektro-Wärmepumpenanlage und eine konventionelle Ölheizung, sollen mit Hilfe der Annuitätenmethode verglichen werden. Der Kalkulationszinssatz beträgt 6%. Es wird zudem erwartet, dass die Ölkosten langfristig einer jährlichen Teuerung von 5% unterworfen sein werden, während die Stromkosten und die übrigen Betriebskosten der allgemeinen Teuerung von durchschnittlich 4% folgen. Beide Anlagen haben eine Nutzungsdauer von 15 Jahren.

Variante 1 (Elektro-Wärmepumpe)

Investitionskosten	45'000	Fr.
Jährliche Stromkosten (heutige Preise)	2'600	Fr./Jahr
Jährliche Wartungskosten (heutige Preise)	1'000	Fr./Jahr
Annuitätenfaktor a (6% Zins, 15 Jahre)	0.11	
Diskontierungssummenfaktor d (Zins 6%, Teuerung 4%, 15 Jahre) (Berechnung von d nach Näherungsgleichung 12)	12.85	
somit Mittelwertfaktor $m = d \cdot a =$	1.41	
Durchschnittliche jährliche Kosten (zu laufenden Preisen)		
$K = 45'000 \cdot 0.11 + (2'600 + 1'000) \cdot 1.41 =$	10'030	Fr./Jahr

Variante 2 (Oelheizung)

Investitionskosten	35'000	Fr.	
Jährliche Brennstoffkosten (heutige Preise)		3'400	Fr./Jahr
Jährliche Wartungskosten (heutige Preise)		1'400	Fr./Jahr
Annuitätenfaktor a (6% Zins, 15 Jahre)		0.11	
Diskontierungssummenfaktor d (Näherungsgleichung 12)			
- Brennstoffkosten (Zins 6%, Teuerung 5%, 15 Jahre)		13.87	
- Wartungskosten (Zins 6%, Teuerung 4%, 15 Jahre)		12.85	
somit Mittelwertfaktor m = d * a			
- Brennstoffkosten	1.53		
- Wartungskosten	1.41		

Durchschnittliche jährliche Kosten (zu laufenden Preisen)

$$K = 35'000 * 0.11 + 3'400 * 1.53 + 1'400 * 1.41 = 11'030 \quad \text{Fr./Jahr}$$

Variante 1 ist die wirtschaftlichere Lösung; die durchschnittlichen Jahreskosten der Wärmepumpe sind ca. 9% niedriger als jene der Oelheizung. Das Ergebnis ist jedoch wesentlich abhängig von den angenommenen Rechenparametern, z.B. den Teuerungsraten. Beträgt z.B. die jährliche Brennstoffteuerung nur 3% statt 5%, so wird die Oelheizung zur kostengünstigeren Variante.

5.4 Die Methode des internen Zinssatzes

5.4.1 Der methodische Ansatz

Der "interne Zinssatz" stellt die durchschnittliche Verzinsung des investierten Kapitals über die Nutzungsdauer der Investition dar. Der interne Zinssatz r ist derjenige Zinssatz, bei dem der Kapitalwert (C) der Investition gleich Null wird, wo also der Barwert der Einnahmen gerade gleich dem Barwert der Ausgaben ist. Ist der interne Zinssatz einer Investition grösser als der Kalkulationszinssatz, so gilt die Investition als wirtschaftlich und umgekehrt.

Beim Vergleich von zwei Varianten (weiche beide den gleichen Nutzen erzeugen) muss wie folgt vorgegangen werden: Sind beide Varianten grundsätzlich wirtschaftlich (interner Zinssatz grösser als der Kalkulationszinssatz), so heisst das noch nicht notwendigerweise, dass die Variante mit dem höheren internen Zinssatz tatsächlich die vorteilhaftere Variante ist. Massgebend für den wirtschaftlichen Vergleich von zwei Investitionsvarianten (mit im allgemeinen unterschiedlichem Kapitaleinsatz) ist der interne Zinssatz der Differenzinvestition (d.h. des Kapitalmehreinsatzes der grösseren gegenüber der kleineren Investition), gemessen an den zusätzlichen Nettoeinnahmen. Ist der interne Zinssatz der Differenzinvestition grösser als der Kalkulationszinssatz, so ist die Variante mit dem grösseren Kapitaleinsatz die vorteilhaftere und umgekehrt.

Die Berechnung des internen Zinssatzes stellt eine wichtige Ergänzung der Kapitalwertberechnung dar: Während der Kapitalwert (je nach dem ob ein positiver oder negativer Wert) angibt, ob eine Investition beim vorgegebenen Kalkulationszinssatz grundsätzlich wirtschaftlich ist oder nicht, zeigt der interne Zinssatz die tatsächliche Rentabilität der Investition, d.h. die Effektivverzinsung. Ein interner Zinssatz von z.B. 6% bedeutet also, dass die Einnahmen (oder Kosteneinsparungen) aus der Investition neben der Deckung der laufenden Betriebsausgaben und Kapitalrückzahlungen über die Nutzungsdauer eine Verzinsung von 6% ermöglichen.

Rechnerisch wird der interne Zinssatz grundsätzlich dadurch bestimmt, dass man den Kalkulationszinssatz solange variiert, bis $C = 0$ wird. Alle gebräuchlichen Tabellenkalkulationsprogramme für den PC enthalten das Rechenprogramm für die Bestimmung des internen Zinssatzes (Internal Rate of Return). Steht dieses Hilfsmittel nicht zur Verfügung, so kann der interne Zinssatz mit gutem Ergebnis

auch durch eine einfache (z.B. grafische) Interpolation bestimmt werden: Man rechnet den Kapitalwert für zwei bis drei verschiedene Zinssätze und zeichnet dann die Funktion $C(r)$. Der Schnittpunkt der Kurve mit der Achse $C = 0$ gibt den Wert für den internen Zinssatz.

5.4.2 Beurteilung der Methode

Mit der Bestimmung des internen Zinssatzes erhält man eindeutige Aussagen über die Verzinsung des investierten Kapitals. Das an sich eher komplexe Rechenverfahren lässt sich mit den heute verfügbaren Rechenhilfsmitteln ohne grossen Aufwand lösen. Einfache Hilfsverfahren ergeben meist rasch eine gute Näherungslösung. Es empfiehlt sich daher - dort wo sinnvoll - als Ergänzung zur Analyse nach der Kapitalwert- oder der Annuitätenmethode stets auch die Bestimmung des internen Zinssatzes vorzunehmen.

5.4.3 Beispiel

Für das in Abschnitt 5.2 dargestellte Beispiel soll der interne Zinssatz bestimmt werden. Für den Kapitalwert der Sanierungsinvestition ergab sich die Gleichung:

$$C = -340'000 + 26'075 \cdot d_1 + 6'000 \cdot d_2 \quad (\text{Fr.})$$

wo d die Diskontierungssummenfaktoren darstellen. Beim Kalkulationszinssatz von 7 % ergab sich ein Kapitalwert von 21'600 Fr. Berechnet man nun die Diskontierungssummenfaktoren (z.B. nach Näherungsgleichung 12) bzw. den Kapitalwert versuchsweise mit einem Zinssatz von 8%, so wird der Kapitalwert negativ (- 2'600 Fr.). Der interne Zinssatz liegt also zwischen 7 und 8 %. Eine einfache Interpolation ergibt einen internen Zinssatz von 7.9 %.

5.5 Die dynamische Amortisationsrechnung

5.5.1 Der methodische Ansatz

Mit diesem Verfahren wird - analog zur statischen "Pay-back" Rechnung, jedoch unter Berücksichtigung der Grundsätze der dynamischen Wirtschaftlichkeitsrechnung - die Zeitdauer ermittelt, in welcher das Kapital einer Investition wieder zurückgeflossen ist. Ist die Kapitalrückflusszeit kürzer als die Nutzungsdauer der Investition, so ist das Investitionsvorhaben wirtschaftlich, d.h. die Verzinsung des investierten Kapitals liegt über dem Kalkulationszinssatz.

Rechnerisch wird die Kapitalrückflusszeit dadurch bestimmt, dass man in der Formel für die Berechnung des Kapitalwertes (Gleichung 15) die Nutzungsdauer so lange variiert, bis der Kapitalwert Null wird. Die "Nutzungsdauer", bei welcher der Kapitalwert Null wird, entspricht der gesuchten Kapitalrückflusszeit. Wie bei der Bestimmung des internen Zinssatzes bietet sich auch hier ein einfaches Interpolationsverfahren an.

5.5.2 Beurteilung der Methode

Falls bei einer Investitionsentscheidung Liquiditäts- oder Risikoüberlegungen eine wichtige Rolle spielen, stellt die Bestimmung der Kapitalrückflusszeit eine zweckmässige Ergänzung der Wirtschaftlichkeitsanalyse dar.

5.5.3 Beispiel

Für das in Abschnitt 5.2 dargestellte Beispiel (Sanierungsinvestition) soll die Kapitalrückflusszeit bestimmt werden. Die Gleichung für den Kapitalwert lautet:

$$C = -340'000 + 26'075 \cdot d_1 + 6'000 \cdot d_2 \quad (\text{Fr.})$$

Bei einer Nutzungsdauer der Investition von 15 Jahren ergab sich ein Kapitalwert von 21'600 Fr. Unterstellt man nun versuchsweise eine Nutzungsdauer von 12 Jahren, so ergeben sich für die Diskontierungssummenfaktoren d_1 und d_2 Werte von 9.45 bzw. 10.02 (nach Tabelle Anhang 2) und der Kapitalwert wird negativ (- 33'500 Fr.). Die Kapitalrückflusszeit liegt also zwischen 15 und 12 Jahren. Eine einfache Interpolation ergibt für die Kapitalrückflusszeit einen Wert von 13.8 Jahren.

6. Wahl der geeigneten Rechenmethode

Die beschriebenen Methoden der Wirtschaftlichkeitsanalyse gelten grundsätzlich für die betriebswirtschaftliche Untersuchung eines beliebigen Investitionsvorhabens. Im Zusammenhang mit Investitionen und Rationalisierungsmassnahmen im betrieblichen Energiebereich, welche hier im Vordergrund stehen, ist jedoch speziell zu beachten:

- Für die betriebliche Energieversorgung gelten neben der Wirtschaftlichkeit eine Reihe weiterer wichtiger Anforderungen (Betriebssicherheit, Umweltverträglichkeit, etc.). Massnahmen im Energiebereich sind also nicht primär gewinnorientiert; die Frage der Kostenminimierung steht im Vordergrund.
- Die Investitionen im Energiebereich sind gekennzeichnet durch eine lange Nutzungsdauer. Die Wirtschaftlichkeitsanalyse erfordert daher eine langfristige Betrachtungsweise.
- Teuerungs- und marktbedingt sind die Preise, insbesondere auch die Strom- und Brennstoffpreise, veränderliche Grössen. Bei der geforderten langfristigen Betrachtung muss der (oft unsicheren) Energiepreisentwicklung Rechnung getragen werden.

Diese Besonderheiten und Anforderungen legen für die Wirtschaftlichkeitsanalyse von Energiesystemen die Anwendung von dynamischen Rechenmethoden nahe. Entsprechend der jeweiligen Fragestellung sind dabei folgende Methoden bzw. Vorgehen besonders geeignet:

Fragestellung 1

Ist eine geplante energietechnische Massnahme wirtschaftlich? d.h. entspricht die Verzinsung des investierten Kapitals über die Nutzungsdauer wenigstens dem Kalkulationszinssatz? Massgebend ist hier die erreichbare Kosteneinsparung.

Die zweckmässige Analyseverfahren:

* Annuitätenmethode (Abschnitt 5.3)

Bestimmung der durchschnittlichen jährlichen Kosteneinsparung über die Nutzungsdauer der Investition (Gleichung 23 bzw. 24). Ergibt sich eine positive Kosteneinsparung, so ist die Investition grundsätzlich wirtschaftlich.

* Sensitivitätsanalyse (Abschnitt 2.1)

Mit Hilfe einer Sensitivitätsanalyse ist der Einfluss einer Veränderung wichtiger Rechenparameter (Zinssatz, Teuerung, Strom- und Brennstoffpreise) auf die Wirtschaftlichkeit der geplanten Massnahme zu untersuchen.

Eventuell als Ergänzung:

* Bestimmung des internen Zinssatzes (Abschnitt 5.4)

Der interne Zinssatz gibt an, zu welchem Zinssatz sich das investierte Kapital - gemessen an der damit erzielten Kosteneinsparung - effektiv verzinst (Rentabilität).

Fragestellung 2

Variantenvergleich: Welche von verschiedenen möglichen Varianten einer energietechnischen Massnahme ist die kostengünstigste? Hier steht also die Frage der Kostenminimierung im Vordergrund.

Die zweckmässige Analyseverfahren:

* Annuitätenmethode (Abschnitt 5.3)

Für jede Variante werden die durchschnittlichen jährlichen Kosten über die Nutzungsdauer der Investition bestimmt (Gleichung 25).

* Sensitivitätsanalyse

Wie bei Fragestellung 1.

Anhang 1
Annuitätenfaktoren

Nutzungsdauer Jahre	Kalkulationszinssatz											
	1%	2%	2%	4%	5%	6%	7%	8%	9%	10%	11%	12%
1	1.010	1.020	1.030	1.040	1.050	1.060	1.070	1.080	1.090	1.100	1.110	1.120
2	0.508	0.515	0.523	0.530	0.538	0.545	0.553	0.561	0.568	0.576	0.584	0.592
3	0.340	0.347	0.354	0.360	0.367	0.374	0.381	0.388	0.395	0.402	0.409	0.416
4	0.256	0.263	0.269	0.275	0.282	0.289	0.295	0.302	0.309	0.315	0.322	0.329
5	0.206	0.212	0.218	0.225	0.231	0.237	0.244	0.250	0.257	0.264	0.271	0.277
6	0.173	0.179	0.185	0.191	0.197	0.203	0.210	0.216	0.223	0.230	0.236	0.243
7	0.149	0.155	0.161	0.167	0.173	0.179	0.186	0.192	0.199	0.205	0.212	0.219
8	0.131	0.137	0.142	0.149	0.155	0.161	0.167	0.174	0.181	0.187	0.194	0.201
9	0.117	0.123	0.128	0.134	0.141	0.147	0.153	0.160	0.167	0.174	0.181	0.188
10	0.106	0.111	0.117	0.123	0.130	0.136	0.142	0.149	0.156	0.163	0.170	0.177
11	0.096	0.102	0.108	0.114	0.120	0.127	0.133	0.140	0.147	0.154	0.161	0.168
12	0.089	0.095	0.100	0.107	0.113	0.119	0.126	0.133	0.140	0.147	0.154	0.161
13	0.082	0.088	0.094	0.100	0.106	0.113	0.120	0.127	0.134	0.141	0.148	0.156
14	0.077	0.083	0.089	0.095	0.101	0.108	0.114	0.121	0.128	0.136	0.143	0.151
15	0.072	0.078	0.084	0.090	0.096	0.103	0.110	0.117	0.124	0.131	0.139	0.147
16	0.068	0.074	0.080	0.086	0.092	0.099	0.106	0.113	0.120	0.128	0.136	0.143
17	0.064	0.070	0.076	0.082	0.089	0.095	0.102	0.110	0.117	0.125	0.132	0.140
18	0.061	0.067	0.073	0.079	0.086	0.092	0.099	0.107	0.114	0.122	0.130	0.138
19	0.058	0.064	0.070	0.076	0.083	0.090	0.097	0.104	0.112	0.120	0.128	0.136
20	0.055	0.061	0.067	0.074	0.080	0.087	0.094	0.102	0.110	0.117	0.126	0.134
25	0.045	0.051	0.057	0.064	0.071	0.078	0.086	0.094	0.102	0.110	0.119	0.127
30	0.039	0.045	0.051	0.058	0.065	0.073	0.081	0.089	0.097	0.106	0.115	0.124
35	0.034	0.040	0.047	0.054	0.061	0.069	0.077	0.086	0.095	0.104	0.113	0.122
40	0.030	0.037	0.043	0.051	0.058	0.066	0.075	0.084	0.093	0.102	0.112	0.121
50	0.026	0.032	0.039	0.047	0.055	0.063	0.072	0.082	0.091	0.101	0.111	0.120

Anhang 2
Diskontierungssummenfaktoren

		Nutzungsdauer		Kalkulationszinssatz									
		Jahre	1%	2%	3%	4%	5%	6%	7%	8%	9%	10%	12%
Teuerung 0%	5	4.85	4.71	4.58	4.45	4.33	4.21	4.10	3.99	3.89	3.79	3.60	
	10	9.47	8.98	8.53	8.11	7.72	7.36	7.02	6.71	6.42	6.14	5.65	
	12	11.26	10.58	9.95	9.39	8.86	8.38	7.94	7.54	7.16	6.81	6.19	
	14	13.00	12.11	11.30	10.56	9.90	9.29	8.75	8.24	7.79	7.37	6.63	
	16	14.72	13.58	12.56	11.65	10.84	10.11	9.45	8.85	8.31	7.82	6.97	
	18	16.40	14.99	13.75	12.66	11.69	10.83	10.06	9.37	8.76	8.20	7.25	
	20	18.05	16.35	14.88	13.59	12.46	11.47	10.59	9.82	9.13	8.51	7.47	
	25	22.02	19.52	17.41	15.62	14.09	12.78	11.65	10.67	9.82	9.08	7.84	
Teuerung 2%	5	5.15	5.00	4.86	4.72	4.59	4.46	4.34	4.23	4.12	4.01	3.81	
	10	10.56	10.00	9.48	9.00	8.56	8.14	7.76	7.40	7.07	6.76	6.20	
	12	12.80	12.00	11.27	10.60	9.99	9.43	8.91	8.44	8.00	7.60	6.88	
	14	15.09	14.00	13.02	12.14	11.34	10.62	9.96	9.36	8.82	8.32	7.45	
	16	17.42	16.00	14.74	13.62	12.62	11.72	10.91	10.19	9.53	8.94	7.92	
	18	19.79	18.00	16.43	15.04	13.82	12.74	11.78	10.92	10.16	9.47	8.31	
	20	22.22	20.00	18.08	16.41	14.96	13.69	12.57	11.58	10.71	9.93	8.63	
	25	28.49	25.00	22.08	19.61	17.53	15.75	14.23	12.93	11.80	10.82	9.22	
Teuerung 3%	5	5.30	5.15	5.00	4.86	4.72	4.59	4.47	4.35	4.23	4.12	3.92	
	10	11.16	10.56	10.00	9.49	9.01	8.57	8.16	7.78	7.42	7.09	6.49	
	12	13.66	12.79	12.00	11.28	10.61	10.01	9.45	8.94	8.46	8.03	7.26	
	14	16.27	15.07	14.00	13.03	12.16	11.36	10.64	9.99	9.40	8.85	7.90	
	16	18.98	17.40	16.00	14.75	13.64	12.65	11.75	10.95	10.23	9.58	8.45	
	18	21.80	19.77	18.00	16.44	15.07	13.86	12.78	11.82	10.97	10.21	8.91	
	20	24.73	22.19	20.00	18.10	16.44	15.00	13.73	12.62	11.63	10.76	9.30	
	25	32.58	28.45	25.00	22.10	19.66	17.58	15.82	14.30	13.00	11.87	10.03	
Teuerung 4%	5	5.46	5.30	5.15	5.00	4.86	4.72	4.59	4.47	4.35	4.24	4.03	
	10	11.79	11.14	10.55	10.00	9.49	9.02	8.58	8.17	7.79	7.44	6.80	
	12	14.59	13.64	12.78	12.00	11.28	10.63	10.02	9.47	8.96	8.49	7.66	
	14	17.56	16.24	15.06	14.00	13.04	12.17	11.39	10.67	10.02	9.43	8.39	
	16	20.71	18.95	17.39	16.00	14.76	13.66	12.67	11.79	10.99	10.27	9.03	
	18	24.05	21.76	19.76	18.00	16.46	15.09	13.89	12.82	11.87	11.02	9.58	
	20	27.59	24.68	22.17	20.00	18.12	16.47	15.04	13.78	12.67	11.69	10.05	
	25	37.40	32.50	28.41	25.00	22.13	19.70	17.64	15.88	14.37	13.07	10.96	
Teuerung 5%	5	5.63	5.46	5.30	5.15	5.00	4.86	4.73	4.60	4.48	4.36	4.14	
	10	12.46	11.77	11.13	10.54	10.00	9.50	9.03	8.59	8.19	7.81	7.13	
	12	15.59	14.56	13.63	12.78	12.00	11.29	10.64	10.04	9.49	8.98	8.09	
	14	18.96	17.52	16.22	15.05	14.00	13.05	12.19	11.41	10.70	10.05	8.92	
	16	22.62	20.65	18.92	17.37	16.00	14.78	13.68	12.70	11.82	11.02	9.66	
	18	26.56	23.98	21.72	19.74	18.00	16.47	15.12	13.92	12.86	11.91	10.31	
	20	30.83	27.50	24.63	22.15	20.00	18.13	16.50	15.08	13.82	12.72	10.87	
	25	43.07	37.24	32.41	28.38	25.00	22.15	19.74	17.69	15.94	14.44	12.01	
Teuerung 6%	5	5.79	5.62	5.45	5.30	5.14	5.00	4.86	4.73	4.60	4.48	4.25	
	10	13.17	12.43	11.75	11.12	10.54	10.00	9.50	9.04	8.60	8.20	7.48	
	12	16.66	15.54	14.53	13.61	12.77	12.00	11.30	10.65	10.06	9.51	8.54	
	14	20.50	18.91	17.48	16.20	15.04	14.00	13.06	12.20	11.43	10.72	9.49	
	16	24.73	22.54	20.60	18.88	17.36	16.00	14.79	13.70	12.73	11.85	10.35	
	18	29.39	26.46	23.91	21.68	19.72	18.00	16.48	15.14	13.95	12.90	11.11	
	20	34.52	30.70	27.41	24.58	22.13	20.00	18.15	16.53	15.11	13.87	11.79	
	25	49.75	42.82	37.09	32.33	28.34	25.00	22.18	19.79	17.75	16.00	13.21	
Teuerung 7%	5	5.96	5.79	5.61	5.45	5.29	5.14	5.00	4.86	4.73	4.61	4.37	
	10	13.92	13.13	12.41	11.73	11.11	10.53	10.00	9.50	9.04	8.62	7.85	
	12	17.81	16.60	15.51	14.51	13.59	12.76	12.00	11.30	10.66	10.07	9.03	
	14	22.17	20.42	18.85	17.44	16.17	15.03	14.00	13.07	12.22	11.45	10.11	
	16	27.07	24.62	22.46	20.55	18.85	17.35	16.00	14.80	13.72	12.75	11.09	
	18	32.56	29.24	26.36	23.84	21.64	19.70	18.00	16.50	15.17	13.98	11.99	
	20	38.72	34.33	30.56	27.32	24.53	22.10	20.00	18.16	16.56	15.15	12.82	
	25	57.64	49.40	42.59	36.95	32.25	28.31	25.00	22.20	19.83	17.80	14.57	
Teuerung 8%	5	6.14	5.95	5.78	5.61	5.45	5.29	5.14	5.00	4.86	4.73	4.49	
	10	14.73	13.88	13.10	12.38	11.71	11.10	10.53	10.00	9.51	9.05	8.23	
	12	19.05	17.74	16.55	15.47	14.48	13.58	12.75	12.00	11.31	10.67	9.55	
	14	24.00	22.07	20.34	18.80	17.41	16.15	15.02	14.00	13.07	12.23	10.77	
	16	29.65	26.92	24.51	22.39	20.50	18.82	17.33	16.00	14.81	13.74	11.91	
	18	36.11	32.36	29.10	26.26	23.78	21.60	19.69	18.00	16.51	15.19	12.97	
	20	43.51	38.46	34.14	30.43	27.24	24.48	22.08	20.00	18.18	16.59	13.95	
	25	66.96	57.14	49.05	42.36	36.81	32.17	28.28	25.00	22.23	19.87	16.12	

Anhang 3
Mittelwertfaktoren

		Nutzungsdauer				Kalkulationszinssatz								
		Jahre	1%	2%	3%	4%	5%	6%	7%	8%	9%	10%	12%	
Teuerung 0%	5	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	10	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	12	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	14	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	16	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	18	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	20	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Teuerung 2%	5	1.061	1.061	1.060	1.060	1.060	1.059	1.059	1.058	1.058	1.058	1.058	1.057	
	10	1.115	1.113	1.111	1.110	1.108	1.108	1.106	1.105	1.103	1.101	1.100	1.097	
	12	1.137	1.135	1.132	1.130	1.127	1.125	1.122	1.122	1.120	1.117	1.115	1.111	
	14	1.160	1.156	1.153	1.149	1.146	1.142	1.139	1.136	1.136	1.133	1.129	1.123	
	16	1.183	1.178	1.174	1.169	1.164	1.160	1.155	1.151	1.147	1.147	1.143	1.135	
	18	1.207	1.201	1.194	1.188	1.182	1.177	1.171	1.166	1.166	1.160	1.155	1.146	
	20	1.231	1.223	1.215	1.208	1.200	1.193	1.186	1.179	1.179	1.173	1.167	1.155	
Teuerung 3%	5	1.093	1.092	1.092	1.091	1.091	1.090	1.089	1.089	1.088	1.088	1.088	1.086	
	10	1.178	1.175	1.172	1.170	1.167	1.164	1.162	1.159	1.156	1.156	1.154	1.149	
	12	1.214	1.210	1.206	1.201	1.197	1.194	1.190	1.186	1.186	1.182	1.178	1.171	
	14	1.251	1.245	1.239	1.234	1.228	1.223	1.217	1.212	1.212	1.207	1.202	1.192	
	16	1.290	1.282	1.274	1.266	1.259	1.251	1.244	1.237	1.237	1.230	1.224	1.211	
	18	1.329	1.319	1.309	1.299	1.289	1.280	1.270	1.262	1.262	1.253	1.245	1.229	
	20	1.370	1.357	1.344	1.332	1.319	1.308	1.296	1.285	1.285	1.275	1.264	1.245	
Teuerung 4%	5	1.126	1.125	1.124	1.123	1.122	1.121	1.121	1.120	1.119	1.118	1.118	1.117	
	10	1.245	1.241	1.237	1.233	1.229	1.225	1.222	1.222	1.218	1.215	1.211	1.204	
	12	1.296	1.290	1.284	1.279	1.273	1.267	1.262	1.262	1.257	1.251	1.246	1.236	
	14	1.350	1.342	1.334	1.325	1.317	1.310	1.302	1.294	1.287	1.287	1.280	1.266	
	16	1.407	1.395	1.384	1.373	1.362	1.352	1.341	1.332	1.322	1.322	1.312	1.295	
	18	1.466	1.451	1.436	1.422	1.408	1.394	1.381	1.368	1.355	1.355	1.343	1.321	
	20	1.529	1.509	1.490	1.472	1.454	1.436	1.419	1.403	1.388	1.388	1.373	1.345	
Teuerung 5%	5	1.159	1.158	1.157	1.156	1.155	1.154	1.153	1.152	1.151	1.150	1.150	1.148	
	10	1.315	1.310	1.305	1.300	1.295	1.290	1.285	1.281	1.276	1.276	1.271	1.262	
	12	1.385	1.377	1.369	1.361	1.354	1.347	1.339	1.332	1.322	1.322	1.318	1.305	
	14	1.458	1.447	1.436	1.425	1.414	1.404	1.394	1.384	1.374	1.374	1.364	1.346	
	16	1.537	1.521	1.506	1.491	1.476	1.462	1.448	1.435	1.422	1.422	1.409	1.385	
	18	1.620	1.599	1.579	1.559	1.540	1.521	1.503	1.485	1.468	1.468	1.452	1.422	
	20	1.708	1.682	1.655	1.630	1.605	1.581	1.558	1.536	1.514	1.514	1.494	1.456	
Teuerung 6%	5	1.194	1.192	1.191	1.190	1.188	1.187	1.186	1.184	1.183	1.183	1.182	1.179	
	10	1.391	1.384	1.378	1.371	1.365	1.359	1.353	1.347	1.341	1.341	1.335	1.324	
	12	1.480	1.470	1.460	1.450	1.441	1.431	1.422	1.413	1.404	1.404	1.396	1.379	
	14	1.576	1.562	1.547	1.533	1.520	1.506	1.493	1.480	1.468	1.468	1.456	1.432	
	16	1.680	1.660	1.640	1.621	1.602	1.583	1.565	1.548	1.531	1.531	1.515	1.483	
	18	1.792	1.765	1.738	1.712	1.687	1.662	1.639	1.616	1.594	1.594	1.572	1.532	
	20	1.913	1.877	1.842	1.808	1.775	1.744	1.713	1.684	1.656	1.656	1.629	1.579	
Teuerung 7%	5	1.229	1.227	1.226	1.224	1.223	1.221	1.219	1.218	1.216	1.216	1.215	1.212	
	10	1.470	1.462	1.454	1.446	1.439	1.431	1.424	1.416	1.409	1.409	1.402	1.389	
	12	1.582	1.570	1.558	1.546	1.534	1.522	1.511	1.500	1.489	1.489	1.478	1.458	
	14	1.705	1.687	1.669	1.651	1.634	1.617	1.601	1.585	1.569	1.569	1.554	1.525	
	16	1.839	1.813	1.788	1.764	1.740	1.716	1.694	1.672	1.650	1.650	1.630	1.591	
	18	1.985	1.951	1.916	1.883	1.851	1.820	1.789	1.760	1.732	1.732	1.705	1.654	
	20	2.146	2.099	2.054	2.010	1.968	1.927	1.888	1.850	1.814	1.814	1.780	1.716	
Teuerung 8%	5	1.265	1.263	1.261	1.260	1.258	1.256	1.254	1.252	1.251	1.251	1.249	1.245	
	10	1.555	1.545	1.536	1.526	1.517	1.508	1.499	1.490	1.482	1.482	1.473	1.457	
	12	1.693	1.677	1.663	1.648	1.634	1.620	1.606	1.592	1.579	1.579	1.566	1.541	
	14	1.845	1.823	1.801	1.779	1.758	1.738	1.718	1.698	1.679	1.679	1.661	1.625	
	16	2.015	1.983	1.952	1.921	1.892	1.863	1.835	1.808	1.781	1.781	1.756	1.708	
	18	2.202	2.159	2.116	2.074	2.034	1.995	1.957	1.921	1.886	1.886	1.852	1.789	
	20	2.411	2.352	2.295	2.239	2.186	2.134	2.085	2.037	1.992	1.992	1.948	1.868	
25	3.041	2.927	2.817	2.712	2.611	2.516	2.426	2.342	2.263	2.263	2.189	2.056		

Abkürzungen

K	Kosten
K_t	Kosten im Jahre t
K_o	Anfangskosten (zu Beginn einer Betrachtungsperiode)
K_B	Betriebskosten
K_E	Energiekosten
K_{Be}	Bedienungs- und Unterhaltskosten (Betriebskosten im engeren Sinn)
K_K	Kapitalkosten
K_Z	Zinskosten
K_A	Abschreibungskosten
b	Abschreibungssatz (in der Regel in %)
I	Investitionsausgaben, Investitionskosten
I_t	Investitionsausgaben im Jahre t
i	Zinssatz, Kalkulationszinssatz; in % oder in dezimaler Schreibweise (z.B. 0.07)
i_r	realer Zinssatz
q	Zinsfaktor: $q = (1 + i)$; i in dezimaler Schreibweise
r	interner Zinssatz
n	Nutzungsdauer, Lebensdauer
n_r	Restlebensdauer
n_B	Betrachtungszeitraum
t	das laufende Jahr ($t = 1 \dots n$)
e	allgemeine Teuerung, Inflationsrate; in % oder in dezimaler Schreibweise
e_F	Preissteigerungsrate für den Produktionsfaktor F
$(1 + e)$	Teuerungsfaktor; e in dezimaler Schreibweise
a	Annuitätenfaktor
d	Diskontierungssummenfaktor
m	Mittelwertfaktor
B	Barwert, Gegenwartswert
C	Kapitalwert
RW	Restwert
R	Rückfluss, Kapitalrückfluss
m	Amortisationszeit, Kapitalrückflusszeit
Re	Rentabilität, Rendite
G	Gewinn, Ueberschuss, auch: Kosteneinsparung
E	Einnahmen, Erlös
A	Ausgaben, auch: Betriebskosten
N	Betriebskosteneinsparung
p	Preis
p_E	Energiepreis
p_{EL}	Elektrizitätspreis
p_A	Arbeitspreis
p_P	Leistungspreis
p_G	Grundpreis
En	Energie
P	Leistung, Leistungsbedarf
P_{max}	maximale Leistung

Literaturverzeichnis

Winje D. und Witt D.: "Energiewirtschaft". Handbuchreihe Energieberatung/Energiemanagement, Bd. II. Springer Berlin, 1991

Wohinz J.W. und Moor M.: "Betriebliches Energiemanagement". Springer Wien, 1989

Von Cube H.L. et al.: Handbuchreihe der Energiespartechnik, Bd. 1, "Technische und wirtschaftliche Grundlagen". Karlsruhe, 1983.

RAVEL Handbuch - "Strom rationell nutzen". Zürich, 1992