



Panos Konstantin

Praxisbuch Energiewirtschaft

Energieumwandlung, -transport
und -beschaffung, Übertragungsnetzausbau
und Kernenergieausstieg

4. Auflage

VDI

EXTRAS ONLINE



Springer Vieweg

VDI-Buch

Weitere Informationen zu dieser Reihe finden Sie unter
<http://www.springer.com/series/3482>

Panos Konstantin

Praxisbuch Energiewirtschaft

Energieumwandlung, -transport
und -beschaffung, Übertragungsnetzausbau
und Kernenergieausstieg

4., aktualisierte Auflage

Panos Konstantin
Burgstetten, Deutschland

VDI-Buch

ISBN 978-3-662-49822-4

ISBN 978-3-662-49823-1 (eBook)

DOI 10.1007/978-3-662-49823-1

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Springer Vieweg

© Springer-Verlag GmbH Deutschland 2007, 2009, 2013, 2017

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier

Springer Vieweg ist Teil von Springer Nature

Die eingetragene Gesellschaft ist Springer-Verlag GmbH Deutschland

Die Anschrift der Gesellschaft ist: Heidelberger Platz 3, 14197 Berlin, Germany

Geleitwort

Seit die Menschheit den Sprung in die Industriegesellschaft geschafft hat, steht die Nutzung von Energie als wesentlicher Produktionsfaktor im Mittelpunkt des Fortschritts. Die Bereitstellung von Energie für den täglichen Bedarf von Haushalten und Unternehmen ist für die Industrieländer zu einer Selbstverständlichkeit geworden, ein komfortables Niveau, das Schwellen- und Entwicklungsländer ebenfalls anstreben.

Vor diesem Hintergrund kommt der Energiewirtschaft als einer der herausragenden technisch-wirtschaftlichen Disziplinen eine besondere Bedeutung zu. Die hier zu lösenden Aufgaben beschränken sich nicht nur auf die technische Optimierung von Anlagen und Verfahren zur Energieumwandlung, sondern sie erstrecken sich weit hinein in betriebswirtschaftliche und volkswirtschaftliche Fragestellungen. Die besten Lösungen können nur in der engen Zusammenarbeit zwischen Ingenieuren, Kaufleuten und Ökonomen gefunden werden. Am Beispiel eines privatfinanzierten Kraftwerkprojektes kann man deutlich machen, dass es ohne eine solche interdisziplinäre Zusammenarbeit keine vernünftige Realisierung gibt.

Das vorliegende Werk ist ein Versuch, aus der Sicht des Praktikers einen Leitfaden zu schaffen, der es auch dem Berufsanfänger gestatten soll, sich in die komplexe Materie einzuarbeiten. In seinen mehr als 27 Jahren Berufserfahrung in der Energiewirtschaft hat der Verfasser als Berater und verantwortlicher Projektleiter Erfahrungen und Kenntnisse gesammelt, die es wert sind, an eine zahlreiche Leserschaft weitergegeben zu werden.

Georg Fichtner
Vorsitzender der Geschäftsführung

Stuttgart, im Sommer 2006

Die vierte Auflage, ein neues Buch

Die *Energiewirtschaft* ist ein Wirtschaftszweig und ein Fachgebiet. Als Fachgebiet ist die Energiewirtschaft eine Kombination aus Ökonomie und Technik und hat sich zum Ziel gesetzt, die Versorgung der Endkunden mit einer kostengünstigen, sicheren, ressourcenschonenden und umweltfreundlichen Energie zu gewährleisten. Um das zu erreichen, erforscht und analysiert die Energiewirtschaft die gesamte Kette der Energiebereitstellung von der rationellen Gewinnung, Umwandlung und Verteilung bis hin zu einer effizienten Anwendung von Energieformen unterschiedlichster Art.

Die Konzeption und das übergeordnete Ziel des Buches wurde auf dieser Basis im *Geleitwort* für die erste Auflage vor zehn Jahren kurz und prägnant definiert. Obwohl sich die Energiewirtschaft in der Zwischenzeit grundlegend gewandelt hat, ist es weiterhin zutreffend und hat volle Gültigkeit.

Bei den Inhalten selbst trifft es aber nicht mehr zu. Es war dem Autor bewusst, dass eine weitreichende Aktualisierung fällig war. Allerdings hatten manche der Kapitel ihren Ursprung vor mehreren Jahren und haben den rasanten Wandel in der Energiewirtschaft nicht mehr mitvollziehen können. Das fing bereits beim Einband an. Vor zehn Jahren war der Übergang zum liberalisierten Markt noch die eigentliche Herausforderung, und stand als Untertitel auf dem Einband. Inzwischen sind die "Integration der erneuerbaren Energien in das Gesamtsystem", "Kernenergieausstieg", "Um- und Ausbau des Stromnetzes" und die noch laufende "Neugestaltung des Gasmarktes" die aktuellen Herausforderungen. Das bedeutet, das übergeordnete Ziel des Buches vom Geleitwort bleibt bestehen, die inhaltlichen Schwerpunkte haben sich verschoben. So hat sich die vierte Auflage anstatt einer Überarbeitung und Aktualisierung der dritten Auflage praktisch zu einem komplett neuen Buch entwickelt. Die Grundkonzeption des Buches wird aber beibehalten.

Hauptziel ist und bleibt die Zur-Verfügung-Stellung von praxisnahem technisch/wirtschaftlichen Wissen in prägnanter Form und in der notwendigen Breite und Tiefe für die Entwicklungsphase von Energieprojekten.

Die *Vorgehensweise* bleibt wie in den vorherigen Auflagen grundsätzlich dieselbe. Zuerst wird für jedes Kapitel eine komplette Version vom Verfasser selbst erstellt, und anschließend wird diese von Fachleuten ge-

prüft und wo nötig überarbeitet. Diese Vorgehensweise hat sich bewährt und garantiert eine prägnante Form der Darstellung und fachlich gute Qualität.

In der vierten Auflage wurde für die o.g. vier Schwerpunkthemen etwas davon abgewichen. Erst wurde vom Autor eine Liste von ca. 10 bis 12 Fragen und Stichpunkten definiert und an Experten weitergegeben mit der Bitte um fachliche Stellungnahme. Aus dem manchmal umfangreichen Feedback wurden dann die entsprechenden Abschnitte redaktionell ausgearbeitet und von denselben Experten nochmals Korrektur gelesen. Das im Buch dargestellte Wissen kommt überwiegend aus realer Projektarbeit, in die der Autor und die Fachleute involviert waren.

Die zahlreichen *Anwendungsbeispiele* sind für das Verständnis der Inhalte des Buches unerlässlich, einige sind allerdings in der Druckversion des Buches nicht leicht nachvollziehbar. Deshalb sind diese auf der Website des Autors als Softcopies zum Download verfügbar. Es wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass es sich hier um einen freiwilligen und kostenlosen Service des Autors und seiner Kollegen handelt.

Von den Nutzern wird erwartet und gehofft, dass sie durch Anregungen und Hinweise zur Optimierung der Inhalte beitragen.

Tippfehler sind in der Fülle des bearbeiteten Spektrums nicht ganz zu vermeiden, es wird um Nachsicht und Feedback für Korrekturen gebeten.

Zum Schluss noch eine **persönliche Anmerkung**: Die Welt der Energiewirtschaft hat sich in den letzten Jahrzehnten mehrmals gewandelt und befindet sich weiterhin im Wandel. Aus dieser Erfahrung werden alle Kapitel im Buch völlig neutral, basierend ausschließlich auf Fakten und Praxiswissen, ohne jegliche politische Wertung oder persönliche Sicht verfasst. Selbstverständlich habe ich als Autor auch meine eigene Meinung. Sie wird am Ende von bestimmten Kapiteln unter der Überschrift

"Autors Sichtweise – aktueller Stand & Perspektiven"

zum Ausdruck gebracht. Dabei stütze ich mich auf eigene Erfahrungen und das Erlebte während meiner bald 40-jährigen Tätigkeit als Consultant weltweit und nicht auf Literaturrecherchen.

Dank für die Unterstützung

Zu allererst gilt mein besonderer Dank der Fichtner GmbH & Co KG, Stuttgart, meinem früheren Arbeitgeber, für den Zugang zu technischen und menschlichen Ressourcen des Unternehmens während der Arbeit am Buch.

Folgenden Fichtner Kollegen möchte ich dafür danken, dass sie einen Teil ihrer Freizeit geopfert haben um wertvolle Beiträge zum Gelingen dieser vierten Auflage des Buches zu liefern: Adriana Mejia Gomez für ihre diversen Beiträge und für das fachliche Korrekturlesen verschiedener Kapitel, Dr. Lili-ana Oprea und ihr Team für ihren Beitrag für das Schwerpunktthema "Netzausbau" und Herbert Wenzel für seinen Beitrag für das Schwerpunktthema "Kernenergieausstieg".

Dankend möchte ich folgende Fichtner-Kollegen erwähnen für ihre Beiträge zu früheren Auflagen, die auch für die vierte Auflage größtenteils übernommen wurden: Markus Schüller (Windkraft), Johannes Kretschmann (solarthermische Kraftwerke), Ursula Mayr (Photovoltaik).

Ganz besonders möchte ich mich bedanken bei folgenden Nicht-Fichtner Kollegen für ihre herausragende Fachbeiträge: Christian Nitsche (Netze BW GmbH) für seinen Fachbeitrag zum Thema "Netzzugang und Netznutzung bei Gasnetzen", Till Aldinger für seinen Fachbeitrag über den "Energie-Börsenhandel" und Evelyn Sperber (DLR) für die ausführliche Ausarbeitung der KWK- und EEG-Gesetze.

Ferner möchte ich dankend erwähnen die Kollegen Dr. Achim Stuible, Christian Mayr, und Nino Turek für ihre gelegentliche Unterstützung und Ratschläge bei zahlreichen Fragen während der Bearbeitung.

Die HelpDesk Görlitz GmbH stand mir immer zur Seite bei komplexen Formatierungen und Ausarbeitung von Formatvorlagen für das Buch. Für ihre stets bereitwillige Unterstützung bedanke ich mich insbesondere bei Michael Zimeck, Cornelia Wünsch und Barbara Nittel.

Eine unerlässliche Hilfe und Ergänzung für meine Bücher sind die Inhalte meiner Website. Diese wurde von Markus Groissböck erstellt und wird seit Jahren von ihm betreut. Ihm gebührt mein Dank für seine uneigennützigte Hilfsbereitschaft.

Last but not least möchte ich mich bedanken bei Maggie Konstantin, meiner Ehefrau, für ihre Unterstützung bei der redaktionellen Gestaltung des Buches, ihre Werbekampagne weltweit und auch für ihr Verständnis für die langen Abende und Wochenenden, die wir beide am Computer verbracht haben.

Stuttgart, November 2016

Panos Konstantin

Downloads

Leser des Buches haben Zugang zur Website des Autors unter:

www.PK-Energie-Praxiswissen.com

und können folgende Software Tools herunterladen inklusive Anweisungen für die Nutzung:

Softkopien in Excel® für alle **Anwendungsbeispiele, Fallstudien und Add-Ins** des Autors.

Das **Software-Tool FluidEXL** für die Berechnung von thermodynamischen Eigenschaften von Wasser und Wasserdampf in Excel. Die Entwickler des Tools: Hochschule Zittau/Görlitz, Fachgebiet Technische Thermodynamik, Prof. Dr.-Ing. habil. Hans-Jürgen Kretzschmar und sein Mitarbeiter Matthias Kunick stellen das Software-Tool den Lesern dieses Buches kostenlos zur Verfügung. Herzlichen Dank!

Sie finden einen Link zum Downloaden auf der Website des Autors zusammen mit Installations- und Anwendungsanleitung. Ein Lizenzschlüssel wird nach Registrierung auf der Website zur Verfügung gestellt.

Die Nutzung der Software ist exklusiv nur für die Anwendungen in diesem Buch erlaubt. Für kommerzielle Anwendungen ist eine Speziallizenz erforderlich.

Das **Software-Tool KPRO®** (**Kreis-Prozess-Rechnungs-Optimierer**) für Modellierung und Simulation von thermodynamischen Kraftwerks-Kreisprozessen auch solche für Solarthermische Anlagen (CSP). Fichtner GmbH & Co. KG, Stuttgart, stellen die Software den Lesern des Buches für einen Zeitraum von sechs Monaten kostenlos zur Verfügung, zusammen mit Installations- und Anwendungsanleitung sowie einer Reihe von vorgefertigten Modellen, bei denen der Anwender Änderungen von Eingangsparametern vornehmen kann.

Anmerkung: Zum Download ist die MAC-Adresse des Ziel-Computers erforderlich. Für eine kommerzielle Nutzung des Tools ist eine Speziallizenz erforderlich.

Vielen Dank an Fichtner IT und insbesondere an die Entwicklerin des Tools, Dr. Ursula Haller, auch für ihre Arbeit an der Fertigstellung der vorgefertigten Modelle.

Kapitelverzeichnis

1.	Finanzielle und Ökonomische Analyse von Investitionen.....	1
2.	Physikalisch-Technisches Basiswissen für Energiewirtschaftler.....	55
3.	Kraftwerke, Technologien und Kosten.....	121
4.	Strom aus Erneuerbaren Energien, Technik und Kosten	181
5.	Gekoppelte Energieerzeugung & Kostenaufteilung	265
6.	Transport & Verteilung leitungsgebundener Energien	313
7.	Der Primärenergiemarkt, Beschaffung & Preisentwicklung ...	389
8.	Beschaffung leitungsgebundener Energien	431
9.	Energirechtliche Rahmenbedingungen.....	471
10.	Abwicklung von Energieprojekten	539
	Abkürzungsverzeichnis	553
	Glossar Deutsch-Englisch.....	559
	Sachverzeichnis	567

Inhaltsverzeichnis

1. Finanzielle und Ökonomische Analyse von Investitionen.....	1
1.1 Inhalt, Zielsetzung und Schlussfolgerungen	1
1.2 Finanzmathematische Grundlagen	2
1.2.1 Der Zeitwert des Geldes.....	2
1.2.2 Aufzinsen und Abzinsen einer Einmalzahlung	3
1.2.3 Aufzinsen und Abzinsen von Zahlungsreihen	4
1.2.4 Anwendungsfälle und Beispiele.....	9
1.3 Inflation, Preisindizes, Zinssätze und Ertragsteuern	11
1.3.1 Inflation und Preisindizes.....	11
1.3.2 Zinssatz und Inflation.....	13
1.3.3 Der reale Zinssatz.....	15
1.3.4 Der effektiver Zinssatz.....	17
1.3.5 Der kalkulatorische Zinssatz	17
1.3.6 Ertragsteuern in Deutschland	20
1.4 Investitionsrechnungsmethoden	21
1.4.1 Methodenübersicht.....	21
1.4.2 Die Kapitalwertmethode	23
1.4.3 Die interne Zinssatzmethode.....	25
1.4.4 Die Annuitätenmethode	30
1.4.5 Diskontierter Mittelwert von spez. Kosten – <i>LEC</i>	32
1.4.6 Barwert und Annuität eskalierender Zahlungsreihen.....	36
1.4.7 Amortisationsrechnung – Payback Periode	37
1.4.8 Rentabilitätsrechnung.....	40
1.5 Finanzanalyse von Investitionsvorhaben.....	40
1.5.1 Methoden Übersicht	40
1.5.2 Investitionsrechnung	41
1.5.3 Finanzanalyse und Planerfolgsrechnung.....	42
1.5.4 Ökonomische Analyse	43
1.6 Unsicherheitsanalyse von Projekten.....	44
1.6.1 Sensitivitätsanalyse	44
1.6.2 Break-even-point Analyse.....	45
1.6.3 Szenarien Analyse.....	45
1.6.4 SWOT Analyse	46

1.6.5	Überschreitungswahrscheinlichkeit	46
1.7	Randbedingungen für Wirtschaftlichkeitsrechnungen	48
1.7.1	Begriffsfestlegungen	48
1.7.2	Kostenarten bei Energieprojekten	49
1.7.3	Randbedingungen für Wirtschaftlichkeitsrechnungen	50
	Literaturverzeichnis	53
2.	Physikalisch-Technisches Basiswissen für Energiewirtschaftler	55
2.1	Inhalt, Zielsetzung und Schlussfolgerungen	55
2.2	Das internationale Einheitensystem	56
2.2.1	SI-Einheiten	56
2.2.2	Regeln für die Schreibweise von Größen und Einheiten	59
2.2.3	Der richtige Umgang mit Einheiten in Formeln	60
2.3	Basiswissen Thermodynamik	61
2.3.1	Allgemeine Definitionen	61
2.3.2	Thermodynamik der Gase und Gasgemische	70
2.3.3	Wasserdampfthermodynamik	76
2.3.4	Brennstoffkennwerte	79
2.3.5	Verbrennungsrechnung	82
2.4	Luftverunreinigende Schadstoffemissionen	89
2.4.1	Arten von Emissionen	89
2.4.2	Emissionsgrenzwerte	91
2.4.3	Emissionsminderungsmaßnahmen	91
2.4.4	Sekundärmaßnahmen zur Emissionsminderung	93
2.5	Kreisprozesse	98
2.5.1	Definitionen	98
2.5.2	Der Carnot-Kreisprozess	99
2.6	Basiswissen Elektrotechnik	101
2.6.1	Stromarten und Stromkreise	101
2.6.2	Drehstrommaschinen	112
	Literaturverzeichnis	120
3.	Kraftwerke, Technologien und Kosten	121
3.1	Inhalt, Zielsetzung und Schlussfolgerungen	121
3.2	Begriffsdefinitionen und Kennzahlen	122
3.2.1	Kraftwerkstypen	122
3.2.2	Definition der verwendeten Kennzahlen und Begriffe	123
3.3	Fossilthermische Kraftwerke	126
3.3.1	Dampfkraftwerke	126
3.3.2	Gasturbinenkraftwerke	139
3.3.3	Gas- und Dampfturbinen-Kraftwerke	144

3.3.4	Verbrennungsmotor-Kraftwerke	145
3.3.5	Investitionsausgaben fossilthermischer Kraftwerke	149
3.3.6	Fallstudien.....	151
3.4	Kernkraftwerke.....	156
3.4.1	Typen und Funktionsweise von Kernreaktoren	156
3.4.2	Der European Pressurized Reactor EPR	157
3.4.3	Investitionsausgaben und Betriebskosten von KKW	158
3.4.4	Fallstudie, Technisch-Wirtschaftliche Modell für KKW ...	159
3.4.5	Stilllegungsprozess von Kernkraftwerken	161
3.4.6	Deutschland, Herausforderung Kernenergieausstieg	162
3.4.7	Österreich, Kernenergieausstieg vor dem Einstieg	171
3.4.8	Schweiz, schrittweiser Kernenergieausstieg	172
3.5	Autors Sichtweise – aktueller Stand & Perspektiven	175
3.5.1	Hintergrund und Lösungsansätze	175
3.5.2	Stromerzeugung aus fossilen Energien	175
3.5.3	Stromerzeugung aus Kernenergie	176
3.5.4	Kernenergieausstieg	177
	Literaturverzeichnis	178
4.	Strom aus Erneuerbaren Energien, Technik und Kosten	181
4.1	Inhalt, Zielsetzung und Schlussfolgerungen	181
4.2	Wasserkraftwerke.....	182
4.2.1	Physikalische Grundlagen.....	182
4.2.2	Bauarten von Wasserturbinen	184
4.3	Solarstrom-Technologieübersicht	187
4.3.1	Das Energieangebot der Sonne	187
4.3.2	Sonne-Erde Geometrie ¹⁾	190
4.3.3	Technologieübersicht von Solarkraftwerken	195
4.4	Kraftwerke mit Parabolrinnen Technologie	196
4.4.1	Historischer Rückblick.....	196
4.4.2	Technisches Konzept von Parabolrinnenkraftwerken.....	198
4.4.3	Das Solarfeld.....	199
4.4.4	Der Solarkollektor.....	201
4.4.5	Das HTF-System.....	202
4.4.6	Der Wärmespeicher.....	204
4.4.7	Der Solarkraftwerksblock	205
4.5	Integrierte Parabolrinnen Solar-GuD-Kraftwerke	206
4.6	Kraftwerke mit Fresnel-Technologie	208
4.6.1	Technisches Konzept	208
4.6.2	Das Solarfeld.....	209
4.6.3	Der Fresnel Kollektor.....	210

4.7	Kraftwerke mit Solarturm-Technologie	211
4.7.1	Technisches Konzept	211
4.7.2	Das Solarfeld.....	212
4.7.3	Die Heliostaten.....	212
4.7.4	Der Receiver	213
4.7.5	Thermischer Energiespeicher und Kraftwerkblock.....	214
4.8	Die Parabol­schüssel -Technologie	215
4.9	Photovoltaik Anlagen.....	216
4.9.1	Physikalisch-technische Grundlagen	216
4.9.2	Aufbau und Funktionsweise von Solarzellen.....	217
4.9.3	Typen von Solarzellen	218
4.9.4	PV-Module – Aufbau, Funktionsweise, Kenngrößen.....	220
4.9.5	Aufbau von Photovoltaikanlagen	223
4.9.6	Kenngrößen von PV-Anlagen	224
4.10	Windkraftanlagen	225
4.10.1	Physikalische Grundlagen	225
4.10.2	Windpotential	226
4.10.3	Anlagentechnik.....	229
4.10.4	Kenngrößen von Windkraftanlagen	231
4.10.5	Klassifizierung von Windkraftanlagen	232
4.10.6	Ermittlung des Energieertrages für eine WKA.....	234
4.10.7	Ermittlung des Energieertrages für Windparks	238
4.11	Biomasse.....	239
4.12	Investitionen und Stromgestehungskosten	245
4.12.1	Technisch-wirtschaftliche Randbedingungen.....	245
4.12.2	Kosten von Wasserkraftwerken.....	249
4.12.3	Kosten von Parabolrinnen-Solarkraftwerken	251
4.12.4	Kosten von Solarturm-Kraftwerken	252
4.12.5	Kosten von Photovoltaik-Anlagen	253
4.12.6	Kosten von Windkraftanlagen	254
4.12.7	Kosten von Biomasse-Kraftwerken.....	257
4.13	Fallstudien	258
4.14	Autors Sichtweise – aktueller Stand & Perspektiven	262
	Literaturverzeichnis	263
5.	Gekoppelte Energieerzeugung & Kostenaufteilung	265
5.1	Inhalt, Zielsetzung und Schlussfolgerungen	265
5.2	Das Prinzip der Kraft-Wärme-Kopplung	266
5.2.1	Bauarten von Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen	268
5.2.2	Aufbau und Fahrweise von Heizkraftwerken	268
5.2.3	Anwendungsmöglichkeiten und Betreiber	270

5.3	Heizkraftwerke	270
5.3.1	Verbrennungsmotor-Blockheizkraftwerke	270
5.3.2	Gasturbinen-Heizkraftwerke	273
5.3.3	Dampfturbinen-Heizkraftwerke	275
5.3.4	Gas- und Dampfturbinen-Heizkraftwerke	278
5.3.5	Wärmeauskopplung aus Großkraftwerken	279
5.4	Kennzahlen der gekoppelten Energieerzeugung	280
5.4.1	Thermodynamisches Modell KWK- und Kond.-Anlagen	280
5.4.2	Wirkungsgrad und Energienutzungsgrad	282
5.4.3	Die Stromkennzahl	283
5.4.4	Die Stromverlust-Kennziffer	285
5.4.5	Äquivalente Kondensationsleistung	286
5.4.6	Beziehungen zwischen den Kennzahlen	287
5.4.7	Richtwerte für Kennzahlen von KWK-Anlagen	289
5.5	Kostenaufteilungsverfahren	295
5.5.1	Das Stromäquivalenzverfahren (Arbeitswertverfahren)	295
5.5.2	Das Exergie-Verfahren	300
5.5.3	Das kalorische Verfahren	304
5.5.4	Das Restwertverfahren	306
5.6	Wahl des Kostenaufteilungsverfahrens	310
5.7	Autors Sichtweise – Stand & Perspektiven	311
	Literaturverzeichnis	312
6.	Transport & Verteilung leitungsgebundener Energien	313
6.1	Inhalt, Zielsetzung und Schlussfolgerungen	313
6.2	Stromübertragung und -verteilung	314
6.2.1	Drehstromübertragung und –Verteilung	314
6.2.2	Gleichstromübertragungssysteme	316
6.2.3	Das Europäische Verbundnetz	320
6.2.4	Grenzüberschreitende Stromaustausch in Verbundnetz	321
6.2.5	Weiterentwicklung des Verbundnetzes und Smart Grid	324
6.2.6	Die Vision eines Europäischen Supergrids	325
6.2.7	Systemkomponenten von elektrischen Netzen	326
6.3	Netzzugang und Netznutzung bei Stromnetzen	332
6.3.1	Pflichten der Netzbetreiber	332
6.3.2	Grundlagen der Netznutzung – Bilanzkreise	333
6.3.3	Fahrpläne und Standardlastprofile	333
6.3.4	Regel- und Ausgleichsenergie	335
6.3.5	Ausschreibung und Abrechnung von Regelenergie	339
6.3.6	Genehmigung der NNE – Anreizregulierung	339
6.3.7	Bestimmung der Netznutzungsentgelte	340

6.3.8	Herausforderung. Netzausbau für die Energiewende	345
6.3.9	Kostenschätzungen.....	349
6.4	Erdgastransport und -verteilung	353
6.4.1	Technischer Aufbau von Erdgasnetzen.....	353
6.4.2	Das deutsche und europäische Erdgas-Verbundnetz	356
6.4.3	Auslegung und Betrieb von Erdgasnetzen	357
6.5	Netzzugang und Netznutzung bei Gasnetzen	362
6.5.1	Grundlagen des Netzzugangs.....	362
6.5.2	Marktgebiete – virtueller Handelspunkt	363
6.5.3	Gasqualitätsübergreifender Erdgashandel.....	364
6.5.4	Marktgebietsführung	365
6.5.5	Buchung von Leistungskapazitäten.....	365
6.5.6	Handel von Leistungskapazitäten	366
6.5.7	Buchung von Speicherkapazitäten	367
6.5.8	Handel von Speicherkapazitäten	368
6.5.9	Kapazitätsentgelte – Entgeltgenehmigung.....	368
6.5.10	Bilanzkreismanagement	369
6.5.11	Ausgleichs- und Regelernergie	370
6.5.12	Die Kooperationsvereinbarung.....	372
6.6	Fernwärmeversorgung.....	373
6.6.1	Technischer Aufbau von Fernwärmenetzen.....	373
6.6.2	Grundbegriffe der Fernwärmeversorgung	374
6.6.3	Ausgewählte Merkmale der Fernwärmeversorgung	375
6.6.4	Auslegung und Betrieb von Fernwärmenetzen	376
6.6.5	Systemkomponenten von Fernwärmenetzen.....	378
6.7	Autors Sichtweise – aktueller Stand & Perspektiven	385
	Literaturverzeichnis	386

7. Der Primärenergiemarkt, Beschaffung & Preisentwicklung ...389

7.1	Inhalt, Zielsetzung und Schlussfolgerungen	389
7.2	Energieformen	390
7.2.1	Klassifizierung der Energieformen	390
7.2.2	Maß- und Handelseinheiten für Energie	391
7.3	Energieverbrauch und Energieeinsatz	394
7.3.1	Primärenergieverbrauch in Deutschland	394
7.3.2	Der Endenergieverbrauch in Deutschland	395
7.3.3	Beitrag erneuerbarer Energien zur Energiebereitstellung ..	396
7.3.4	Primärenergiemix in den Nachbarländern	398
7.4	Herkunft u. Preisentwicklung der Primärenergieträger	402
7.4.1	Herkunft und Preisentwicklung von Rohöl.....	402
7.4.2	Herkunft und Grenzübergangspreise von Steinkohle	406

7.4.3	Herkunft und Grenzübergangspreise von Erdgas	411
7.4.4	Herkunft und Preise von Kernbrennstoff	415
7.5	Preisentwicklung von Primärenergien im Vergleich.....	423
7.6	Schlussfolgerungen	425
7.6.1	Lehren aus der Vergangenheit	425
7.6.2	Preisansätze bei Wirtschaftlichkeitsrechnungen	426
7.7	Autors Sichtweise – aktueller Stand & Perspektiven	427
	Literaturverzeichnis	428
8.	Beschaffung leitungsgebundener Energien	431
8.1	Inhalt, Zielsetzung und Schlussfolgerungen	431
8.2	Merkmale eines liberalisierten Energiemarktes	432
8.2.1	Historischer Überblick und Mindestanforderungen	432
8.2.2	Marktteilnehmer.....	433
8.2.3	Börsenhandel, Funktionsweise und Produkte	434
8.3	Die Energiebörse „European Energy Exchange EEX“	435
8.3.1	Stromhandel an der EEX.....	437
8.3.2	Erdgashandel an der EEX	445
8.3.3	Handel mit Emissionsberechtigungen an der EEX	448
8.3.4	OTC-Handel.....	448
8.3.5	Clearing	449
8.4	Strombeschaffung.....	449
8.4.1	Vertragliche Ausgestaltung.....	449
8.4.2	Zusammensetzung der Stromverbraucherpreise	452
8.4.3	Strombeschaffung mit Portfoliomanagement	455
8.4.4	Strombezug mit Vollversorgungsvertrag	456
8.4.5	Der klassische Stromlieferungsvertrag	458
8.5	Gasbeschaffung	462
8.5.1	Historischer Überblick – Gas-zu-Gas-Wettbewerb	462
8.5.2	Zusammensetzung des Gaspreises für Haushaltskunden....	463
8.5.3	Der klassische Vollversorgungsvertrag.....	464
8.6	Beschaffung von Fernwärme.....	466
8.7	Autors Sichtweise – aktueller Stand & Perspektiven	467
8.7.1	Marktwirtschaft im Energiemarkt	467
8.7.2	Förderung neuer und innovativer Technologien	468
8.7.3	Die EEG-Umlage	468
8.7.4	Fazit.....	468
	Literaturverzeichnis	470
9.	Energirechtliche Rahmenbedingungen.....	471
9.1	Inhalt, Zielsetzung und Schlussfolgerungen	471

9.2	Rechtliche Rahmen im Überblick	472
9.2.1	EU-Recht.....	472
9.2.2	Gesetzliche Rangordnung	473
9.2.3	Der energierechtliche Rahmen.....	474
9.2.4	Internationale Abkommen.....	474
9.3	Das Energiewirtschaftsrecht.....	475
9.3.1	Das Energiewirtschaftsgesetz	475
9.3.2	Verordnungen zum EnWG.....	477
9.3.3	Konzessionsabgabenverordnung.....	478
9.4	Energiesteuergesetze	479
9.4.1	Historischer Hintergrund.....	479
9.4.2	Neuregelung der Besteuerung von Energieerzeugnissen ..	480
9.4.3	Das Stromsteuergesetz	484
9.5	Gesetze zur Kraft-Wärme-Kopplung	485
9.5.1	Historischer Überblick	485
9.5.2	Das Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz 2012	486
9.5.3	Das KWKG-2016.....	489
9.6	Gesetze zur Förderung erneuerbarer Energien	492
9.6.1	Historischer Überblick	492
9.6.2	Das EEG-2012	493
9.6.3	Das EEG-2007 – Eckpunkte	508
9.7	Klimaschutzrechtliche Rahmenbedingungen	514
9.7.1	Internationaler Rahmen und Konventionen	514
9.7.2	Das Kyoto-Protokoll	515
9.8	Das Pariser Klimaabkommen.....	521
9.8.1	Internationaler Rahmen und Zielsetzung	521
9.8.2	Kernpunkte des Pariser Abkommens	521
9.9	Das EU-Emissionshandelssystem - EU ETS.....	523
9.9.1	Grundlage und Handelsperioden.....	523
9.9.2	Prinzipielle Funktionsweise des EU-Emissionshandels.....	523
9.9.3	Ebenen und Akteure des EU-Emissionshandels	524
9.9.4	Umsetzung des Emissionshandels in Deutschland	525
9.9.5	Die dritte Handelsperiode 2013-2020	527
9.9.6	Zuteilungsregeln für die dritte Handelsperiode.....	530
9.9.7	Kosten für Emissionsberechtigungen pro MWh _{el}	534
9.10	Autors Sichtweise – aktueller Stand & Perspektiven	535
	Literaturverzeichnis	537
10.	Abwicklung von Energieprojekten	539
10.1	Phasen der Projektabwicklung.....	539
10.1.1	Projektstart.....	540

10.1.2	Die Studienphase	541
10.1.3	Planung und Vergabe	543
10.1.4	Bau und Inbetriebnahme.....	547
10.1.5	Erstabnahme und Mängelprotokoll	548
10.1.6	Betrieb der Anlage.....	548
10.1.7	Gewährleistungsphase und Projektabschluss	549
10.2	Ausschreibung nach internationalem Baurecht	549
10.2.1	Anlass und Hintergrund.....	549
10.2.2	Die FIDIC Musterverträge im Überblick	550
	Literaturverzeichnis	552
Abkürzungsverzeichnis		553
Glossar Deutsch-Englisch.....		559
Sachverzeichnis		567

1. Finanzielle und Ökonomische Analyse von Investitionen

1.1 Inhalt, Zielsetzung und Schlussfolgerungen

Gegenstand und Ziel dieses Kapitels ist, Grundlagen für Bewertung und Analyse von Investitionsvorhaben zu vermitteln, die für Projekte im Energiebereich Anwendung finden. Hervorzuheben ist gleich zu Anfang, dass für die meisten Begriffe die englische Terminologie sich etabliert hat. Das Kapitel hat folgende Schwerpunkte:

Zuerst wird das erforderliche Basiswissen in *Finanzmathematik* behandelt, wie Zeitwert des Geldes, Bildung von Barwerten für Einmalzahlungen und Zahlungsreihen, Arten von Zinssätzen, Inflation und Inflationsbereinigung sowie Bildung von *finanzmathematischen Mittelwerten* (wie *levelized cost* – *LEC*). Darin werden auch die Ertragsteuern erläutert, soweit sie für Investitionsrechnungen relevant sind. Zum Schluss wird die Bildung des kalkulatorischen Zinssatzes für Investitionsrechnungen nach der Methode der gewichteten Kapitalkosten (*WACC*) mit Eigen- und Fremdkapital dargestellt.

Ein Schwerpunkt des Kapitels ist die Darstellung der *Investitionsrechnungsmethoden*, wie Kapitalwert, Annuitätenmethode und interne Zinssatzmethode. In der Fortsetzung wird die finanzielle (i.e. betriebswirtschaftliche) und ökonomische (i.e. volkswirtschaftliche) Analyse behandelt und Planerfolgsrechnungsmodelle für bankfähige (*bankable*) Projekte vorgestellt. Anschließend wird auf die Methoden zur Unsicherheit- und Risikoanalyse eingegangen.

Ein Unterkapitel erläutert den finanzmathematischen Hintergrund für die Bildung von durchschnittlichen, diskontierten Energiegestehungskosten (*LEC*) nach der Barwert- und der Annuitätenmethode.

Zum Schluss werden in einem Unterkapitel die wesentlichen Begriffe erklärt, als Versuch einen korrekteren Gebrauch zu erreichen. Zum besseren Verständnis und zur Vertiefung der Inhalte werden alle Kapitel durch zahlreiche Beispiele ergänzt.

1.2 Finanzmathematische Grundlagen

1.2.1 Der Zeitwert des Geldes

In der Finanzmathematik werden Zahlungen und Zahlungsreihen, die zu unterschiedlichen Zeitpunkten anfallen, rechnerisch erfasst und vergleichbar gemacht. Unter dem Begriff „*Zahlung*“ versteht man im Allgemeinen einen Geldbetrag, der einbezahlt oder ausgegeben wird.

Für den Wert einer Zahlung ist neben ihrer Höhe auch ihr *Fälligkeitszeitpunkt* (*due date*) maßgebend. Grund hierfür ist, dass angelegtes Geld im Laufe der Zeit Zinsen erwirtschaften kann. Deshalb wird ein heute angelegter Geldbetrag zu einem späteren Zeitpunkt durch die akkumulierten Zinsen einen höheren Wert haben als der ursprünglich angelegte Betrag. Umgekehrt hat ein zu einem späteren Zeitpunkt fälliger Betrag zum heutigen Zeitpunkt weniger Wert als ein heute fälliger Betrag derselben Höhe. Man spricht in diesem Zusammenhang vom Zeitwert des Geldes (*time value of money*).

Der Wert einer Zahlung, die zu einem früheren oder späteren Zeitpunkt fällig ist, entspricht ihrem *Nominalwert* zuzüglich bzw. abzüglich Zinsen und Zinseszinsen. Der Wert der Zahlung zum heutigen Zeitpunkt wird *Barwert* (*present value*) genannt.

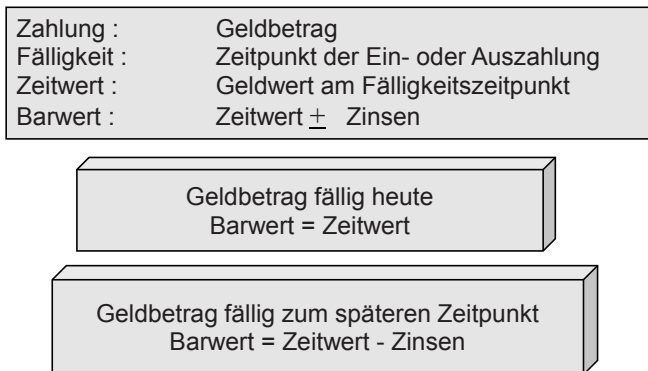


Abb. 1.1: Der Zeitwert des Geldes

Nach dem *Äquivalenzprinzip der Finanzmathematik* sind Zahlungen nur dann vergleichbar und können addiert oder subtrahiert werden, wenn sie vorher auf denselben Bezugszeitpunkt auf- oder abgezinst werden.

Hervorzuheben ist dabei, dass der Zeitwert allein durch Verzinsung bestimmt wird, die Inflation ist im Zinssatz inbegriffen.

1.2.2 Aufzinsen und Abzinsen einer Einmalzahlung

In der Tabelle 1.1 wird die Rechenvorschrift gezeigt, wie der Wert einer Zahlung im Laufe der Zeit durch akkumulierte Zinsen anwächst. Wenn eine Einmalzahlung vom Betrag " K_0 " mit einem Zinssatz von " i " angelegt wird, dann wächst ihr Wert wie folgt:

Tabelle 1.1: Zeitwert einer Zahlung

Zins- periode (Jahr)	Wert am Jahresanfang	Jahres- zins	Zeitwert ZW am Jahresende
1.	K_0	$K_0 \cdot i$	$ZW_1 = K_0 \cdot (1+i)^1$
2.	$K_0 \cdot (1+i)^1$	$K_0 \cdot (1+i) \cdot i$	$ZW_2 = K_0 \cdot (1+i)^2$
3.	$K_0 \cdot (1+i)^2$	$K_0 \cdot (1+i)^2 \cdot i$	$ZW_3 = K_0 \cdot (1+i)^3$
.	.	.	.
.	.	.	.
n.	$K_0 \cdot (1+i)^{n-1}$	$K_0 \cdot (1+i)^{n-1} \cdot i$	$ZW_n = K_0 \cdot (1+i)^n$

Diese Art der Verzinsung wird *exponentielle nachschüssige Verzinsung* genannt. Das bedeutet, am Ende jeder Zinsperiode (nachschüssig) werden die Zinsen dem Kapital zugeschlagen und generieren Zinseszinsen. Das angelegte Kapital wächst so exponentiell.

Die Rechenvorschrift zur Ermittlung des künftigen Wertes "ZW" einer Zahlung wird als *Aufzinsen oder Akkumulieren (compounding)* bezeichnet und lautet:

$$ZW = K_0 \cdot (1+i)^n = K_0 \cdot q^n \quad (1.1)$$

Der Term „ $q = (1+i)$ “ wird *Aufzinsungsfaktor* genannt. Der Zinssatz „ i “ (*interest rate or rate of return*) geht als Absolutzahl in die Formel ein.

Die Rechenvorschrift zur Ermittlung des heutigen Wertes oder Barwertes "BW" einer zukünftigen Zahlung wird als „*Abzinsen oder Diskontieren*“ (*discounting*) bezeichnet. Die Rechenvorschrift wird durch Umformung aus der Formel für das Aufzinsen abgeleitet und lautet:

$$BW = K_o = K_n / (1+i)^n = K_n / q^n \quad (1.2)$$

Hierin bedeuten:

- K_0, K_n : Heutiger bzw. künftiger Zahlungsbetrag, Nominalwert
- i : Zinssatz, als Absolutzahl (z.B. 0,05 anstatt 5%)
- $q = (1+i)$: Auf- bzw. Abzinsungsfaktor (*compound resp. discount factor*)
- n : Zeitdauer in Jahren

Bei den oben genannten Formeln erfolgt die Einzahlung am Anfang der Zinsperiode und der Zins wird fällig am Ende derselben Zinsperiode. Man spricht von einer *nachschüssigen* Verzinsung.

Bei einer *vorschüssigen* Verzinsung erfolgen die Einzahlung am Ende der ersten Zinsperiode und die Verzinsung in der nachfolgenden Zinsperiode. Im ersten Jahr sind keine Zinsen fällig, und die Formeln für Aufzinsen und Abzinsen lauten:

$$ZW = K_0 \cdot (1+i)^{n-1} = K_0 \cdot q^{n-1} \quad (1.3)$$

$$BW = K_o = K_n / (1+i)^{n-1} = K_n / q^{n-1} \quad (1.4)$$

Bei Investitionsrechnung von Energieprojekten kommt i.d.R. nachschüssige Verzinsung zur Anwendung. (Siehe Tabelle 1.2 Excelfunktion)

Beispiel 1.1: Aufzinsen, Abzinsen einer Einmalzahlung

Man zahlt einen einmaligen Betrag von 1.000 € in einen Sparvertrag für die Dauer von 5 Jahren. Der Zinssatz beträgt 6%/a. Welcher Betrag wird nach 5 Jahren ausbezahlt.

$$ZW = 1.000 \cdot 1,06^5 = 1.000 \cdot 1,338 = 1.338 \text{ €}$$

Ein Betrag von 1.000 € soll in 5 Jahren ausbezahlt werden. Welchen Wert hat er heute (Zinssatz 6%/a wie oben):

$$K_o = 1.000 / 1,06^5 = 1.000 / 1,338 = 747 \text{ €}$$

1.2.3 Aufzinsen und Abzinsen von Zahlungsreihen

Die jährlichen Zahlungen (Einnahmen, Ausgaben) während der Betriebszeit von Energieprojekten fallen in der Praxis unregelmäßig an. Bei Investitionsrechnungen setzt man jedoch vereinfachend regelmäßige Zahlungsreihen voraus. Diese Zahlungsreihen sind in Wirklichkeit finanzmathematische Mittelwerte und haben die Form einer geometrischen Reihe. Bei einer geometrischen Reihe wird jedes Glied aus dem vorhergehenden durch Multiplikation mit einer Zahl, dem „*Quotienten* q “, wie nachstehend gebildet:

$$S_n = k \cdot q^0 + k \cdot q^1 + k \cdot q^2 + k \cdot q^3 + \dots + k \cdot q^{n-1} \quad (1.5)$$

Die Summenformel dieser geometrischen Reihe lautet wie nachstehend. Sofern es um sich eine Zahlungsreihe mit einem konstanten Wert " k " pro

Periode handelt ergibt die Summe aller Glieder den aufgezinste Betrag oder Zukunftswert "ZW" am Ende der Periode von n-Jahren-

$$S_n = ZW = k \times \sum_{t=1}^{t=n} q^{t-1} = k \times \frac{q^n - 1}{q - 1} \quad (1.6)$$

Darin bedeuten:

S_n : Summe aller Glieder der Zahlungsreihe

ZW: Zukunftswert

k : Konstanter jährlicher Zahlungsbetrag, nominal

q : Aufzinsungsfaktor $= (1+i)$ i Zinssatz

t : Das entsprechende Jahr des Zahlungseingangs

n : Anzahl der Jahre in der Periode

Falls der Betrag zu Beginn jeder Zinsperiode einbezahlt wird, trägt auch die erste Zahlung Zinsen. Dann müssen alle Glieder der Zahlungsreihe mit " q " multipliziert werden. Die Summenformel bzw. der aufgezinste Betrag nach n-Jahren lautet:

$$S_n = ZW = k \times \sum_{t=1}^{t=n} q^t = k \times q \times \frac{q^n - 1}{q - 1} \quad (1.7)$$

Bei Investitionsrechnungen werden gewöhnlich alle Zahlungen, z.B. Betriebsausgaben oder Einnahmen zum Inbetriebnahmezeitpunkt, gebartwertet und aufsummiert. Dabei geht man vereinfachend davon aus, dass die Zahlungen am Ende jeden Jahres anfallen. Die entsprechende Zahlungsreihe bei jährlich gleichbleibenden Zahlungen " k " lautet:

$$S_n = \frac{k}{q^1} + \frac{k}{q^2} + \frac{k}{q^3} + \dots + \frac{k}{q^n} \quad (1.8)$$

Sofern es sich um eine Zahlungsreihe handelt, ergibt die Formel den Barwert aller Glieder der Zahlungsreihe:

$$S_n = BW = k \times \sum_{t=1}^{t=n} \frac{1}{q^t} = k \times \frac{q^n - 1}{q^n \times (q - 1)} \quad (1.9)$$

Der nachstehende Ausdruck wird Rentenbarwertfaktor oder einfach Barwertfaktor genannt::

$$\sum \frac{1}{q^n} = \frac{q^n - 1}{q^n \times (q - 1)} 1/q^t \quad (1.10)$$

Tabelle 1.2: Excel-Funktionen für Auf- und Abzinsen

Für die oben angegebenen Formeln sind bei Tabellenkalkulationsprogrammen wie MS-Excel Funktionen vorhanden. Ihr Aufbau ist wie folgt: (in Klammern wird der englische Name der Funktion angezeigt):

Aufzinsen "ZW (FV)": $ZW(<Zins>;<Zzr>;<RMZ=0>;<BW>;<F>)$
Abzinsen "BW (PV)": $BW(<Zins>;<Zzr>;<RMZ=0>;<ZW>;<F>)$

Darin bedeuten:
ZW (FV): Künftiger Zeitwert
BW (PV): Barwert
Zins: Zinssatz, formatiert eingeben in %
Zzr: Anzahl der Perioden
RMZ: Rate pro Periode, bei Einmalzahlung 0 setzen
BW: Der aktuelle Wert der Einmalzahlung. Bei Zahlungsreihen =0.
F: F=1 vorschüssig, F=0 nachschüssig

Anmerkungen: Die Formeln ergeben einen negativen Wert, weil von Excel das Ergebnis als Auszahlung interpretiert wird. Deswegen ein Minuszeichen vor die Formel setzen, um einen positiven Wert zu bekommen.

Beispiel 1.2: Endwert und Barwert Ratenzahlung für Rentenkasse

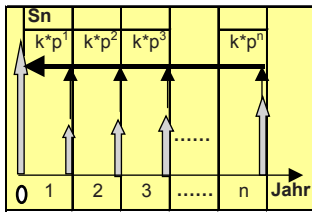
Ein junger Angestellter schließt einen Vertrag mit einer Rentenkasse ab und zahlt 35 Jahr lang 1200 € am Anfang jedes Jahres ein. Der garantierte Zinssatz beträgt 6%/a. Welche Summe wird am Ende der Laufzeit ausbezahlt? Berechne den Barwert der Raten. Welche Einmalzahlung am Anfang des 1. Jahres ergibt den gleichen Endbetrag nach 35 Jahren. Berechne das Gleiche mit der Excel-Funktion und mit den Originalformeln aus dem Buch. Berechne auch nachschüssig (F=0)

Merkmal		Einheit	Endwert	Barwert	Nur Einmalzahlung
Angaben					
Barwert; Einmalzahlung		€	0	18.442	18.442
Rate		€ / a	1.200	1.200	0
Fälligkeit		F=1	-	Jahresanfang	Jahresanfang
Laufzeit		a	35	35	35
Jahres-Zinssatz		q=1,06	-	6%	6%
Auszahlung mit Excel ZW		€	141.745	0	141.745
Berechnung mit Originalformel		€	141.745	18.442	141.745

In Tabelle 1.3 sind die gebräuchlichsten Formeln für Zahlungsreihen zusammengestellt. Für einige der angegebenen Formeln sind die MS-Excel Funktionen angegeben. Ihre Bezeichnungen sind in der Tabelle vermerkt.

Tabelle 1.3: Formeln für ausgewählte Zahlungsreihen

	<p>Barwert von Zahlungen gleicher Höhe (uniform series present value)</p> $S_n = k \times \sum_{t=1}^n \frac{1}{q^t} = k \times \frac{q^n - 1}{q^n \times (q - 1)}$ <p>Barwertsummenfaktor: Quotient (ohne k) Excel Funktion: "BW (PV)"; $F=0$</p>
<p>Bildet die Summe "BW" der Barwerte einer Zahlungsreihe mit „n“ gleichbleibenden, am Ende jeden Jahres fälligen Zahlungen "k", und wandelt die Zahlungsreihe in eine Einmalzahlung zum Bezugszeitpunkt bzw. zu Beginn des ersten Jahres um. Wenn vorschüssig setze Exponent im Nenner $=n-1$</p>	
	<p>Annuität "k" (annuity)</p> $k = \frac{S_n}{\sum_{t=1}^n \frac{1}{q^t}} = S_n \times \frac{q^n \times (q - 1)}{q^n - 1}$ <p>Annuitätsfaktor a_n: Quotient (ohne „K_0“) Excelfunktion: "RMZ (PMT)"; ($F=0$)</p>
<p>Verwandelt einen heute fälligen Betrag "S_n" in eine Zahlungsreihe aus „n“ gleichbleibenden Zahlungen "k" (Annuitäten), fällig am Ende des jeweiligen Jahres. Der Annuitätsfaktor a_n ist der Kehrwert des Rentenbarwertfaktors.</p>	
	<p>Endwert von Zahlungen gleicher Höhe. (uniform series compound amount).</p> $S_n = k \times \sum_{t=1}^n q^t = k \times \frac{(q^n - 1) \times q}{q - 1}$ <p>Endwertfaktor: Quotient (ohne „k“) Excel Funktion: "ZW(FV)" ($F=1$)</p>
<p>Verwandelt die Zahlungen gleicher Höhe "k" einer Zahlungsreihe, die zu Beginn des jeweiligen Jahres anfallen, in eine Einmalzahlung "S_n" am Ende der Periode. Die Zahlungen können in der Vergangenheit oder in der Zukunft liegen.</p>	

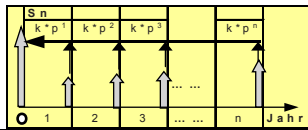


Barwert eskalierender Zahlungsreihen
(*Present value, series with escalation*)

$$BW_{esc} = k \times \sum_{t=1}^{t=n} \frac{p^t}{q^t} = k \times \frac{(q^n - p^n) \times p}{(q - p) \times q^n}$$

Keine Excelformel bekannt (Add-In –
BWesc – auf der Website des Autors)

Ermittelt den Barwert der um den Eskalationsfaktor „*p*“ steigenden Zahlungen einer Zahlungsreihe, die am Ende des jeweiligen Jahres anfallen.

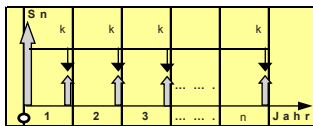


Annuität eskalierender Zahlungsreihen
(*annuity of a series with escalation*)

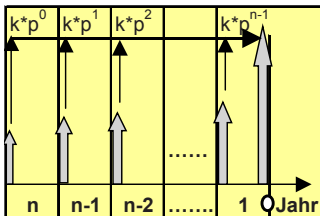
$$AN_{esc} = k \times \frac{(q^n - p^n) \times p}{(q - p)} \times \frac{(q - 1)}{(q^n - 1)}$$

Eskalationsfaktor $j \neq 0$ bzw. $p = (1+j) \neq 1$

Keine Excelformel bekannt (Add-In –
ANesc – auf der Website des Autors)



Die Formel für die Annuitäten von Zahlungsreihen, deren Glieder mit einer jährlichen Eskalationsrate wachsen, entsteht durch Multiplikation der Formel für die Barwertsumme eskalierender Zahlungen mit dem Annuitätsfaktor.



Endwertsumme eskalierender Vergangenheits- Zahlungen
(*compound amount, series with escalation*)

$$EW_{esc} = k \times \sum_{t=1}^{t=n} p^{t-n} \times q^t = k \times \frac{(q^n - p^n) \times q}{q - p}$$

Keine Excelformel bekannt (Add-In auf
der Website des Autors)

Ermittelt den Zukunftswert der um den Eskalationsfaktor „*p*“ steigenden Vergangenheits-Zahlungen einer Zahlungsreihe, die zu Beginn des jeweiligen Jahres anfallen, am Ende der Periode (Bezugszeitpunkt Jahr 0).

Die Symbole in den Formeln bedeuten:

- Ko*: Barwert der Zahlungsreihe, bzw. Anfangskapital
k: Einzelnes Glied der Zahlungsreihe
q: Auf- bzw. Abzinsungsfaktor = $1+i/100$
i: Zinssatz %/a
p: Eskalationsfaktor = $1+r/100$
r: Eskalation %/a
t: Jahr der Zahlungsreihe
n: Gesamtperiode der Zahlungsreihe in Jahren

Anmerkung:

Die Formeln auf dieser Seite wurden vom Autor selbst entwickelt: In der Aufgaben-Toolbox gibt es dafür auch eigenentwickelte Add-In's.

1.2.4 Anwendungsfälle und Beispiele

1.2.4.1 Ermittlung von Bauzinsen

Die Bauzeit von großen Projekten im Energiebereich erstreckt sich oft über mehrere Jahre. Während der Bauphase wird das Bankdarlehen in mehreren Raten nach Baufortschritt ausbezahlt. Bei der Bestimmung der tatsächlichen Investitionsausgaben zum Inbetriebnahmezeitpunkt müssen auch die *Bauzinsen* (*interest during construction – IDC*) berücksichtigt werden. Sie werden mit der Endwertformel wie nachstehend berechnet und als Prozentsatz, bezogen auf die Investitionsausgaben, angegeben:

$$BZ = \sum_{t=m}^{t=0} (A_{ot} \times q^t) \quad (1.11)$$

Hierin bedeuten:

BZ: Bauzinsen bis zum Inbetriebnahmezeitpunkt

A_{ot}: Darlehensauszahlungs-Rate zum Zeitpunkt *t* (vor Inbetriebnahme)

m: Gesamtdauer der Bauphase, Zeitpunkt "0" Inbetriebnahme

q: Aufzinsungsfaktor $q = 1 + i$, mit i = Bankzinssatz, nominal

Beispiel 1.3: Bauzinsen für ein Kraftwerksprojekt

Kondensationskraftwerk, Leistung 700 MW, Bauzeit 4 Jahre. Das Bankdarlehen beträgt 70% der Investitionsausgaben und wird in Raten nach Baufortschritt ausbezahlt. Zu berechnen sind die Bauzinsen zum Inbetriebnahmezeitpunkt.

Jahr *) <i>t</i>	Investitions- ausgaben <i>A_{ot}</i> 1.200 Mio. € Darlehen=70%	Aufzinsungs- koeffizient <i>i</i> =6,0 %/a $q^t = (1+i)^t$ **)	Bauzinsen $BZ = A_{ot} \times q^t - A_{ot}$ Mio. €
-4	190,0	1,262	49,9
-3	300,0	1,191	57,3
-2	200,0	1,124	24,7
-1	150,0	1,060	9,0
0	840,0	-	140,9
Prozent bezogen auf die Investitionsausgaben			11,7%

*) Jahr vor Inbetriebnahme, Jahr "0"

Inbetriebnahmezeitpunkt = Barwertzeitpunkt

1.2.4.2 Bildung finanzmathematischer Mittelwerte

Zahlungsreihen in Investitionsrechnungen sind meistens aus der Erfahrung bekannte finanzmathematische Mittelwerte (*discounted mean value*). Im Englischen gibt es dafür den Ausdruck *levelized* wie z.B. "*levelized electricity cost – LEC*". Das ist in der Finanzmathematik eine oft gestellte Aufgabe. Ein *finanzmathematischer Mittelwert* wird wie folgt gebildet:

- Die Zahlungsreihe mit den tatsächlichen (regelmäßigen oder unregelmäßigen) Zahlungen wird aufgestellt
- Der Barwert der Zahlungsreihe wird ermittelt
- Durch Multiplikation des Barwertes mit dem Annuitätsfaktor wird dann eine annuitätische Reihe gebildet

Beispiel 1.4: Instandhaltungskostensatz über die Laufzeit

Bei Investitionsrechnungen werden oft Zahlungsreihen für Betriebsausgaben als ein Prozentsatz, bezogen auf die Investitionsausgaben, gebildet. In Wirklichkeit fallen diese Kosten während der Betriebszeit unregelmäßig an. Der angenommene Satz ist ein aus der Praxis bekannter finanzmathematischer Mittelwert über die gesamte Laufzeit des Projektes. Die nachstehende Rechnung bezieht sich auf die Instandhaltungskosten einer Anlage mit 10 Jahren Nutzungsdauer.

Position	Einheit	Wertangabe									
Investitionsausgaben (CAPEX) "I"	Mio.€	1,2									
Kalkulationszinssatz		6,0 %/a									
Abzinsungsfaktor	-	1,06									
Betriebsjahr	-	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Tatsächliche Instandhaltungskosten	T€ / a	0	0	35	35	135	30	35	30	35	150
Barwerte der einzelnen Glieder	T€ / a	0	0	29	28	101	21	23	19	21	84
Barwert der Reihe BWS	T€	325,7									
Annuitätsfaktor "a _n " (RMZ mit BW=1)	-	0,14									
Finanzmath. Mittelwert $LC = a_n \times BWS$	T€ / a	44,3									
Instandhaltungskostensatz $s_I = LC / I$	-	3,7 %/a									

LC : levelized Cost

1.3 Inflation, Preisindizes, Zinssätze und Ertragsteuern

1.3.1 Inflation und Preisindizes

Inflation ist definiert als der allgemeine Preisanstieg von Gütern und Dienstleistungen, verbunden mit einem Kaufkraftverlust. Der Preisanstieg innerhalb einer bestimmten Periode, i.d.R. ein Jahr, wird als *Inflationsrate* (*inflation rate*) bezeichnet. Die Inflationsrate bezieht sich nicht auf ein einzelnes Gut sondern auf die gewichteten Preise einer definierten Gruppe von Gütern und Dienstleistungen, die in dem sogenannten *Warenkorb* (*basket of goods*) enthalten sind.

Der Preisanstieg eines einzelnen Gutes wird Eskalationsrate (*escalation rate*) bezeichnet. Sie kann höher oder niedriger sein als die Inflationsrate. Wir unterscheiden zwischen nominaler und realer Eskalationsrate. Bei der ersten ist die Inflation inbegriffen, bei der zweiten ist die Inflation abgezogen (*inflation adjusted*).

Die Preisänderungen der Güter und Dienstleistungen eines Warenkorbs innerhalb einer Periode werden in einem *Preisindex* (Plural Preisindizes) erfasst, gewichtet und in Prozentpunkten angegeben, bezogen auf den Preisstand eines Referenzjahres dessen Preisniveau auf 100 Prozent gesetzt ist (das ist z.Z. das Jahr 2010).

Es gibt verschiedene Preisindizes, die Wichtigsten sind: der *Verbraucherpreisindex* (*Consumer Price Index – CPI*) und der *Index der Erzeuger Preise für gewerbliche Produkte* (*Producer Price Index – PPI*).

Das Sammeln, Erfassen, Analysieren und Publizieren der Preise ist eine der Hauptaufgaben der nationalen statistischen ämtern. Zuständig sind dafür: in Deutschland das *Statistische Bundesamt*, in Österreich der *Statistik Austria*, in der Schweiz das *Bundesamt für Statistik*.

Aus dem Preisindex kann die Inflation und die mittlere Inflationsrate "*i*" zwischen zwei Perioden (Jahre I_{alt} und I_x) wie folgt berechnet werden (formatiert in %):

$$i = \frac{I_{neu} - I_{alt}}{I_{alt}} \quad [\%] \quad (1.12)$$

Im nachstehenden Beispiel 1.5 wird aus den Preisindizes von ausgewählten Ländern die Gesamtinflation in der Periode sowie das arithmetische Mittel der Inflationsrate mit der obigen Formel berechnet.

Beispiel 1.5: Mittlere Inflationsraten für ausgewählte Länder

	Österreich	Deutschland	Schweiz	OECD-Europa	Mexiko	Japan
Angaben *)						
Preisindex 2000	82,6	85,7	91,7	74,4	63,3	102,7
Preisindex 2010	100					
Preisindex 2014	109,7	106,7	99,3	108,1	116,2	100
Inflation						
Gesamt	32,8%	24,5%	8,3%	45,3%	83,6%	-2,6%
Mittl. Inflationsrate	2,2%	1,6%	0,6%	3,0%	5,6%	-0,2%

*) Quelle: Data extracted on 1. Feb. 2015 from OECD Statistics

In dem Beispiel wurde Japan aufgenommen, weil es das einzige Industrieland mit einer negativen Inflationsrate in der betrachteten Periode ist. Dieses Phänomen wird *Deflation* genannt, und ist eine schlechte Randbedingung für die Entwicklung einer Volkswirtschaft. Es kann zu *Stagnation* oder sogar zur *Rezession* führen. Der Grund dafür ist, dass die Konsumenten in Erwartung fallender Preise ihre Kaufentscheidung verschieben. Die Produzenten, als Reaktion darauf, investieren nicht in der Befürchtung, dass sie ihre Produkte nicht absetzen werden können. Auch eine Nullinflation hat ähnliche Auswirkungen.

Eine zu hohe Inflationsrate bewirkt das Gegenteil. Wegen der raschen Geldentwertung neigen die Konsumenten zu mehr Konsum, und die Wirtschaft kommt zur Überhitzung.

Die Wahrung der Preisstabilität und die Regulierung des Geldflusses gehört zu dem ausdrücklichen Auftrag der nationalen Zentralbanken, wie auch der Europäischen Zentralbank. Die nationalen Zentralbanken sind faktisch die Bank der kommerziellen Banken. Diese leihen sich Geld von der Zentralbank und verleihen es weiter an ihren Kunden.

Durch Änderung der Höhe ihres Zinssatzes (in Deutschland ist es der Diskontsatz) hat die Zentralbank damit ein Instrument zur Beeinflussung der Inflation und des Geldumlaufs. Bei zu hoher Inflation erhöht die Zentralbank ihren Zinssatz, verteuert so das Geld und bremst die Kauflust. Bei zu niedriger Inflation ist es umgekehrt, die Zentralbank senkt ihren Zinssatz und verbilligt damit das Geld. Billigeres Geld übt einen positiven Einfluss auf das Konsumverhalten aus, die Wirtschaft wird angekurbelt und die Inflation beginnt anzusteigen.

Bei den meisten entwickelten Volkswirtschaften wird seit Anfang der 90er Jahre des letzten Jahrhunderts eine Inflationsrate von 2%/a angestrebt.

Den Anfang dazu hat Neuseeland gemacht bei einer Parlamentssitzung Ende 1989. Grund dafür waren hohe Inflationsraten in den vorangegangenen

Jahren, verbunden mit gravierenden Verlusten bei Pensionsrückstellung und Kaufkraftschwund. Im Jahr danach wurde das 2%-Ziel auch erreicht. Das nächste Land, das dem Beispiel gefolgt, war Kanada und nach und nach folgten alle anderen Länder.

1.3.2 Zinssatz und Inflation

Als *Zinssatz* wird der Preis für geliehenes oder investiertes Kapital bezeichnet. Er wird als Prozentsatz pro Periode angegeben.

Ein Investor, der heute einen Betrag anlegt, erwartet, dass er zum späteren Fälligkeitszeitpunkt den ursprünglichen Betrag zuzüglich des Inflationsausgleichs und einer zusätzlichen Nettorendite zurückbekommt. Das Kapital kann für eine Finanzinvestition (z.B. staatliche Schuldverschreibung) oder für eine Sachinvestition (z.B. ein Kraftwerk) Verwendung finden. Falls es sich um eine Sachinvestition handelt, kommt, je nach Höhe des damit verbundenen Risikos, auch ein entsprechender Risikozuschlag hinzu.

Mit anderen Worten, der Zinssatz muss gleich sein mit der durchschnittlichen jährlichen Inflationsrate zuzüglich der real erwarteten Rendite und dem eventuellen Risikozuschlag, was zusammen als *nominaler Zinssatz* (*nominal rate of return*) bezeichnet wird:

$\text{Nominaler Zinssatz} = \text{Inflation} + \text{angemessene Rendite} + \text{Risikozuschlag}$

Die Höhe des Zinssatzes ist deshalb immer abhängig von der Inflationsrate. Der Risikozuschlag hängt von der Art der Investition und dem Investitionsstandort ab.

Als Indikator zur Zinsfestlegung wird oft die Entwicklung der Renditen langfristiger staatlicher Schuldverschreibungen herangezogen. Finanzinvestitionen dieser Art galten bis zur Finanzkrise von 2008 als praktisch risikofrei.

In Abb. 1.2 sind die Renditen von Schuldverschreibungen sowie die Inflationsraten für drei typische Regionen beispielhaft angegeben. Man erkennt einen direkten Zusammenhang und eine abnehmende Tendenz zwischen den beiden Indikatoren bis 2008.

Nach Beginn der Finanzkrise und anschließender Wirtschaftskrise sind die Inflationsraten durch staatliche Eingriffe und Interventionen der Zentralbanken zur Ankurbelung der Wirtschaftstätigkeit in den meisten Ländern stark gefallen mit entsprechenden Auswirkungen auf die Renditen langfristiger Schuldverschreibungen.

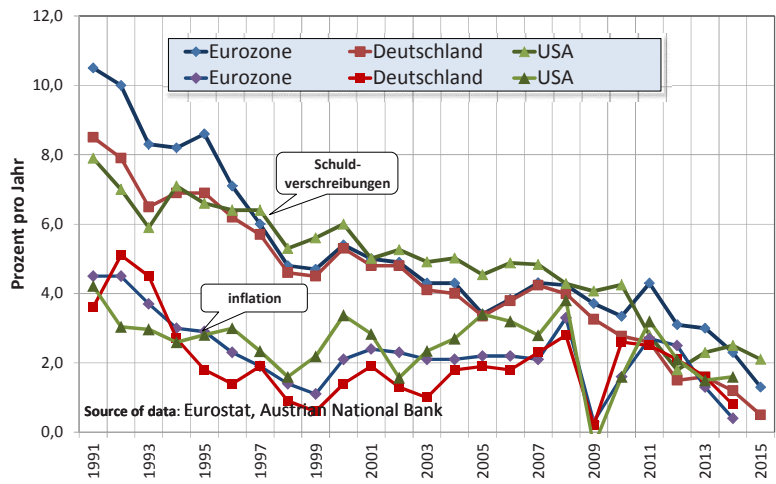


Abb. 1.2: Renditen längerfristiger staatlicher Schuldverschreibungen

Die Abhängigkeit des Zinssatzes von der Inflation ist dabei deutlich erkennbar. Bei höherer Inflation (1991 – 2000) ist dieser auch höher als bei der Periode mit niedriger Inflation. Durchschnittswerte für längere Perioden sind in Tabelle 1.4 zu sehen.

Bei entwickelten Ökonomien sind die Inflationsraten relativ niedrig. Hohe Inflationsraten kommen hauptsächlich in Entwicklungsländern vor.

Tabelle 1.4: Mittelwerte Renditen und Inflation

Region	Rendite *)	Inflation	Realzins
	Durchschnitt 1991 - 2000		
Eurozone	7,4	2,7	4,6
Deutschland	6,3	2,4	3,9
USA	6,4	2,8	3,6
	Durchschnitt 2001 - 2010		
Eurozone	4,1	2,1	2,1
Deutschland	3,9	1,8	2,2
USA	4,7	2,4	2,3

*) für staatliche Schuldverschreibungen

Quelle: Eurostat, eigene Aufbereitung

Bei den angegebenen Werten handelt es sich um die Renditen von Staatsanleihen. Je nach Industriezweig werden aber wesentlich höhere Renditen für das Eigenkapital erwartet, da Risikozuschläge hinzukommen.

1.3.3 Der reale Zinssatz

In der Regel ist eine Prognose der Inflationsraten für längere Investitionszeiträume, wie für Investitionen im Energiebereich, nicht möglich. Um diese Unsicherheit zu umgehen, werden Investitionsrechnungen gewöhnlich *inflationbereinigt* (*inflation adjusted*) mit realen Zinssätzen und Preissteigerungsraten durchgeführt.

Der inflationbereinigte Zinssatz wird als *realer Zinssatz* (*real rate of return*) bezeichnet. Zur Bestimmung des realen Zinssatzes muss der jeweilige Nominalzinssatz von der Inflationsrate bereinigt werden. Zur Inflationsbereinigung wird oft die Inflationsrate vom nominalen Zinssatz arithmetisch subtrahiert, was aber finanzmathematisch nicht korrekt ist.

$$i_r = i_n - r \% \quad (1.13)$$

Eine finanzmathematisch exaktere Methode ist die Inflationsbereinigung durch Diskontierung des nominalen Zinsfaktors durch den Inflationsfaktor nach der Rechenvorschrift:

$$q_r = 1 + i_r = (1 + i_n) / (1 + j) = q_n / p_r$$

$$i_r = \frac{1 + i_n}{1 + j} - 1 = \frac{q_n}{p} - 1 \quad (1.14)$$

Wenn der reale Zinssatz vorgegeben ist, dann kann der nominale Zinssatz wie folgt berechnet werden:

$$i_n = (1 + i_r) \cdot (1 + j) - 1 \quad (1.15)$$

In den obenstehenden Formeln bedeuten:

- i_n, i_r : Nominaler, realer Zinssatz, als Absolutzahl (digital)
- q_n, q_r : Nominaler, realer Zinsfaktor ($1+i$)
- j : Inflationsrate, als Absolutzahl
- p : Inflationsfaktor ($1+j$)

Nachstehende Tabelle 1.5 zeigt die mögliche Abweichung des realen Zinssatzes nach der exakten bzw. der näherungsweisen Berechnung. Bei relativ niedrigen Inflationsraten ist die Abweichung klein und steigt bei höheren Inflationsraten.

Tabelle 1.5: Realer Zinssatz, exakt und nach Näherungsformel

Position	Wertangabe				
Inflationsrate r	0%	5%	10%	15%	20%
nominaler Zinssatz i_n	5%	10%	15%	20%	25%
realer Zinssatz i_r , exakt	5,00%	4,76%	4,55%	4,35%	4,17%
realer Zinssatz i_r , Näherung	5,00%	5,00%	5,00%	5,00%	5,00%

Hervorzuheben ist vor allem: inflationsbehaftete Zahlungen müssen mit dem nominalen Zinssatz, inflationsbereinigte Zahlungen mit dem realen Zinssatz auf- oder abgezinst werden. Dann sind Zukunftswerte bzw. Barwerte gleich – siehe Beispiel 1.6 und Beispiel 1.7.

Beispiel 1.6: Barwertermittlung von Zahlungsreihen, nominal, real

In diesem Beispiel wird der Barwert einer Zahlungsreihe erst nominal (d.h. mit Inflation) und anschließend real (inflationsbereinigt) ermittelt. Im ersten Fall wird eine Zahlungsreihe mit dem "nominalen Abzinsungsfaktor" diskontiert. Im zweiten Fall wird dieselbe Reihe erst von der Inflation bereinigt und anschließend mit dem "realen Abzinsungsfaktor" diskontiert. Das Ergebnis muss in beiden Fällen (Barwert) gleich sein.

Position		Symbol	Rechnung				
Inflationsrate / Inflationsfaktor		$r ; p$	5,0%	1,050			
Zinssatz / Abzinsungsfaktor, nominal		$i_n ; q_n$	10,0%	1,100			
Zinssatz / Abzinsungsfaktor, real *)		$i_r ; q_r$	4,8%	1,048	$q_r = q_n / p$ und $i_r = q_r - 1$		
Jahr		n	1	2	3	4	5
Zahlungsreihe							
Nominalwerte mit Inflation	$qn=1,050$	Z_n	2,00	2,21	2,55	3,10	3,96
Inflationsbereinigte Glieder	$qn=1,050$	Z_r	1,90	2,00	2,21	2,55	3,10
Barwerte							
Nominalwerte mit Inflation *)	$qn=1,100$	Z_n / q_n^n	1,82	1,82	1,92	2,12	2,46
Inflationsbereinigte Glieder **)	$qr=1,048$	Z_r / q_r^n	1,82	1,82	1,92	2,12	2,46
Barwert Zahlungsreihen ist gleich !!		BW	10,14				

*) abgezinst mit nominalem Abzinsungsfaktor

**) abgezinst mit realem Abzinsungsfaktor

Beispiel 1.7: Barwertermittlung einer künftigen Einmalzahlung

In diesem Beispiel wird der Barwert einer künftigen Zahlung ermittelt. Die Inflationsrate ist in der ganzen Periode konstant. Im ersten Fall wird die Zahlung mit dem nominalen Abzinsungsfaktor diskontiert, im zweiten Fall wird die Zahlung erst inflationsbereinigt und dann mit dem exakt ermittelten Abzinsungsfaktor diskontiert. Der Barwert ist in beiden Fällen gleich. Im dritten Fall wird nach der Inflationsbereinigung die Zahlung mit dem näherungsweise ermittelten Abzinsungsfaktor diskontiert. Das Ergebnis ist nicht mehr gleich den ersten beiden.

Merkmal			Nominal	Real exakt	Real Näherung
Randbedingungen					
Zinssatz, nominal	i_n	-	10,0%		
Jährliche Inflationsrate		-	5,0%		
Zinssatz, real		-	10,0%	4,76%	5,00%
Abzinsungsfaktor		-	1,100	1,048	1,050
Barwert einer künftiger Zahlung					
Fälligkeit		a	10		
Betrag, nominal mit Inflation		€	10.000,00		
Betrag Inflationsbereinigt		€	-	6.139,13	6.139,13
Barwert		€	3.855,43	3.855,43	3.768,89

1.3.4 Der effektiver Zinssatz

Der nominale Zinssatz wird i.d.R. auf eine Zinsperiode von einem Jahr bezogen. Sind die Tilgungsperioden für einen Bankkredit kürzer als ein Jahr, dann steigt der Zinssatz. Er wird als *effektiver Zinssatz* (*effective interest rate*) bezeichnet. Dieser kann nach folgender Formel ermittelt werden:

$$i_e = \left(1 + \frac{i}{m}\right)^m - 1 \quad \frac{\%}{\text{periode}} \quad (1.16)$$

Hierin bedeuten:

i , i_e : Nominaler Zinssatz %/a, effektiver Zinssatz, als Absolutzahl

m : Anzahl von Tilgungsperioden pro Jahr

Beispiel 1.8: Effektiver Zinssatz

Der Jahreszinssatz wird mit 8%/a angegeben, die Tilgung erfolgt aber pro Quartal.

$$i_e = \left(1 + \frac{0,08}{4}\right)^4 - 1 = 0,0824 \quad \equiv \quad 8,24\%$$

Der effektive Zinssatz ist nun höher als der jährliche.

1.3.5 Der kalkulatorische Zinssatz

Vor der Durchführung einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung muss der Kalkulationszinssatz festgelegt werden, der von dem Investitionsvorhaben mindestens erwartet wird (*hurdle rate of return*). Bei seiner Festlegung wird in diesem Buch das Modell der *gewichteten Kapitalkosten* ("WACC" *Weighted Average Cost of Capital*) angewandt. Dabei werden die Finanzierungsverhältnisse wie Eigen-, Fremdkapitalanteil (*equity, borrowed capital*), die Eigenkapitalrendite, Investitionsrisiko sowie Ertragsteuern und

Zins für Fremdkapital berücksichtigt. Bei Investitionsrechnungen werden dann die Zahlungsreihen mit dem auf diese Weise festgelegten Kalkulationszinssatz diskontiert und Barwerte gebildet.

Im nachstehenden Beispiel 1.9 wird das Schema zur Berechnung des kalkulatorischen Zinssatzes gezeigt. Es ist darauf hinzuweisen, dass die Höhe der Eigenkapitalrendite die von den Unternehmen in den verschiedenen Industriesektoren erwartet wird, sehr unterschiedlich sein kann.

Beispiel 1.9: Modell für kalkulatorischen Zinssatz

Position	Einheit	Konventionell	
		Eigenkapital	Darlehen
Kapitalanteile	%	30	70
Zinssätze und Aufschläge			
Risikofreier Rendite/Zinssatz	% /a	5,0%	5,0%
Investitions-Risikoaufschlag *)	% /a	6,0%	1,0%
Technologie-Risikoaufschlag	% /a	0,0%	0,0%
Region-Risikoaufschlag **)	% /a	0,0%	0,0%
Zwischensumme nach Steuern	% /a	11,0%	6,0%
Ertrag Steuersatz ***) 25%	% /a	3,7%	0,0%
Kapitalkosten vor Steuern	% /a	14,7%	6,0%
Gewichteter Mittelwert (WACC), nominal	% /a	8,60%	
./. Inflation	% /a	2,00%	
WACC inflationsbereinigt, vor Steuern	% /a	6,47%	

*) abhängig vom Entwicklungsstand der Technologie

**) berücksichtigt Landrisiken, bei den meisten Industrieländern gleich Null

***) als Beispiel, ist unterschiedlich, abhängig von der Steuergesetzgebung des Landes und Region

Die angegebenen *Kapitalanteile* sind typisch für Projekte im Energiebereich. Für Projekte mit geringerem Marktrisiko, wie z.B. für erneuerbare Energien mit Stromabnahme- und Vergütungsverpflichtung von den Netzbetreibern, können Banken auch 20% Eigenkapitalanteil akzeptieren.

Projekte im Energiebereich haben eine lange Lebensdauer von 20 bis 50 Jahren und bis zu 5 Jahren Bauzeit. Da kann der *risikofreie Zinssatz* mit etwa drei (3) Prozentpunkte über die langfristig erwartete Inflationsrate von 2% als realistisch betrachtet werden.

Anleger für Projekte im Energiebereich erwarten einen Investitionsrisikozuschlag mindestens in der gleichen Höhe. In manchen Branchen, wie Chemie, sogar viel höhere Zuschläge.

Der *Technologie Risiko-Zuschlag* hängt vom Reifegrad der Technologie ab. Bei Projekten für Stromerzeugung aus konventionellen Kraftwerken und Energietransport ist das Technologie-Risiko praktisch null.

Regionalrisiken (country risks) beinhalten politische, ökonomische, länderspezifische, Enteignungs-, Geldtransfer-, Währungsrisiken etc. [PK-EnEc]. Als Anhaltspunkt für Regional-Risiken können die Bonitätsbewertung (*credit ratings*) der Credit Rating Agenturen (CRA) herangezogen werden. Für Länder mit Ratings nach den ersten zwei Kategorien ist das Countryrisiko gleich Null. Das gilt für die Mehrzahl der Industrieländer.

Tabelle 1.6: Credit rating classes

Agency			Notation	Grade
Moody's	S & P	Fitch		
Aaa	AAA	AAA	Prime	Investment grade
Aa, Aa1, Aa2, Aa3	AA+, AA, AA-	AA+, AA, AA-	High grade	
A1, A2, A3	A+, A, A-	A+, A, A-	Upper medium grade	
Baa1, Baa2, Baa3	BBB+, BBB, BBB-	BBB+, BBB, BBB-	Lower medium grade	
Ba1, Ba2, Ba3	BB+, BB, BB-	BB+, BB, BB-	Speculative	Non-investment grade
B1, B2, B3	B+, B, B-	B+, B, B-	Highly speculative	
Caa1, Caa2, Caa3	CCC+, CCC, CCC-	CCC	Extremely speculative	
Ca	CC, C		Default imminent	speculative
C	D	DDD, DD, D	In Default	In Default

Quelle: Panos Konstantin, Power and Energy Systems - Engineering Economics

Ertragsteuern sind Land- und Region-spezifisch und werden i.d.R. auf den Unternehmensgewinn bzw. die Rendite für Eigenkapital erhoben. Sie setzen sich zusammen aus der Körperschaftsteuer (*Coprporate tax*) und Gemeine- oder Regionalsteuern (in Deutschland z.B. Gewerbesteuer) und sonstigen Steuern (z.B. Solidaritätszuschlag). Zinsen für Fremdkapital sind Kosten und von der Steuer absetzbar. Steuersätze im internationalen Vergleich sind in den Monatsberichten des Bundesministeriums für Finanzen [BMF-GewSt] verfügbar.

Tabelle 1.7: Ertrag Steuersätze für Kapitalgesellschaften

Land	Körperschaftsteuer	Unternehmensbesteuerung Gesamt *)
Deutschland	15,00%	29,83%
Österreich	25,00%	25,00%
Schweiz	8,50%	20,65%

*) inkl. Gemeinde, Region und sonstige Steuern

Quelle: Bundesfinanzministerium, April 2014

Der kalkulatorische Zinssatz inkl. Steuern wird bei Kostenrechnungen zur Ermittlung des jährlichen Kapitaldienstes ($\text{€}/a$) benutzt (z.B. mit Hilfe der MS-Excel Annuitätsformel RMZ).

Investitionsrechnungen können entweder *nominal*, d.h. mit inflationsbehafteten Zahlungsreihen, oder *real* mit inflationsbereinigten Zahlungsreihen durchgeführt werden. Dabei ist folgendes zu beachten:

Berechnung **nominal** bedeutet: *Inflationsbehaftete* Zahlungsreihen und Barwertbildung mit dem *nominalen* Zinssatz. Berechnung **real** bedeutet: *Inflationsbereinigte* Zahlungen und Barwertung mit dem *realen* Zinssatz. Der **Barwert** ist in beiden Fällen *gleich*, sofern der Realzinssatz mit der exakten Formel nach Formel 4.4 bestimmt wurde.

1.3.6 Ertragsteuern in Deutschland

Ertragsteuern sind in Deutschland die Körperschaftsteuer und die Gewerbesteuer. Kapitalgesellschaften (GmbH, AG) sind Körperschaftsteuerpflichtig. Bemessungsgrundlage für die *Körperschaftsteuer* (*KSt*) ist der körperschaftsteuerpflichtige Gewinn einer Kapitalgesellschaft. Das ist der Bruttogewinn (Bruttogewinn = Überschuss aus Einnahmen und Ausgaben abzüglich Abschreibungen).

Der Körperschaftsteuersatz (*KStS*) auf den Gewinn von Kapitalgesellschaften beträgt nach dem Körperschaftsteuergesetz [KStG] Stand Feb. 2013 15% zzgl. Solidaritätszuschlag von 0,825% (5,5% x *KStS*).

Bei Personengesellschaften (OHG, KG) haben die Gesellschafter oder die Unternehmer ein Wahlrecht zwischen der Gewinnbesteuerung mit dem persönlichen Einkommensteuersatz bzw. der Thesaurierungsbesteuerung. Bei der Thesaurierungsbegünstigung sollen Gewinne im eigenen Unternehmen investiert werden. Diese bereits bei Kapitalgesellschaften geltenden Steuervorteile gelten auch für Personenunternehmen.

Nicht entnommene Gewinne eines Wirtschaftsjahres werden bei Personengesellschaften vorerst nur mit 28,25% zzgl. Solidaritätszuschlag von 0,825% besteuert, bei späterer Entnahme müssen zusätzlich 25% zzgl. Solidaritätszuschlag nachversteuert werden.

Die *Gewerbesteuer* (*GewSt*) ist eine kommunale Steuer. Bemessungsgrundlage ist der Gewerbeertrag. Das ist in erster Näherung der Bruttogewinn zuzüglich 25% der Zinsen für langfristiges Fremdkapital. Die Gewerbesteuerzahlung lässt sich wie folgt ermitteln:

$$GewSt = MZ \times HS_z \times GewErtrag \quad (1.17)$$

Darin bedeuten:

GewStS: Gewerbesteuersatz [%]

MZ: Messzahl 3,5%, als Absolutzahl einzugeben 0,035

HS_z: Hebesatz, als Absolutzahl einzugeben

GewErtrag: Gewerbeertrag

Die Messzahl (*MZ*) ist für Kapitalgesellschaften einheitlich, sie beträgt 3,5%. Der Hebesatz (*HS_z*) ist von Gemeinde zu Gemeinde unterschiedlich. In 2015 war [GWSt-Info]:

- Der niedrigste 200%
- Der durchschnittliche 356,4 %
- Der höchste 900%

(Liste der Hebesätze und Berechnungsschema siehe Internetseiten von [DIHK] und [lexOffice].)

Beispiel 1.10: Berechnung der Ertragsteuern

Merkmal	Wert
Gewerbeertrag *)	100
GewSt-Messzahl	3,50%
GewSt-Hebesatz	356,4
Ertragsteuer	
GewSt = MZ x HS x GewErtrag	12,474
KStz 15%	15,000
Solidaritatzuschlag 5,50%	0,825
Summe	28,299

*) inklusive 25% anrechenbare Zinsen für langfristige Darlehen

1.4 Investitionsrechnungsmethoden

1.4.1 Methodenübersicht

Eine *Investition* ist das Anlegen von Geldmitteln für eine Maßnahme bzw. ein Projekt; sie beginnt mit einer Ausgabe (Investitionsausgabe) und löst über ihre Laufzeit eine Reihe von Zahlungsströmen aus Einnahmen und Ausgaben aus. Aufgabe der Investitionsrechnung (*investment appraisal*) ist die Beurteilung der absoluten und der relativen Vorteilhaftigkeit von Investitionsmaßnahmen. Dabei werden die zu erwartenden Ausgaben- und Einnahmenreihen über die gesamte Laufzeit der Investition in die Berechnung einbezogen und vergleichbar gemacht. Hervorzuheben ist dabei:

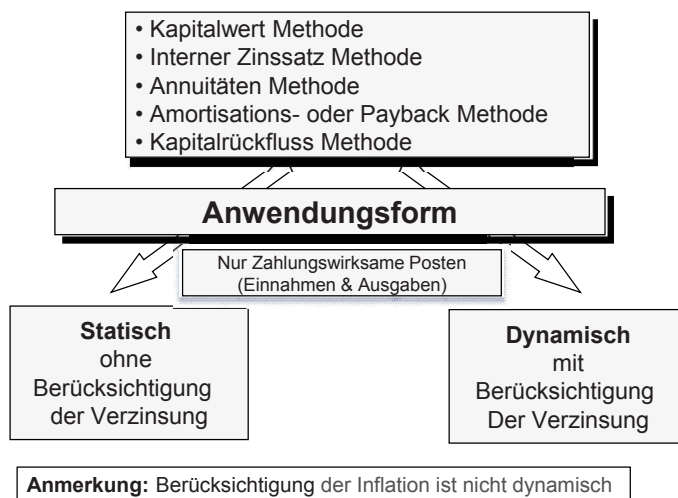
Wichtig: Bei Investitionsrechnungen kommen nur zahlungswirksame Posten zum Ansatz. Das sind Geldbeträge, die eingenommen oder ausgegeben werden. Nämlich *Einnahmen (cash inflows)* und *Ausgaben (cash outflows)*. Nicht zahlungswirksame Posten (*non-cash items*), wie Abschreibungen, sind nicht relevant, das wäre auch eine Doppelbuchung, weil die Investitionsausgaben in der Rechnung inbegriffen sind.

Hauptaufgabe der Investitionsrechnung in Zusammenhang mit Energieprojekten ist die Ermittlung der Wirtschaftlichkeit auf der Basis eines Vergleichskriteriums wie Energiegestehungs- bzw. –verteilungskosten. Es wird unterschieden zwischen:

- absoluter Wirtschaftlichkeit einer Investition und
- relativer Wirtschaftlichkeit zwischen Investitionsvarianten.

Je nach Art der Investition sind für diesen Zweck verschiedene Verfahren anwendbar, die in den folgenden Abschnitten beschrieben werden. Es wird üblicherweise zwischen dynamischen und statischen Verfahren unterschieden:

Abb. 1.3: Investitionsrechnungsmethoden



Source: Panos Konstantin, Power and Energy Systems – Engineering Economics 2016

Bei Investitionen mit langer Laufzeit wie in der Energiewirtschaft werden vorzugweise dynamische Verfahren angewandt. Bei relativ kleinen Inves-

tionen, z.B. für Verbesserungsmaßnahmen, ist es oft sinnvoller, statisch zu rechnen.

Anmerkung: Als dynamisch wird oft die Berechnung unter Berücksichtigung der Inflation missverstanden. Der Term dynamisch bedeutet Diskontierung der Zahlungsreihen unabhängig davon, ob mit Inflation oder inflationsbereinigt berechnet wird.

1.4.2 Die Kapitalwertmethode

Grundlage aller dynamischen Verfahren für Wirtschaftlichkeitsberechnungen ist die Kapitalwertmethode. Der *Kapitalwert* ("*NPV*" *Net Present Value*) ist die Differenz aus der Summe der Barwerte aller Einnahmen und der Summe der Barwerte aller Ausgaben innerhalb der Nutzungsdauer (*service life*) einer Investition. Das Fiktionsschema der Methode ist in Abb. 1.4 zu ersehen.

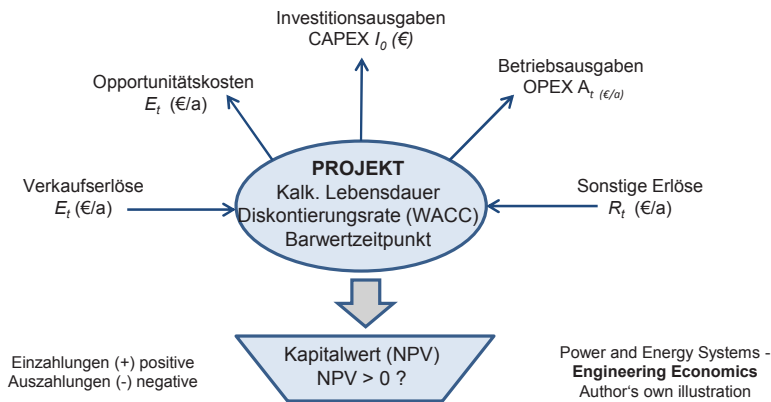


Abb. 1.4: Funktionsschema der Kapitalwertmethode

Die mathematische Formulierung ist wie nachstehend:

$$K_0 = -I_0 + \sum_{t=1}^{t=n} \frac{(E_t - A_t)}{q^t} \quad (1.18)$$

Falls der Einnahmeüberschuss ($E_t - A_t$) als konstant ($= E - A$) angenommen wird, gewinnt man durch Umformung folgende Gleichung:

$$K_0 = -I_0 + (E - A) \times \frac{q^n - 1}{q^n \times (q - 1)} \quad (1.19)$$

$$K_0 = -I_0 + BW(E - A) \quad (1.20)$$

Hierin bedeuten:

K_0 :	Kapitalwert zum Bezugszeitpunkt "0" in €
I_0 :	Investitionsausgaben inklusive Bauzinsen in €
E_t :	Einnahmen am Ende des Jahres t in €/a
A_t :	Ausgaben am Ende des Jahres t in €/a
$(E_t - A_t)$:	Einnahmenüberschuss in €/a
q :	Diskontierungsfaktor, $q = 1 + i/100$
i :	Kalkulatorischer Zinssatz in %/a
t :	Jahr der Nutzungsperiode (1, 2, 3, ..., n)
n :	Kalkulatorische Nutzungsdauer in Jahren

In der Regel wird der Inbetriebnahmezeitpunkt einer Anlage als Bezugszeitpunkt für das Barwerten gewählt. Alle Zahlungen, die früher anfallen (z.B. die Investitionsausgaben), werden aufgezinst, alle Zahlungen, die später anfallen (Einnahmen – Betriebsausgaben), werden abgezinst. Die Auf- und Abzinsung erfolgt mit dem Kalkulationszinssatz.

Das Wirtschaftlichkeitskriterium ist der *Kapitalwert*. Wenn der Kapitalwert positiv ist, bedeutet dies, dass die Investition wirtschaftlich ist (*absolute* Wirtschaftlichkeit). Zwischen Alternativinvestitionen ist die mit dem höchsten Kapitalwert die *relativ* wirtschaftlichste.

Zur Vereinfachung der Rechnung wird angenommen, dass alle Zahlungen während der Betriebszeit am Ende des betreffenden Jahres erfolgen. Die Investitionsausgaben fallen in mehreren Raten während der Bauphase an, die sich bei großen Projekten über mehrere Jahre erstrecken kann.

Wichtig: Die Barwerte von Investitionsvarianten sind nur dann vergleichbar, wenn ihre kalkulatorische Lebensdauer gleich ist (Erklärung nachstehend).

Das wird ganz einfach erkennbar aus der Formel (1.18). Bei Projekten mit gleich hohen Investitionsausgaben " I_0 " und gleichem Einnahmenüberschuss " $(E_t - A_t)$ " aber unterschiedlicher Lebensdauer " $n_2 > n_1$ " ist der Einnahmeüberschuss des Projektes mit der Lebensdauer " n_2 " über die Lebensdauer größer und damit auch sein Kapitalwert.

Beispiel 1.11: Kapitalwert eines Kraftwerkprojektes

Position			Einheit	Wertangabe
Randbedingungen				
Leistung, brutto			MW	700
Leistung, netto		7,5%	MW	648
Stromerzeugung, netto		7000 h/a	GWh/a	4.533
Brennstoffverbrauch		42,0%	GWh/a	10.792
Stromverkaufspreis			€/MWh _{el}	65,00
kalkulatorische Nutzungsdauer "n"			Jahre	35
kalkulatorischer Zinssatz, "i", real *)			%/a	6,50%
Investitionsausgaben "I ₀ ", Kostenstand 2015	1800 €/kW		Mio. €	1.260
Jahreskosten, -erlöse bei Inbetriebnahme, 2015				
Einnahmen "E"			Mio. € /a	294,6
Betriebsausgaben fix		2,5%	Mio. € /a	31,5
Brennstoffkosten	85,00 €/t _{SKE}	10,44 €/MWh	Mio. € /a	112,7
Einnahmenüberschuss (E-A)			Mio. € /a	150,4
Barwerte				
Investitionsausgaben "I ₀ "			Mio. €	- 1.260
Barwert Einnahmenüberschuss (E-A)			Mio. €	2.059
Kapitalwert K₀ = - I₀ + BW (E-A)			Mio. €	799

*) Die Kosten müssen mit dem realen Zinssatz diskontiert werden, weil sie dem Kostenstand 2015 entsprechen und nicht inflationiert sind

1.4.3 Die interne Zinssatzmethode

Die interne Zinssatzmethode ist eine Sonderform der Kapitalwertmethode. Das Wirtschaftlichkeitskriterium ist derjenige Zinssatz, mit dem der Kapitalwert der Investition gleich Null wird. Er wird als interner Zinssatz ("IRR" *Internal Rate of Return*) bezeichnet. Dieser Zinssatz wird mit der Mindestverzinsung (*hurdle rate*), die der Investor oder das Unternehmen erwartet, verglichen.

Eine Investition gilt als wirtschaftlich, wenn der interne Zinssatz gleich oder größer ist als der erwartete Mindest-Zinssatz.

Wirtschaftlichkeitskriterium: $IRR > WACC$

Man unterscheidet zwischen drei verschiedenen Formen des internen Zinssatzes:

- IRR aufs Gesamtkapital (*IRROI on investment*)
- IRR aufs Eigenkapital vor Steuern (*IRROE on equity pretax*)
- IRR aufs Eigenkapital nach Steuern (*IRR on equity after tax*)

1.4.3.1 IRR auf Gesamtkapital IRROI

Das Funktionsschema und die Zahlungsströme der IRR auf das Gesamtkapital sind in der nachstehenden Abbildung dargestellt.

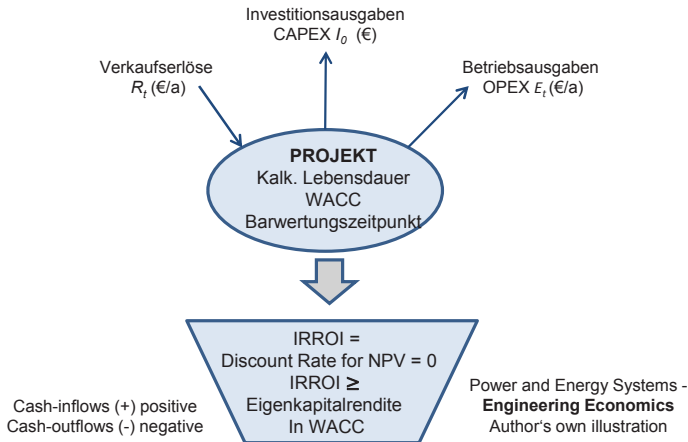


Abb. 1.5: Funktionsschema und Zahlungsströme der IRRI

Die finanzmathematische Gleichung für die Methode ist wie folgt.

$$-I_0 + \sum_{t=1}^{t=n} \frac{(E_t - A_t)}{q^t} = 0 \quad (1.21)$$

Falls der Einnahmenüberschuss ($E_t - A_t$) als konstant ($= E - A$) angenommen wird, gewinnt man durch Umformung folgende Gleichung:

$$-I_0 + (E - A) \times \sum_{t=1}^n \frac{1}{q^t} = -I_0 + \frac{q^n - 1}{q^n \times (q - 1)} = 0 \quad (1.22)$$

Die Lösung dieser Gleichung nach der Unbekannten „ q “ ist nur iterativ möglich. Mit Tabellenkalkulationsprogrammen wie Excel kann der gesuchte Zinssatz jedoch leicht mit der *Zielwertsuche-Funktion* bestimmt werden. Dabei wird zuerst ein beliebigen Zinssatz eingesetzt und anschließend der interne Zinssatz mit Hilfe der Zielwertsuchfunktion bestimmt, indem man als gesuchte Zielgröße Kapitalwert $K_0=0$ angibt. Die Zielwertsuche Funktion von Excel ist auf dem Hauptmenü zu finden:

< Excel Statusleiste, Reiter Daten, Was-wäre-Wenn, Zielwertsuche >

Beispiel 1.12: Interner Zinssatz, Kraftwerksprojekt

Für das Kraftwerkprojekt aus Beispiel 1.11 wird der interne Zinssatz gesucht. Die Gleichungen werden auf die gleiche Weise aufgestellt. Der Lösungsansatz ist unterhalb der Tabelle beschrieben. Die Investition gilt als wirtschaftlich, wenn die $IRR > WACC$ (siehe Beispiel 1.9).

Position			Einheit	Wert
Randbedingungen				
Leistung, brutto			MW	700
Leistung, netto		7,50%	MW	648
Stromerzeugung, netto		7000 h/a	GWh/a	4.533
Brennstoffverbrauch		42%	GWh/a	10.792
Strompreis			€/MWh _{el}	55
kalkulatorische Nutzungsdauer "n"			Jahre	35
Jahreskosten, -erlöse bei Inbetriebnahme				
Einnahmen "E"			Mio. €/a	249,3
Betriebsausgaben fix A _F		2,5%	Mio. €/a	31,5
Brennstoffkosten A _B	85,00 €/t _{SKE}	10,44 €/MWh	Mio. €/a	112,7
Einnahmenüberschuss (E-A)			Mio. €/a	105,1
IRR				
Investitionsausgaben "I ₀ "		1800 €/kW	Mio. €	1.260,0
Barwert des Einnahmenüberschusses (E-A)			Mio. €	1.260,0
Kapitalwert $K_0 = -I_0 + BW(E-A)$			Mio. €	0,0
Interner Zinssatz (Excel Zielwertsuche Funktion)			IRR =	7,72%

Lösungsweg: einen beliebigen Wert als IRR (z.B. 8%) eingeben, auf die Zelle mit Kapitalwert klicken, Zielwertsuche 0 setzen, veränderte Zelle IRR. Excel sucht den Diskontierungssatz (=IRR), für den der Barwert des Einnahmenüberschusses gleich mit den Investitionsausgaben wird.

1.4.3.2 Interner Zinssatz aufs Eigenkapital

Der interne Zinssatz auf Eigenkapital ist der, mit dem die erwartete Rendite für Eigenkapital über die Lebensdauer des Projektes erzielt wird (siehe Beispiel 1.9). Die relevanten Zahlungsströme und Komponenten sind in der nachstehenden Abbildung zu sehen.

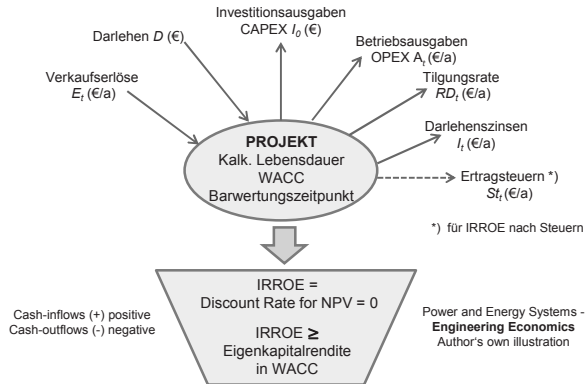


Abb. 1.6: Funktionsschema und Zahlungsströme der IRROE

Die *IRROE* ist das eigentliche Profitabilitätskriterium für den Investor. Der Rechnungsgang ist bedingt durch die Vielzahl von Zahlungsströmen, die einbezogen werden, wesentlich komplizierter. Die mathematische Formulierung vor und nach Steuern ist wie nachstehend:

$$BW = -I_o + D + \sum_{t=1}^{t=n} \frac{(E_t - A_t - DR_t - IR_t)}{(1 + IRROE)^t} = 0 \quad (1.23)$$

$$BW = -I_o + D + \sum_{t=1}^{t=n} \frac{(E_t - A_t - DR_t - IR_t - St_t)}{(1 + IRROE)^t} = 0 \quad (1.24)$$

Hierin bedeuten:

- I_o : Investitionsausgaben €
- D : Darlehen €
- E_t : Einnahmen am Ende des Jahres t in €/a
- A_t : Betriebsausgaben am Ende des Jahres t in €/a
- DR : Tilgungsrate für Darlehen in €/a
- I : Darlehenszinsen €/a
- St : Ertragsteuern €/a
- IRROE*: Interner Zinssatz in %/a
- t : Jahr der Nutzungsperiode (1, 2, 3, ..., n)
- n : Kalkulatorische Nutzungsdauer in Jahren

Wichtig: Die Rechnung muss mit Berücksichtigung der Inflation, und auf jährlicher Basis durchgeführt werden, weil Tilgung und Zinszahlungen für das Darlehen mit den jeweiligen jährlichen Zeitwerten des Geldes bezahlt werden.

Beispiel 1.13: Interner Zinssatz Ermittlung

Im Beispiel wird der interne Zinssatz auf Gesamtkapital und Eigenkapital vor und nach Steuern ermittelt. Die Laufzeit wurde für Zwecke der Übersichtlichkeit auf nur 5 Jahre gewählt. Bei der Berechnung wird die erwartete IRR auf Eigenkapital nach Steuern vorgegeben und damit die Zahlungsreihe der Erlöse ermittelt.

Zielwertsuche, Verkaufserlöse um	IRROE=11,0 %/a	nach Steuern	=294.886
		Betriebsausgaben	-50.000

IRROI

Betriebsjahr		0	1	2	3	4	5
Investitionsausgaben		-1.000.000					
Zahlungsreihen							
Verkaufserlöse	esc 2,5 %/a		294.886	302.258	309.815	317.560	325.499
Betriebsausgaben	esc 3,5 %/a		-50.000	-51.750	-53.561	-55.436	-57.376
Summe	IRROI=8,7 %/a	-1.000.000	244.886	250.508	256.253	262.124	268.123

*) Excel Funktion: **IKV** (markiere Zahlungsreihe Summe, Schätzwert 10%)

IRROE vor Steuern (Ertragsteuern ist nicht als Zahlungsreihe inbegriffen) !

Betriebsjahr		0	1	2	3	4	5
Investitionsausgaben		-1.000.000					
Darlehen	70%	700.000					
Restschuld **)			560.000	420.000	280.000	140.000	0
Zahlungsreihen							
Verkaufserlöse	esc 2,5 %/a		294.886	302.258	309.815	317.560	325.499
Betriebsausgaben	esc 3,5 %/a		-50.000	-51.750	-53.561	-55.436	-57.376
Zinszahlungen	6,0 %/a		-42.000	-33.600	-25.200	-16.800	-8.400
Darlehensstilgung	5 a		-140.000	-140.000	-140.000	-140.000	-140.000
Summe	IRROE=14,0 %/a	-300.000	62.886	76.908	91.053	105.324	119.723

*) Excel Funktion: **IKV** (markiere Zahlungsreihe Summe, Schätzwert 10%)

**) Zur Berechnung der Jährlichen Zinszahlungen notwendig

IRROI nach Steuern (Ertragsteuer ist als Zahlungsreihe inbegriffen) !)

Betriebsjahr		0	1	2	3	4	5
Investitionsausgaben		-1.000.000					
Abschreibungen			-200.000	-200.000	-200.000	-200.000	-200.000
Darlehen	70%	700.000					
Restschuld **)			560.000	420.000	280.000	140.000	0
Zahlungsreihen							
Verkaufserlöse	esc 2,5 %/a		294.886	302.258	309.815	317.560	325.499
Betriebsausgaben	esc 3,5 %/a		-50.000	-51.750	-53.561	-55.436	-57.376
Zinszahlungen	6,0 %/a		-42.000	-33.600	-25.200	-16.800	-8.400
Ertragsteuern	25,0 %		-722	-4.227	-7.763	-11.331	-14.931
Darlehensstilgung	5 a		-140.000	-140.000	-140.000	-140.000	-140.000
Summe	IRROE=11,0 %/a	-300.000	62.165	72.681	83.290	93.993	104.792

*) Excel Funktion: **IKV** (markiere Zahlungsreihe Summe, Schätzwert 10%)

**) Zur Berechnung der Jährlichen Zinszahlungen notwendig

Die Investition gilt als vorteilhaft für den Investor, wenn der *IRR* höher ist als die erwartete Eigenkapitalrendite in den *WACC* (siehe kalkulatorischer Zinssatz

Beispiel 1.9.). Für die Rechnung wurde der *IRROE* nach Steuern vorgegeben und damit der notwendige Verkaufserlös im 1. Jahr mit der "Zielwertsuche-Funktion von Excel" bestimmt.

Die Excel Funktion für den internen Zinssatz lautet "*IKV*" (Englisch "*IRR*") und hat folgenden Aufbau (sie wurde im Beispiel 1.13 angewandt):

$$IKV=(\langle \text{Werte} \rangle ; \langle \text{Schätzwert} \rangle)$$

Sie berechnet den internen Zinssatz für eine Reihe von Zahlungen. Die Werte können entweder einzeln eingegeben werden oder indem die Zahlungsreihe markiert wird. Der Schätzwert wird gebraucht, weil die *IRR* iterativ mit dem Newton-Näherungsverfahren ermittelt wird; dazu ist ein Anhaltswert erforderlich. Excel nimmt automatisch 10%, wenn kein Wert eingegeben wird. Dazu folgendes Beispiel.

Anmerkung: Im Buch werden die englischen Ausdrücke für den internen Zinssatz "*IRR*" bevorzugt, weil sie bekannter und üblicher sind als *IKV*.

1.4.4 Die Annuitätenmethode

Bei der Annuitäten Methode (*annual equivalent amounts or annuities*) wird der Barwert der Einnahmenüberschüsse den Investitionsausgaben hinzuaddiert und die Summe von beiden mit dem Annuitätsfaktor multipliziert. Die mathematische Formulierung lautet:

$$A_n = a_n \cdot (-I_o + \sum_{t=1}^{t=n} \frac{(E_t - A_t)}{q^t}) = a_n \cdot NPV \quad \left[\frac{\text{€}}{\text{a}} \right] \quad (1.25)$$

Der Ausdruck innerhalb der Klammer ist der Kapitalwert (*NPV*).

Der Annuitätsfaktor ist der reziproke Wert des Barwertfaktors. Er kann berechnet werden entweder analytisch mit der nachfolgenden Gleichung oder mit der *RMZ*-Funktion von Excel für *Bw*=1 (siehe Funktionsaufbau nachstehend).

$$a_n = \frac{1}{\sum_{t=1}^{t=n} \frac{1}{q^t}} = \frac{q^n \times (q-1)}{q^n - 1} \quad (1.26)$$

Hierin bedeutet:

A_n: Annuität

a_n: Annuitätsfaktor

I_o: Investitionsausgaben

E_t: Einnahmen im Jahr *t*

A_t: Betriebsausgaben im Jahr *t*

- q : Diskontierungsfaktor $q=1+i/100$
 i : kalkulatorischer Zinssatz in %/a
 t : Jahr der Nutzungsdauer 1,2,3,...,n
 n : Kalkulatorische Nutzungsdauer in Jahren

Wichtig: Ein entscheidender Vorteil der Annuitätenmethode ist, dass auch Investitionsvarianten mit unterschiedlichen Lebensdauern verglichen werden können. Die Länge der Lebensdauer spielt beim Vergleich von Annuitäten keine Rolle – Beispiel 1.14. Kapitalwerte dagegen sind nur bei Investitionsvarianten mit gleicher Lebensdauer vergleichbar (siehe Erläuterung in 1.4.2.)

Dies wird nachstehend erläutert. In der praktischen Anwendung wird der Einnahmenüberschuss ($E_t - A_t$) als konstant bzw. als diskontierter Mittelwert über die Laufzeit angenommen und kann vor das Summenzeichen gesetzt werden. Die Gleichung (1.25) umgeformt ist wie folgt:

$$A_n = a_n \cdot (-I_0) + (E_0 - A_0) \cdot a_n \cdot \sum_{t=1}^{t=n} \frac{1}{q^t} = \left[\frac{\epsilon}{a} \right] \quad (1.27)$$

Der Term mit dem Summenzeichen ist der Barwertfaktor. Aus der Formel (1.27) oben und des Annuitätsfaktors in Formel (1.26) bekommt die Annuitätsformel die Form:

$$A_n = a_n (-I_0) + \frac{1}{\sum_{t=1}^{t=n} \frac{1}{q^t}} \cdot \sum_{t=1}^{t=n} \frac{1}{q^t} \cdot (E_t - A_t)$$

$$A_n = a_n (-I_0) + (E_t - A_t) \quad (1.28)$$

Es ist offensichtlich: die Lebensdauer "n" erscheint in beiden Terms der Gleichung nicht mehr, damit ist die Annuität von der Lebensdauer unabhängig. In der praktischen Anwendung nimmt man den Einnahmenüberschuss bei Betriebsbeginn als konstant über die Lebensdauer an.

Beispiel 1.14: Einnahmenüberschüsse vs. Lebensdauer

Position	Einheit	Kapitalwert	Annuität
Formel		BW	an × BW
kalkulatorischer Zinssatz	-	6,50%	6,50%
Einnahmenüberschuss (E-A)	€/a	1.000	1.000
Lebensdauer n:			
10 a	-	7189 €	1.000 €/a
20 a	-	11019 €	1.000 €/a
30 a	-	13059 €	1.000 €/a

Tabellenkalkulationsprogramme wie MS-Excel verfügen über Funktionen zur Berechnung von Annuitäten und Annuitätsfaktoren. Die Excel Funktion lautet "RMZ" (Englische Bezeichnung "PMT"), und hat folgenden Aufbau:

$$RMZ=(\langle Zins \rangle ; \langle Zzr \rangle ; \langle Bw \rangle ; \langle Zw \rangle ; \langle F \rangle)$$

Darin bedeuten:

RMZ: Annuität

Zins: Zinssatz

Zzr: Anzahl der Perioden, Jahre

BW: Barwert der Zahlung, deren Annuitäten ermittelt werden

ZW: Zukünftiger Wert, i.d.R gleich 0

F: F=1 Zahlungen vorschüssig, F=0 Zahlungen nachschüssig

Der Annuitätsfaktor "an" wird in der RMZ Funktion für Bw=1 ermittelt.

Eine Investition gilt als vorteilhaft, wenn ihre Annuität positiv ist $A_n > 0$ (absolute Vorteilhaftigkeit). Als kalkulatorischer Zinssatz werden dabei die WACC angesetzt. Beim Vergleich von Varianten für ein Investitionsvorhaben gilt die Variante als Vorzugsvariante, bei der die Annuität am höchsten ist.

1.4.5 Diskontierter Mittelwert von spez. Kosten – LEC

1.4.5.1 Ermittlung der LEC mit der Kapitalwertmethode

Investitionsrechnungen für Projekte im Energiesektor werden üblicherweise nach den *Least Cost* Ansatz vorgenommen. Dabei wird nur die Kostenseite bewertet, und es wird die Projektvariante für ein Investitionsvorhaben mit den niedrigsten Kosten gesucht (z.B. Stromgestehungskosten). Kosten sind dabei die Investitionsausgaben "I₀" und der Barwert der Be-

triebskosten " A_t ". Die Gleichung für den Kapitalwert der Kosten (NPC) ist dann wie nachstehend:

$$NPC = I_0 + \sum_{t=1}^{t=n} \frac{A_t}{q^t} = I_0 + BW(A_t) \quad [\text{€}] \quad (1.29)$$

Ein Vergleich der Kapitalwerte ist meistens nicht das Ziel von Investitionsrechnungen für Projekte im Energiebereich. Das eigentliche Wirtschaftlichkeitskriterium sind die Jahreskosten oder spezifischen Kosten pro Produkteinheit. Bei Kraftwerksprojekten sind es z.B. die *diskontierten durchschnittlichen Stromgestehungskosten* (€/MWh) – (*Levelized Electricity Cost – LEC*). Sie werden als finanzmathematischer Mittelwert über die Lebensdauer ermittelt. Der englische Terms *LEC* hat sich etabliert.

Aus den Gleichungen für den Kapitalwert kann die nachstehende Formel abgeleitet werden. Auf ihrer linken Seite stehen die spezifischen Durchschnittskosten " c_m ", multipliziert mit Barwert der jährlich produzierten Energiemenge; auf der rechten Seite steht die Summe der Barwerte aller Ausgaben. Die mathematischen Ausdrücke auf beiden Seiten sind gleich.

$$c_m \cdot \sum_{t=1}^{t=n} \frac{W_{el}}{q^t} = I_0 + \sum_{t=1}^{t=n} \frac{A_t}{q^t} \quad (1.30)$$

Daraus ergibt sich die Gleichung für den finanzmathematischen Durchschnitt der spezifischen Kosten (Die Ausgaben werden in diesem Fall als positive Werte eingesetzt):

$$c_m = LEC = \frac{I_0 + \sum_{t=1}^{t=n} \frac{A_t}{q^t}}{\sum_{t=1}^{t=n} \frac{W_{el}}{q^t}} \quad (1.31)$$

Hierin bedeuten:

c_m : Die durchschnittlichen diskontierten spezifischen Kosten in €/MWh

W_{el} : Die produzierte Strommenge im jeweiligen Jahr in MWh/a

I_0 : Die Investitionsausgaben in €

A_t : Die Betriebsausgaben im jeweiligen Jahr in € / a

t : Das jeweilige Betriebsjahr

q : Diskontierungsfaktor $q=1+i/100$

i : kalkulatorischer Zinssatz in %/a

n : Die kalkulatorische Nutzungsdauer des Projektes in Jahren

Der Nenner stellt den Barwert einer Energiemenge dar, was oft auf Unverständnis stößt, weil der Barwert eigentlich auf Geldbeträge angewandt

wird. Dies kommt jedoch durch die Umformung der Gleichung (1.30) zustande, deren beide Seiten Geldbeträge darstellen.

Anmerkung: Anstatt c_m hat sich in Deutschland auch der Begriff „*LEC* für *Levelized Electricity Cost*“ eingebürgert.

Beispiel 1.15: Spez. Stromgestehungskosten (*LEC*) von KW-Varianten

Position			Einheit	Wert
Randbedingungen				
Leistung, brutto			MW	700
Leistung, netto		7,50%	MW	648
Stromerzeugung, netto		7000 h/a	GWh/a	4.533
Brennstoffverbrauch		42%	GWh/a	10.792
Strompreis			€/MWh _{el}	58
kalkulatorische Nutzungsdauer "n"			Jahre	35
kalkulatorischer Zinssatz, "i", real			%/a	6,50%
Investitionsausgaben "I ₀ ", Kostenstand 2015	1800 €/kW		Mio. €	1.260
Jahresbetriebskosten bei Inbetriebnahme, 2015			Mio. € /a	144,2
Betriebsausgaben fix, "A"		2,5%/Inv	Mio. € /a	31,5
Brennstoffkosten	85,00 €/t _{SKE}	10,44 €/MWh	Mio. € /a	112,7
Barwerte				
Investitionsausgaben "I ₀ "			Mio. €	1.260
Betriebskosten, Kostenstand 2015			Mio. €	1.974
Stromerzeugung über Lebensdauer, netto			GWh	62.036
Strom Gestehungskosten LEC **)			€/MWh	52,12

*) LEC = Barwert der Kosten / Barwert der Stromerzeugung

Beispiel 1.16: Spez. Stromgestehungskosten bei wechselnder Fahrweise

Ein neues Kraftwerk wird während seiner Betriebszeit in verschiedene Lastsegmente, wie nachstehend eingesetzt. Zu ermitteln sind die durchschnittlichen diskontierten Stromerzeugungskosten über die gesamte Betriebszeit.

Fahrweise	Benutzungsstunden h/a	Jahr 0	Strom- erzeugung netto 555 MW GWh/a	Fixe Betriebs- Kosten 2,50% Inv. Mio. € / a	Variable Betriebs- Kosten 25,9 /MWh _{el} Mio. € / a	Summe Kosten Mio. € /a	Barwerte	
							Kosten I ₀ =990 Mio. € 6,5% /a Mio. €	Strom- erzeugung 6,5% /a GWh
ML	7.500	1 bis 5	4.162,5	24,8	107,7	132,4	1.540,2	17.298,0
GL	5.500	5 bis 20	3.052,5	29,7	78,9	108,6	745,6	20.948,8
ML	3.500	20 bis 25	1.942,5	34,7	50,2	84,9	100,1	2.290,9
Summe			9.157,5	89,1	236,8	325,9	2.386,0	40.537,7
C _m = Barwert der Kosten durch Barwert der Stromerzeugung							C _m = 58,86 €/MWh	

Anmerkung; Der Rechnungsgang wird in dieser Tabelle in gekürzter Form wiedergegeben. Die ausführliche Rechnung ist aus der Website des Verfassers zu ersehen.

1.4.5.2 Ermittlung der LEC mit der Annuitätenmethode

Die Annuitätenmethode ist die in der Praxis am häufigsten verbreitete Methode für Investitionsrechnungen wegen ihrer hohen Anschaulichkeit, insbesondere für Variantenvergleiche von Projekten. Kosten sind dabei die Annuitäten des Kapitalsdienstes $RMZ(I_0)$ und der konstant angenommenen Betriebsausgaben A_0 ($OPEX$). Die Kostengleichung der Annuitäten lautet dann:

$$K_{AN} = RMZ(I_0) + A_0 = RMZ(CAPEX) + OPEX \left[\frac{\text{€}}{\text{a}} \right] \quad (1.32)$$

Vorteilhaftigkeitskriterium ist entweder die Höhe der *durchschnittlichen Jahreskosten* oder der *spezifischen Kosten* pro Produkteinheit. Die Variante mit der *niedrigsten Kostenannuität* gilt dann als die wirtschaftlichste Variante.

Die Gleichung für die Berechnung des diskontierten spezifischen Mittelwertes der Kosten " LEC " ist wie nachstehend:

$$LEC = \frac{RMZ(CAPEX) + OPEX_0 \left[\frac{\text{€}}{\text{a}} \right]}{W_0 \left[\frac{\text{MWh}}{\text{a}} \right]} \left[\frac{\text{€}}{\text{MWh}} \right] \quad (1.33)$$

Die Betriebsausgaben " $OPEX_0$ " und Elektrizitätserzeugung " W_0 " sind konstant über die Lebensdauer. Für beide Terms muss kein Barwert gebildet werden, wie in Abschnitt 1.4.4 erläutert wurde – Formeln (1.27), (1.28)

Beispiel 1.17: Stromgestehungskosten (LEC) von Kraftwerkvarianten

Position		Einheit	Dampf KW	GuD KW
Leistung & Energiebilanz				
El. Leistung, netto		MW	600	400
Volllaststunden		h / a	5.500	5500
El. Arbeit, netto		MWh / a	3.300.000	2.200.000
El. Wirkungsgrad		-	42%	55%
Brennstoffverbrauch		MWh _{th} / a	7.857.143	4.000.000
Investitionsausgaben		mln. €	1.343	433
Kalkulatorischer Zinssatz, real		% / a	6,5%	6,5%
Lebensdauer		a	35	25
Fixe Betriebskosten		% Inv.	2,50%	1%
Brennstoffpreis ¹⁾		€ / MWh _{th}	10,44	25,00
Jahreskosten				
Kapitaldienst, Annuität		mln. € / a	98,12	35,50
Fixe Betriebskosten		mln. € / a	33,58	4,33
Variable Betriebskosten ²⁾	10%	mln. € / a	90,25	110,00
Summe Jahreskosten		mln. € / a	221,95	149,83
Spez. Stromgestehungskosten		mln. € / a	67,26	68,10

1) Kohlepreis

85 €/SKE

Erdgas LHV

25 €/MWh

2) Zuschlag + 10% für nicht Brennstoffkosten

1.4.6 Barwert und Annuität eskalierender Zahlungsreihen

Funktionen für Barwert- und Annuitätenermittlung von eskalierenden Zahlungsreihen sind bei Excel nicht bekannt. In der Tabelle 1.3 wurden deshalb vom Autor folgende Formeln entwickelt, mit denen auch Steigerungsraten berücksichtigt werden können.

$$BW_{esc} = k \times \sum_{t=1}^{t=n} \frac{p^t}{q^t} = k_0 \times \frac{(q^n - p^n) \times p}{(q - p) \times q^n} \quad (1.34)$$

$$AN_{esc} = k_0 \times \frac{(q^n - p^n) \times p}{(q - p)} \times \frac{(q - 1)}{(q^n - 1)} \quad (1.35)$$

Darin bedeuten:

k_0 : Einzelnes Glied der Zahlungsreihe, z.B. Instandhaltungskosten im 1. Jahr

q : Auf- bzw. Abzinsungsfaktor = $1+i/100$

i : Zinssatz %/a

p : Eskalationsfaktor = $1+r/100$

r : Eskalationsrate % /a

n : Gesamtperiode der Zahlungsreihe in Jahren

Die Formeln können bei Zahlungsreihen, die mit einer konstanten Eskalationsrate wachsen oder fallen (z.B. Degradation), angewandt werden. Die Annuitätsformel bildet den Barwert der Zahlungsreihe und multipliziert sie mit dem Annuitätsfaktor, so dass eine annuitätische Zahlungsreihe entsteht.

Für die obigen Formeln hat der Autor Add-Ins entwickelt, die aus der Website heruntergeladen werden können.

Beispiel 1.18: Personalkosten ohne und mit Eskalation

Ein neues Kraftwerk hat ein Bedienungspersonal von 70 Personen. Es wird angenommen, dass diese real mit etwa 1%/a über die allgemeine Inflationsrate während der Nutzungsdauer Jahren ansteigen werden. Zu ermitteln sind der Barwert und die Annuität ohne und mit Eskalation.

Merkmal	Einheit	Barwert T€		Annuität T€/a	
Angaben					
Bedienungspersonal	-	70			
Personalkosten	T€ / (Pers. a)	90			
kalk. Lebensdauer	-	35			
Kalk. Zinssatz i	%/a	6,50%			
Eskalationsrate r , real *)	%/a	0%	1%	0%	1%
Ergebnis	-	1.232	1.394	90	102

*) über die Inflationsrate

Beispiel 1.19: Erlöse einer PV-Anlage ohne und mit Degradation

Merkmal	Einheit	Barwert Mio.€		Annuität Mio. €/a	
Angaben					
Nennleistung	MW _p	100			
Jahreserzeugung	MWh/a	110.000			
Kalk. Lebensdauer	a	25			
Erlöse _{15 c/kWh}	Mio. €/a	16.500			
kalk. Zinssatz	%/a	6,50%			
Degradation j	%/a	0	-0,5%	0	-0,5%
Ergebnis		201.265	191.676	16.500	15.714

1.4.7 Amortisationsrechnung – Payback Periode

Bei der Amortisationsrechnung wird die Anzahl der Jahre berechnet, die nötig ist, bis das eingesetzte Kapital für eine Maßnahme durch Kosteneinsparungen wieder erwirtschaftet wird. Dafür hat sich der Begriff *Payback time* aus dem Englischen etabliert. Das Verfahren wird üblicherweise statisch angewandt, d.h. ohne Diskontierung, und wird als "simple payback" bezeichnet. In der Praxis werden die jährlichen Einsparungen als konstant angenommen:

$$t_{\text{payback}} = \frac{\text{Kapitaleinsatz}}{\text{Netto-Einsparung}} = \frac{I_0 [\text{€}]}{E-A [\text{€/a}]} \quad [\text{a}] \quad (1.36)$$

t_{payback} : Payback-Zeit in Jahren
 I_0 : Kapitaleinsatz in €
 $E-A$: Kosteneinsparung gegenüber Nullvariante in €/a

Die Payback-Zeit von Energiesparmaßnahmen wird i.d.R. gegen eine Nullvariante, meistens die Fortführung des IST-Zustandes, gerechnet.

Dann sind die Differenzinvestition und die Kosteneinsparung in Bezug auf diese Nullvariante in die Formel einzusetzen.

Wegen der Nicht-Berücksichtigung der Verzinsung müssen zwei Kriterien erfüllt sein, damit eine Einsparmaßnahme als wirtschaftlich gelten kann:

Die errechnete Payback-Zeit muss kürzer sein als die geforderte.
Die Nutzungsdauer der Maßnahme muss länger sein als die Payback-Zeit.

Die geforderte Payback-Zeit für Maßnahmen zur Betriebskosteneinsparung ist bei den verschiedenen Industriebranchen unterschiedlich, aber i.d.R. kurz, und liegt meistens, je nach Industriebranche, bei 3 bis maximal 5 Jahren.

Die Nutzungsdauer der Maßnahme muss länger als die Payback-Zeit sein. Wenn sie gleich ist, dann wird das eingesetzte Kapital zwar wieder erwirtschaftet, jedoch ohne Verzinsung. Eine solche Maßnahme wäre eigentlich unwirtschaftlich. Deswegen müssen auch nach dem Ende der Payback-Zeit unbedingt Einsparungen erzielt werden.

Die im Rahmen von Energie-Audits identifizierten Maßnahmen werden nach ihrer Bewertung in einer Rangliste aufgelistet. Dabei wird unterschieden zwischen *no-cost*-, *low-cost*- und *high-cost*-Maßnahmen. In der Rangliste haben alle „*no-cost*“ Maßnahmen erste Priorität. Bei Einordnung insbesondere der *high-cost*-Maßnahmen müssen neben der Payback-Zeit auch andere Kriterien eine Rolle spielen, z.B. die Höhe der Investition und unbedingt die voraussichtliche Nutzungsdauer der einzelnen Maßnahmen.

Die Amortisationsrechnung kann auch dynamisch angewandt werden. Bei der Ermittlung der dynamischen Payback-Zeit werden die jährlichen Einsparungen diskontiert und von der Investitionsausgabe abgezogen. Die Differenz ist der Kapitalwert. Sobald dieser positiv wird, ist die Amortisationszeit erreicht. Dabei werden meistens wesentlich höhere Zinssätze eingesetzt als bei den üblichen dynamischen Investitionsrechnungen, weil solche Maßnahmen meistens durch Eigenkapital realisiert werden.

Mit Tabellenkalkulationsprogrammen ist die dynamische Anwendung des Verfahrens kein Problem. Es ist aber in der Praxis davon abzuraten, wenn es nicht ausdrücklich vom Investor verlangt wird.

Dynamische Berechnungen führen insbesondere bei hohen Zinssätzen zu wesentlich längeren Payback-Zeiten, wie im nachstehenden Beispiel 1.20 gezeigt wird.

Beispiel 1.20: Payback Periode

Im Beispiel wird die Vorgehensweise für eine Maßnahme bei drei unterschiedlichen Zinssätzen gezeigt. Beim Zinssatz 0% ist die Berechnung statisch (Payback-Zeit). Die Maßnahme hat eine Anlaufzeit, d.h. die Einsparungen steigen allmählich und bleiben dann konstant.

Jahr	Kapitaleinsatz €	kalkulatorischer Zinssatz		
		0%	8%	18%
	Einsparung €/a	Kapitalwert		
0	-100.000	-100.000	-100.000	-100.000
1	10.000	-90.000	-90.741	-91.525
2	15.000	-75.000	-77.881	-80.753
3	20.000	-55.000	-62.004	-68.580
4	25.000	-30.000	-43.628	-55.685
5	30.000	0	-23.211	-42.572
6	30.000	30.000	-4.306	-31.459
7	30.000	60.000	13.199	-22.041
8	30.000	90.000	29.407	-14.060
9	30.000	120.000	44.415	-7.297
10	30.000	150.000	58.310	-1.565
Payback-Zeit, Jahre*)		5,0	6,2	10,2

*) siehe auch nachstehende Abbildung

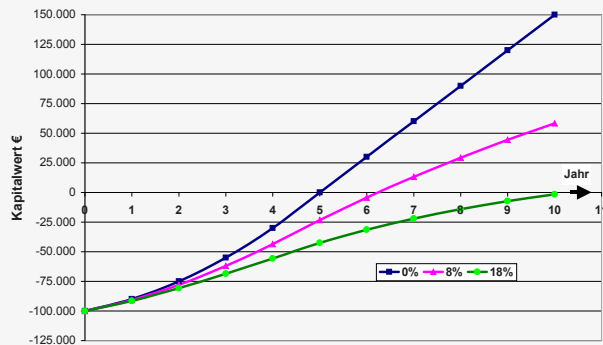


Abb. 1.7: Kapitalwert und Payback-Zeit

Wenn ein Unternehmen die Payback-Zeit als Entscheidungskriterium verlangt, kann man voraussetzen, dass die statische Payback-Zeit gemeint ist. So kann die Realisierung von sinnvollen Maßnahmen, die gerade an der Wirtschaftlichkeitsschwelle liegen, u.U. scheitern, nur weil dynamisch gerechnet wurde.

Schlussfolgerung: Payback-Zeit immer statisch anwenden

1.4.8 Rentabilitätsrechnung

Bei der Rentabilitätsrechnung wird der durchschnittliche Einnahmenüberschuss pro Jahr bzw. die Betriebskosteneinsparung auf das durchschnittlich gebundene Kapital bezogen und mit der vom Unternehmen erwarteten Mindestrentabilität verglichen. Eine Investition ist wirtschaftlich, wenn die berechnete *Rentabilität* („ROI“ **Return On Investment**) höher ist als die erwartete Mindestrentabilität (absolute Wirtschaftlichkeit); bei Alternativinvestitionen ist die Variante mit der höchsten Rentabilität die Vorzugsvariante.

In der Praxis wird die Rentabilitätsrechnung wie die Payback-Methode zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit von Maßnahmen zur Energie- und Betriebskosteneinsparung angewandt. Als durchschnittlich gebundenes Kapital wird der Kapitaleinsatz zur Implementierung der Maßnahme und als Einsparung die durchschnittliche Einsparung eingesetzt. Die Gleichung lautet:

$$ROI = \frac{\text{Nettoeinsparung}}{\text{Kapitaleinsatz}} \times 100 = \frac{E - A}{I_0} \quad [\%] \quad (1.37)$$

Die Rentabilität ist somit der Kehrwert der Payback-Zeit.

Beispiel 1.21: Rentabilität einer Einsparmaßnahme

Kapitaleinsatz:	100.000 €
Bruttoeinsparung:	22.000 €/a
Zusätzliche Betriebskosten:	2.000 €/a
Nettoeinsparung:	20.000 €/a
Rentabilität = (20.000 / 100.000) · 100 = 20%	

1.5 Finanzanalyse von Investitionsvorhaben

1.5.1 Methoden Übersicht

Bei der Evaluierung von Investitionsvorhaben wird unterschieden zwischen:

- Investitionsrechnung (*investment appraisal*)
- Finanzanalyse (*financial analysis*)
- Ökonomische Analyse (*economic analysis*)