

Lehrunterlage zur Übung 2 Investitionsrechnung

Barwert
Interner Zinsfuß
Stromgestehungskosten

Energieökonomie

WS 2013/14

Institut für Energiesysteme und Elektrische Antriebe

Kontakt: Michael Hartner

hartner@eeg.tuwien.ac.at

Einleitung

Bei der Investitionsrechnung geht es darum, die Wirtschaftlichkeit einer Investition zu bewerten, bei der Zahlungen zu unterschiedlichen Zeitpunkten auftreten. Die Hauptaufgabe besteht darin, den Wert der vergangenen und zukünftigen Zahlungen zu bewerten. Dies wird in Abbildung - 1 schemenhaft dargestellt. Die Bewertung erfolgt üblicherweise über das Auf- und Abzinsen der Zahlungen unter Festlegung eines Zeitpunkts auf den alle Zahlungen bezogen werden. Für die Lehrveranstaltung werden drei verwandte Methoden vorgestellt, die weite Verbreitung bei der Bewertung von Projekten gefunden haben. Die Barwert bzw. Kapitalwertmethode (oder auch "Net Present Value") bewertet die durch eine Investition auftretenden Zahlungsströme zum Zeitpunkt 0. Daraus abgeleitet kann der interne Zinsfuß einer Investition berechnet werden. Diese Kennzahl ergibt die Verzinsung auf das eingesetzte Kapital und macht damit die Investition mit anderen Kapitalanlageformen vergleichbar. In dieser kurzen Anleitung werden die Methoden kurz vorgestellt. Die Berechnung der Stromgestehungskosten erleichtert die Bewertung und den Vergleich mehrere Technologien und ist eine weit verbreitete Kennzahl in der Energiewirtschaft. Für eine vertiefende Diskussion bezüglich der Vor- und Nachteile der Methoden bzw. weitere Möglichkeiten Investitionen zu bewerten wird auf andere Vorlesungen verwiesen.

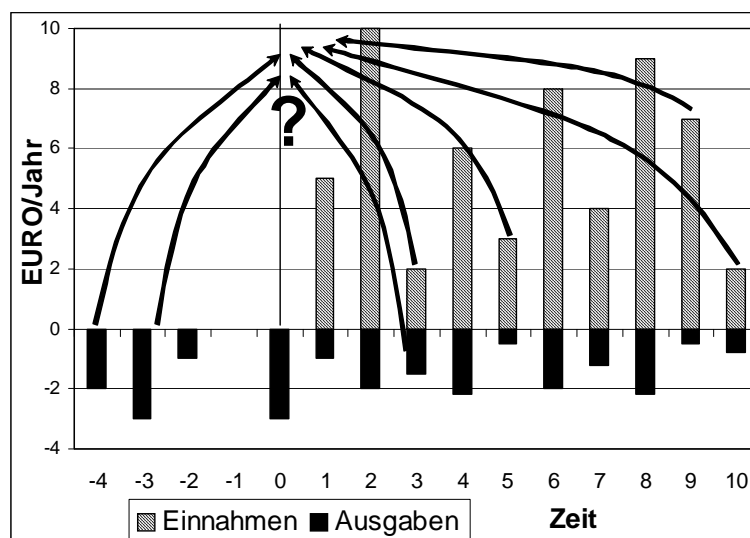


Abbildung - 1: Aufgabe der Investitionsrechnung – Bewertung von Zahlungsströmen zu unterschiedlichen Zeitpunkten

Zinsen

Der Grund dafür, dass Zahlungsströme zu unterschiedlichen Zeitpunkten nicht denselben Wert haben, liegt einerseits am Wertverlust (Inflation) des Geldes und andererseits an der Möglichkeit das Kapital durch alternative Anlageformen zu verzinsen. Die beiden Effekte, die nicht unabhängig voneinander bestehen, werden in den folgenden Ausführungen nicht voneinander unterschieden. Im Allgemeinen wird hier von einem realen Zinssatz ausgegangen, der um inflationsbedingte Effekte bereinigt ist. Eine kurze Diskussion dazu folgt am Ende dieser Lehrunterlage.

Endwert einer einmaligen Einzahlung

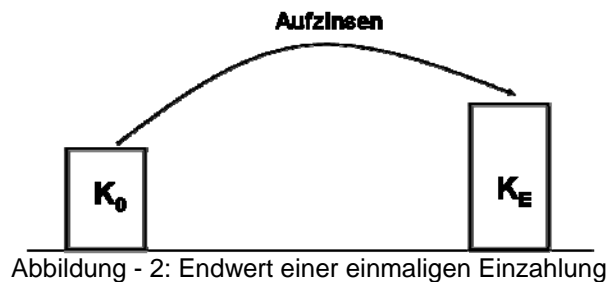


Abbildung - 2: Endwert einer einmaligen Einzahlung

Warum Zahlungsflüsse zu unterschiedlichen Zeitpunkten unterschiedliche Werte besitzen wird schon bei der Betrachtung einer einmaligen Einzahlung ersichtlich.

$$K_n = K_0 \cdot (1 + r)^n$$

K_n Wert der Zahlung nach n Jahren

K_0 Wert der Einzahlung zum Zeitpunkt 0

n Anzahl der Jahre

r Zinssatz

Beispiel:

Eine Einzahlung von 100 € im Jahr 0 zu einem Zinssatz von 3% ergibt unter der Annahme, dass keine Auszahlungen stattfinden nach 10 Jahren einen Wert von 134,4 €. Würde dieselbe Einlage erst im Jahr 5 statt finden dann wäre der Wert nach 10 Jahren nur 115,9 €.

Damit sollte klar sein, dass der Zeitpunkt der Zahlungen eine bedeutende Rolle bei der Bewertung von Zahlungen in einer Investitionsrechnung spielt.

Anfangswert/Barwert einer einmaligen (zukünftigen) Einlage



Abbildung - 3: Wert einer zukünftigen Zahlung zum Zeitpunkt 0

Bei der Bewertung einer Investition wird üblicherweise der Wert einer Zahlung zum Zeitpunkt 0 ermittelt und den Investitionen gegenüber gestellt. Dazu werden die auftretenden Zahlungen abgezinst (diskontiert).

$$K_0 = \frac{K_n}{(1 + r)^n}$$

Beispiel: Jemand will sich 100€ von Ihnen ausleihen. Er verspricht Ihnen in 4 Jahren 130 Euro zurück zu zahlen. Auf Ihrem Bankkonto bekommen Sie einen Zinssatz von 2,5%. Ist es für Sie vorteilhaft die 100€ zu verborgen?

$$K_0 = \frac{130}{(1 + 0.025)^4} = 117,8$$

Der Wert der Zahlung von 130 € nach 4 Jahren zum Zeitpunkt 0 bei einer angenommenen Verzinsung von 2,5% beträgt 117,8€ und ist somit höher als der Barwert der 100€ die Sie im Moment besitzen. Unter Vernachlässigung des Risikos, dass Sie das Geld nicht zurück bekommen und unter der Voraussetzung, dass Sie das Geld sonst auf dem Sparbuch lassen würden, wäre es also sinnvoll auf das Geschäft einzugehen. Natürlich könnte die Bewertung auch anhand des Vergleichs der Endwerte erfolgen.

Endwert 1: 130 €

Endwert 2: $K_n = 100 \cdot (1 + 0.025)^4 = 110,4$ €

Aus dieser Betrachtung wird klar, dass der gewählte Zinssatz starken Einfluss auf das Ergebnis der Bewertung hat. Bei einer Verzinsung am Sparbuch von 7% wäre der Barwert einer Einzahlung von 130 € in 4 Jahren zum Zeitpunkt 0 nur noch 99,2 €. Damit wäre die Anlageform des Sparbuchs vorteilhafter.

$$K_0 = \frac{130}{(1 + 0.07)^4} = 99,2$$

Der gewählte Zinssatz (auch **Kalkulationszinssatz**), der bei der Bewertung von Investitionen zur Anwendung kommt, bezieht sich daher immer auf alternative Investitionsmöglichkeiten und kann je nach Akteur verschieden angesetzt sein. (z.B. staatliche Investitionen, private Investoren, private Haushalte) Des Weiteren hat das mit der Investition verbundene Risiko einen starken Einfluss auf den angesetzten Zinssatz. Je nachdem ob ein Investor risikoneutral, -avers, oder -affin eingestellt ist, wird er marktübliche, niedrigere, bzw. erhöhte Zinssätze ansetzen. Der übliche Bereich für die Bewertung von Investitionen im Bereich der Energiewirtschaft bewegt sich zwischen 4% und 10%. Für das in der Vorlesung behandelte Beispiel wird von einem Zinssatz von 4% ausgegangen. Weiters kann der Kalkulationszinssatz auch als Mindestzinssatz, der erreicht werden muss, um zumindest die Kosten des Kapitaleinsatzes (Kreditzinsen, Gewinnausschüttungen) zu decken.

Endwert von Zahlungen in unterschiedlichen Perioden

$$K_n = R_1 \cdot (1 + r)^n + R_2 \cdot (1 + r)^{n-1} + \dots + R_n \cdot (1 + r)$$

R_i....Zahlungen zum Zeitpunkt i

Der Endwert von mehreren Zahlungen zu verschiedenen Zeitpunkten wird durch die Verzinsung über die unterschiedliche Zeiträume berechnet.

Barwert von Zahlungen zu unterschiedlichen Zeitpunkten

$$K_0 = \frac{R_1}{(1 + r)} + \frac{R_2}{(1 + r)^2} + \dots + \frac{R_n}{(1 + r)^n}$$

Der Barwert von zukünftigen Zahlungen zu unterschiedlichen Zeitpunkten wird über die Diskontierung der jeweiligen Zahlungen berechnet. Dabei ist klar ersichtlich, dass der Barwert gleicher Zahlungen mit zunehmender zeitlicher Entfernung über den erhöhten Diskontierungsfaktor sinkt.

Beispiel:

- Barwert einer Einzahlung von 100€ im Jahr 5 bei einem Kalkulationszinssatz von 5%:

$$K_0 = \frac{100}{(1 + 0.05)^5} = 78,4$$

Anders ausgedrückt könnte der Geldwert von 100€ im Jahr 5 auch durch eine Einzahlung von 78,4 € im Jahr 0 erreicht werden.

- Barwert einer Einzahlung von 100€ im Jahr 10 bei einem Kalkulationszinssatz von 5%:

$$K_0 = \frac{100}{(1 + 0.05)^{10}} = 61,4$$

Abbildung-4 zeigt die Entwicklung des Barwerts (Geldwert zum Zeitpunkt 0) einer Einzahlung von 100 € über einen Zeitraum von 35 Jahren. Es wird sofort klar, dass der Kalkulationszinssatz einen beträchtlichen Einfluss auf das Ergebnis einer Investitionsrechnung hat.

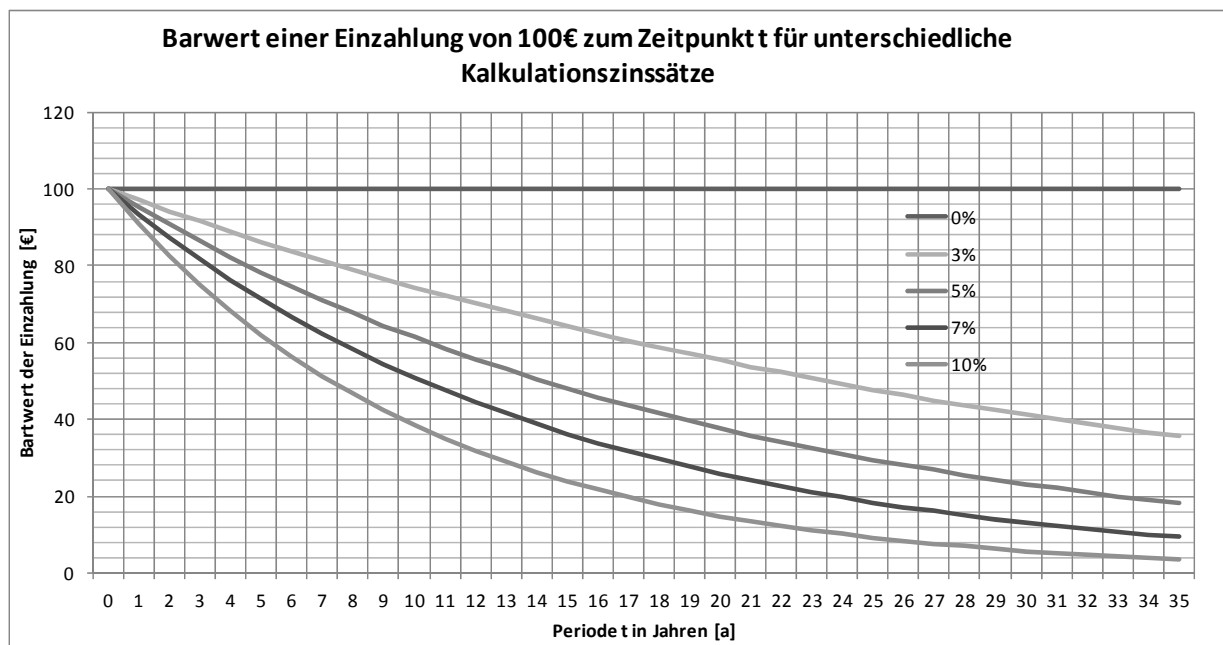


Abbildung-4: Barwert einer Einlage von 100€ zum Zeitpunkt t

Barwert einer Investition

Zur Bestimmung des Barwerts (auch Kapitalwert oder Net Present Value-NPV) einer Investition werden alle mit der Investition in Verbindung gebrachten Zahlungsströme eines bestimmten Betrachtungszeitraumes auf den Zeitpunkt 0 abgezinst und addiert. Dies beinhaltet in vereinfachter Form die Einnahmen und Ausgaben in jeder Periode und die Investitionskosten zum Zeitpunkt 0. Am Ende der Betrachtungsdauer kann zusätzlich noch ein Term für den Restwert der Investition (z.B. Wiederverkaufswert einer Maschine) hinzugefügt werden. Dies wird allerdings im Rahmen dieser Lehrveranstaltung vernachlässigt bzw. wird ein Restwert von 0 angenommen.

$$B_0 = -I_0 + \frac{(E_1 - A_1)}{(1+r)} + \frac{(E_2 - A_2)}{(1+r)^2} + \dots + \frac{(E_n - A_n)}{(1+r)^n} + \frac{L}{(1+r)^n}$$

B_0 Barwert der Investition [€]

I_0 Investitionskosten zum Zeitpunkt 0 [€]

E_i Einnahmen in Periode i [€]

A_i Ausgaben, Kosten in Periode i [€]

r Kalkulationszinssatz [1]

L Restwert der Investition am Ende des Betrachtungszeitraums [€]

n Betrachtungszeitraum in Jahren [a]

Wird der Barwert/Kapitalwert einer Investition für ansteigende Betrachtungszeiträume 1 bis n dargestellt, so lässt sich die Entwicklung des Barwerts darstellen. Dies ist in Abbildung-5 anhand einer Beispielrechnung ersichtlich. Aus dieser Darstellung kann auch abgelesen werden, wann sich die Investition bei den erwarteten Zahlungen amortisiert hat.

$$B_0^n = -I_0 + \sum_{i=1}^n \frac{(E_i - A_i)}{(1+r)^i}$$

B_0^n Barwert für Betrachtungszeitraum n

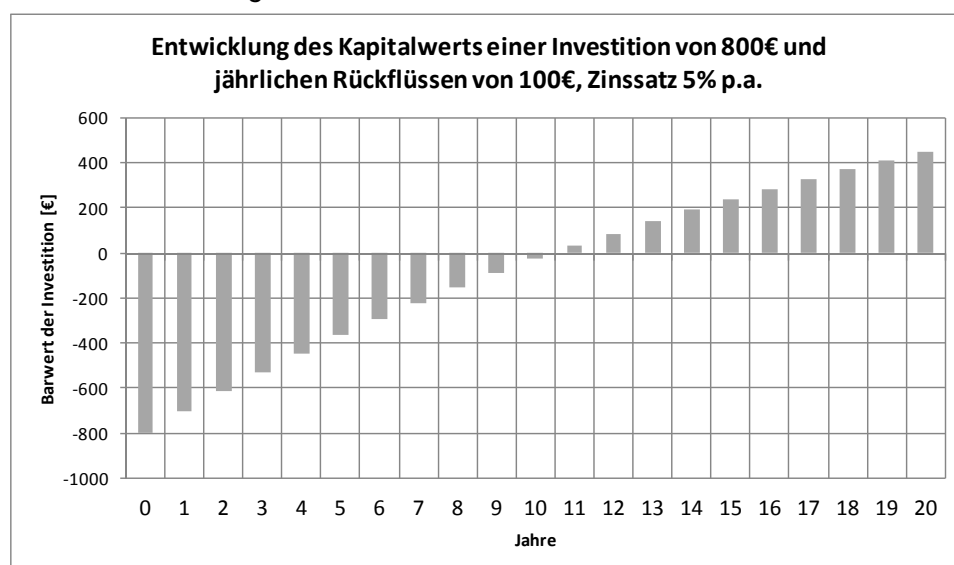


Abbildung-5: Entwicklung des Kapitalwerts über die Zeit

Ergibt sich aus der Berechnung ein positiver Barwert ($B_0 > 0$), so ist die Wirtschaftlichkeit einer Investition unter den getroffenen Annahmen ebenfalls positiv zu bewerten. Weiters bedeutet ein positiver Barwert, dass das eingesetzte Kapital zumindest mit dem veranschlagten Kalkulationszinssatz verzinst wird. Zu beachten ist, dass der Barwert zweier unterschiedlicher Investitionen mit unterschiedlichen Investitionssummen nur bedingt vergleichbar ist, auch wenn beide Investitionen anhand der Barwertmethode positiv bewertet werden. Ein Barwert von 100€ bei einer Investitionshöhe von 1000€ (Investition 1) ist anders zu bewerten als ein Barwert von 100€ bei einer Investitionshöhe von 100.000€ (Investition 2). Investition 1 wäre hier vorzuziehen, da sie bei niedrigerem Kapitaleinsatz zum selben Ergebnis führt. Eine Kennzahl, die diesem Umstand Rechnung trägt liefert der interne Zinsfuß einer Investition.

Interne Zinsfuß

Der Interne Zinsfuß ist definiert als jener Kalkulationszinssatz r bei dem der Barwert einer Investition 0 ist.

$$0 = -I_0 + \frac{(E_1 - A_1)}{(1+r)} + \frac{(E_2 - A_2)}{(1+r)^2} + \dots + \frac{(E_n - A_n)}{(1+r)^n} + \frac{L}{(1+r)^n}$$

Das Ergebnis entspricht der Verzinsung des eingesetzten Kapitals. Damit kann die Investition mit anderen Anlageformen verglichen werden. Viele Unternehmen bewerten unterschiedliche Projekte unter anderem anhand dieser Kennzahl. Die Lösung der Gleichung erfolgt über Näherungsverfahren (z.B. Newton'sches Näherungsverfahren). In MATLAB lässt sich der Interne Zinsfuß (internal rate of return) von Zahlungsflüssen leicht über die Funktion "irr" bestimmen. In Excel kann der interne Zinsfuß über den Befehl "IKV" (in der deutschsprachigen Version) berechnet werden.

Stromgestehungskosten

Die Berechnung der Stromgestehungskosten ermöglicht einen einfachen Vergleich der Kosten verschiedener Technologien. Es wird versucht die anfallenden Zahlungen über die Lebensdauer der Kraftwerke auf Kosten je kWh zu beziehen. An dieser Stelle sei allerdings angemerkt, dass es sich dabei nur um eine Kennzahl handelt, deren Größe sehr stark von den Annahmen abhängt, die bei der Berechnung getroffen werden. Eine Möglichkeit Stromgestehungskosten ist durch folgenden Zusammenhang gegeben:¹

$$k = \frac{K_J + K_{BF} + K_S}{T} + k_e + k_A + k_{CO_2}$$

k.....Stromgestehungskosten [€/kWh]

K_J jährliche Kapitalkosten (Annuität der Investitionskosten) [€/kW·a]

K_{BF} jährliche betriebsbedingte Festkosten [€/kW·a]

K_S jährlicher Anteil sonstiger Kosten - z.B. Stilllegungskosten [€/kW·a]

T.....Volllaststunden [h/a]

k_e Brennstoffkosten [€/kWh]

k_A Arbeitsabhängige Betriebskosten [€/kWh]

k_{CO_2} ... CO₂ abhängige Kosten [€/kWh]

Im Folgenden werden die wichtigsten Parameter beschrieben:

Leistungsabhängige Kosten

Die leistungsabhängigen Kosten können in dieser Betrachtung auch als Fixkosten bezeichnet werden, da sie nicht von der tatsächlichen Stromproduktion abhängen. Sie werden bei der Berechnung der Stromgestehungskosten jeweils als spezifische Kosten (€/kW_{installiert}) ausgewiesen.

- Jährliche Kapitalkosten K_J :

Hier werden zunächst die gesamten Investitionskosten auf die installierte Leistung bezogen um die spezifischen Investitionskosten zu erhalten. Durch Multiplikation mit dem Annuitätenfaktor ergeben sich daraus jährliche spezifische Kapitalkosten. Diese können auch als konstante jährliche Kreditrückzahlungen für einen Kredit, mit einer Laufzeit über die Lebensdauer der Anlage und einer Verzinsung mit dem Kalkulationszinssatz interpretiert werden. Der Annuitätenfaktor teilt also die Investitionskosten in konstante jährliche Zahlungen auf, mit denen dieser hypothetische Kredit zurückgezahlt wird. Die Herleitung des Annuitätenfaktors ergibt sich über die Annahme einer konstanten jährlichen Rente mit konstanter Verzinsung. Aus mathematischer Sicht resultiert der Annuitätenfaktor aus einer geometrischen Reihe.

¹ Hier wird nur eine Methodik beschrieben. Es gibt mehrere Ansätze mit unterschiedlichen vor- bzw. Nachteilen. In der englischsprachigen Literatur finden Sie diese Herangehens unter dem Schlagwort "Levelised costs of electricity"

$$K_J = I_0 \cdot \alpha$$
$$I_0 = \frac{B}{P}$$
$$\alpha = \frac{r \cdot (1 + r)^{LD}}{(1 + r)^{LD} - 1}$$

I_0spezifische Investitionskosten [€/kW]
 BBarwert der gesamten Investitionskosten [€]
 PInstallierte Leistung des Kraftwerks [kW]
 αAnnuitätenfaktor [1/a]
 rKalkulationszinssatz [-]
 LD ...Lebensdauer bzw. Betrachtungszeitraum in Jahren [a]

- Jährliche betriebsbedingte Festkosten (K_{BF}) :

Sind definiert als jene Kosten, die zwar für die jährliche Inbetriebnahme der Kraftwerke anfallen, allerdings nicht direkt von der tatsächlichen Stromproduktion abhängen. Beispiele: Wartungskosten, jährliche leistungsabhängige Netzanschlusskosten, etc. Diese müssen für die jeweiligen Kraftwerke recherchiert werden. Die in der Vorlesung verwendeten Werte sind Mittelwerte aus der Literatur.

- Sonstige Kapitalkosten (K_s):

Damit sind alle anfallenden Fixkosten gemeint, die nicht direkt der Errichtung der Kraftwerke selbst zuzuschreiben sind. Beispiele: Stilllegungskosten, einmalige Inbetriebnahmekosten, etc.. Bei der Berechnung wird der Barwert dieser Kosten genauso wie die Investitionskosten über den Annuitätenfaktor auf jährliche Kosten umgelegt. Die sonstigen Kapitalkosten werden in den berechneten Übungsbeispielen vernachlässigt.

- Volllaststunden (T):

Die Volllaststunden sind ein Maß für die Auslastung der Kraftwerke. Während sich die Volllaststunden bei erneuerbaren Kraftwerkstechnologien (z.B. Photovoltaik, Wind, Laufwasserkraftwerke) hauptsächlich aus meteorologischen Einflussfaktoren (Sonneneinstrahlung, Windaufkommen, Wasserdargebot) ergeben, hängen die Volllaststunden von Kraftwerken mit substantiellen Brennstoffkosten² (Kohle, Gas, etc.) vor allem von den Gegebenheiten auf den Strommärkten ab. So macht es aus Sicht eines Kraftwerkbetreibers in der Regel keinen Sinn Strom zu produzieren, wenn die variablen Kosten über den jeweiligen Strompreisen liegen. In der Regel schwanken die Volllaststunden der jeweiligen Technologien von Jahr zu Jahr. Hier wird also von einem erwarteten Mittelwert der Volllaststunden

² Natürlich spielen hier auch CO₂-Kosten bzw. auch anderen variablen Kosten eine Rolle. Gemeinsam können alle Kosten, die direkt bei der Erzeugung einer weiteren Einheit (kWh) anfallen als kurzfristige Grenzkosten bezeichnet werden. Liegt der Preis für Strom unter den Grenzkosten so wird in der Regel kein Strom aus den entsprechenden Kraftwerken produziert.

ausgegangen. Über die Volllaststunden werden die leistungsabhängigen Kosten auf die jeweilige Stromerzeugung innerhalb einer Periode umgelegt. Bei der hier angewendeten Methode wird von konstanten Volllaststunden über die gesamte Lebensdauer ausgegangen.

$$T = \frac{E_j}{P}$$

T Volllaststunden [h/a]

E_j Stromproduktion des gesamten Kraftwerks in einem Jahr [kWh/a]

P Installierte Leistung des Kraftwerks [kW]

Arbeitsabhängige Kosten

Als arbeitsabhängige Kosten werden jene Kosten bezeichnet, die direkt bei der Produktion einer weiteren Einheit (kWh) anfallen. In dieser Betrachtung können diese als variable Kosten bezeichnet werden.

- Brennstoffkosten (k_e):

$$k_e = \frac{P_e}{H_U \cdot \eta}$$

k_e Brennstoffkosten [€/kWh]

P_e Preis je Einheit eines Brennstoffs [€/m³ oder €/kg etc.]

H_UUntere Heizwert (nutzbarer Energiegehalt) des Brennstoffs [kWh/m³ oder kWh/kg etc.]

ηWirkungsgrad des Kraftwerks [-]³

- CO₂ abhängige Kosten (k_{CO_2}):

Seit der Einführung eines europäischen Marktes für Emissionszertifikate fallen für Betreiber von Kraftwerken mit fossilen Energieträgern auch Kosten für das bei der Verbrennung anfallende CO₂ an. Diese hängen vom CO₂-Gehalt des Primärenergieträgers, dem Wirkungsgrad des Kraftwerks und dem CO₂-Zertifikatspreis ab.⁴ Der CO₂-Gehalt ist in der Übung als Emissionsfaktor gegeben und entspricht dem CO₂-Gehalt je kWh-Primärenergie.

$$k_{CO_2} = \frac{P_{CO_2} \cdot f_{CO_2}}{\eta}$$

k_{CO_2}CO₂ abhängige Kosten [€/kWh]

P_{CO_2} CO₂-Zertifikatspreis [€/tCO₂]

f_{CO_2} Emissionsfaktor [tCO₂/kWh_{primär}]

³ Hier wird von einem konstanten Wirkungsgrad ausgegangen. Bei kalorischen Kraftwerken hängt der Wirkungsgrad allerdings von der Auslastung des Kraftwerks ab.

⁴ Der Preis ergibt sich durch den Handel von Zertifikaten (Emissionsrechte), welche auf der Börse gehandelt werden. Siehe <http://www.eex.com/de/>

- Arbeitsabhängige Betriebskosten (kA):

Darunter versteht man Kosten, die Aufgrund des Betriebs des Kraftwerks anfallen und direkt auf die erzeugte kWh aufgeschlagen werden können. Z.b.: arbeitsabhängige Netznutzungsentgelte. Diese Kosten werden in den Übungsbeispielen nicht berücksichtigt.

Nominale vs. reale Betrachtung

Am Beginn einer Investitionsrechnung muss entschieden werden, ob die Zahlungsflüsse und die Zinsen um die Inflationsrate bereinigt werden sollen oder nicht. Prinzipiell sind beide Zugänge möglich. Wichtig ist nur eine konsistente Herangehensweise bei der Berücksichtigung von Preissteigerungen und auch bei der Definition des Zinssatzes. Der reale Zinssatz ergibt sich aus dem nominellen Zinssatz abzüglich der Inflationsrate.

$$r_{real} = r_{nominal} - r_{Inflation}$$

Beispiel:

Sie bekommen auf die Einlagen in ihrem Girokonto einen nominellen Zinssatz von 1,25%. Die Inflationsrate des letzten Jahres beträgt 3%. Die reale Verzinsung Ihrer Einlagen beträgt somit -1,75%! Die negative Realverzinsung ist etwas vereinfacht so zu deuten, dass Sie aufgrund der Preissteigerung der Güter(=Inflation) mit Ihrer Einlage ein Jahr zuvor mehr Güter konsumieren hätten können als zum aktuellen Zeitpunkt.

Für die Berechnungen innerhalb dieser Lehrveranstaltung werden stets **reale** Werte angenommen.